

Эммануил Львович ИЦКОВИЧ

Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник. Автор 14 монографий и свыше 300 статей по тематике автоматизации производства. Консультант и эксперт предприятий, проектных организаций, разработчиков средств и систем автоматизации производственных объектов и служб на предприятиях технологического типа различных отраслей промышленности.

Им разработаны, практически опробованы и внедрены на предприятиях ряд методов и алгоритмов планирования, построения, внедрения и эксплуатации систем автоматизированного контроля и управления технологическими агрегатами (АСУТП) и производственными службами (MES), повышающих эффективность автоматизации производства.

В книге анализируется и обобщается современное состояние автоматизации технологических агрегатов (АСУТП) производств любого класса и приводятся методы рационального планирования, проектирования, внедрения, эксплуатации систем автоматизированного контроля и управления режимами их работы.

ISBN 978-5-91450-196-6



9 785914 501966

Особенности современных АСУТП



Э. Л. Ицкович

Особенности современных АСУТП

Состав, характеристики, функции,
выбор, развитие компонентов
современных АСУТП

Проблемы планирования,
проектирования,
внедрения, эксплуатации
современных АСУТП
и методы их разрешения

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Э. Л. Ицкович

Особенности современных АСУТП

Москва
ИПУ РАН
2017

Ицкович Э.Л. Особенности современных АСУТП / Э.Л. Ицкович. – М.: ИПУ РАН, 2017. – 523 с. – ISBN 978-5-91450-196-6.

В монографии рассматриваются задачи перспективной автоматизации производственных агрегатов предприятий технологического типа.

Анализируются современные технические и программные средства автоматизации производственных объектов.

Выделяются варианты программно-технических комплексов (ПТК) и распределенных систем управления (РСУ).

Приводятся рациональные методы планирования, построения и функционирования АСУТП.

Рассматриваются направления развития средств и систем автоматизации и перспективные алгоритмы автоматического контроля, учета и управления работой технологического агрегата.

Исследуются важные для эффективного функционирования АСУТП меры, методы и решения.

Научное издание предназначено для сотрудников служб КИПиА предприятий, специалистов проектных организаций, разработчиков АСУТП, системных интеграторов в области автоматизации, научных работников, специализирующихся в области автоматизации производства.

Это научное издание будет полезно преподавателям, аспирантам и может быть использовано в качестве основы по курсу автоматизации производства.

Рецензенты: д.т.н., проф. Н. Н. Бахтадзе,
д.т.н., проф. В. А. Лотоцкий

Утверждено к печати Редакционным советом Института

*Текст воспроизводится в виде, утвержденном
Редакционным советом Института*

Краткое содержание монографии

Введение /Стр. 19 – 31/.

Содержание термина «АСУТП» и проблем планирования, построения, внедрения, эксплуатации современных АСУТП.

Первая часть. Состав и функции современных технических и программных

средств автоматизации в АСУТП /Стр. 33 – 185/.

Раздел I. Типовые цифровые сети АСУТП.

Общие свойства сетей АСУТП. Характеристики и отличия различных стандартных проводных и беспроводных сетей АСУТП. Развитие сетей АСУТП.

Раздел II. Средства автоматизации полевого уровня АСУТП

Общие свойства современных датчиков. Обзор общепромышленных классов датчиков. Развитие датчиков. Варианты и особенности исполнительных механизмов и регулирующих органов.

Раздел III. Средства автоматизации промышленного уровня АСУТП

Классы промышленных контроллеров. Свойства и характеристики контроллеров. Программное обеспечение контроллеров. Развитие контроллеров.

Раздел IV. Средства автоматизации информационного уровня АСУТП

Свойства SCADA программ. Взаимодействия прикладных программных компонентов, используемых SCADA-программой. Развитие SCADA-программ.

Вторая часть. Особенности построения современных систем автоматизации

производственных объектов /Стр. 187 – 271/.

Раздел V. Структуры и функции систем автоматизации разных производственных объектов

Системы контроля и управления рабочими режимами. Системы противоаварийной защиты. Развитие систем автоматизации производственных объектов.

Раздел VI. Защита средств и систем управления от внешних воздействий и кибератак

Защита аппаратуры автоматизации от атмосферных и вредных промышленных воздействий. Защита информации в АСУТП от любых посторонних воздействий и кибератак .

Третья часть. Рационализация взаимодействия персонала с системой автоматизации в АСУТП /Стр. 273 – 339/.

Раздел VII. Новые способы представления информации операторам

Учет психологических свойств оператора. Развитие способов представления информации оператору и сигнализации о нарушениях, требующих управляющих реакций оператора.

Раздел VIII. Совершенствование работы персонала с системой автоматизации

Административная поддержка персонала АСУТП. Тренинг операторов и улучшение их связи с системой автоматизацией. Повышение квалификации персонала КИПиА .

Четвертая часть. Перспективные методы автоматизации работы технологических агрегатов /Стр. 341 – 395/.

Раздел IX. Развитие методов автоматического контроля и учета

Совершенные способы учета расходов материальных потоков и лабораторного контроля показателей качества. Эффективные варианты виртуальных анализаторов показателей качества.

Раздел X. Развитие методов автоматического управления

Повышение точности работы существующих систем ПИД регулирования. Перспективное усовершенствованное управление технологическим процессом (APC).

Пятая часть. Особенности управления всеми этапами жизненного цикла АСУТП /Стр. 397 – 491/.

Раздел XI. Методы планирования АСУТП

Методы разработки концепции рационального развития автоматизации производства, прогноза эффективности планируемых АСУТП, формирования требований на АСУТП.

Раздел XII. Реализация и эксплуатация АСУТП

Объективный метод проведения тендера. Решения проблем разработки, внедрения и эксплуатации АСУТП. Типовые причины недостаточной эффективности АСУТП на российских предприятиях.

Заключение. /Стр. 492 – 514/.

Эволюция и развитие АСУ технологического производства.

Предисловие

Ряд последних лет автором и сотрудниками лаборатории методов автоматизации производства Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН проводились работы в следующих направлениях:

- разработка новых методов и алгоритмов контроля и управления технологическими агрегатами, различными производственными объектами и службами предприятий технологических отраслей промышленности;

- оценка уровня автоматизации производства и формирование концепции развития автоматизации производства предприятий технологических отраслей;

- техническая помощь предприятиям технологических отраслей по повышению уровня автоматизации производства и обоснованию эффективности отдельных планируемых систем автоматизации;

- консультирование разработчиков средств и систем автоматизации в части особенностей запросов российского рынка и проведение технического анализа их продукции;

- методические рекомендации по организации и проведению тендера для выбора системы автоматизации технологического агрегата и объективное автоматическое определение победителя тендера;

- анализ и экспертиза разрабатываемых, внедряемых и эксплуатируемых систем автоматизации производства на предприятиях технологических отраслей.

Обобщающие результаты всех этих работ составляют основной материал выпускаемых последние годы автором книг по особенностям современной автоматизации производства предприятий технологических отраслей.

В 2009-ом году была опубликована монография **«Методы рациональной автоматизации производства»**. В ней рассматривалось современное состояние рынка автоматизации производства в России и анализировались рациональные способы работы заказчиков систем автоматизации производства на этом рынке.

В выпущенной в 2013-ом году монографии **«Методы комплексной автоматизации производства предприятий технологических отраслей»** рассматривается создание систем класса MES - автоматизированных систем производственных служб предприятий технологических отраслей.

В данной монографии **«Особенности современных АСУТП»** анализируются основные особенности создания, внедрения и эксплуатации современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) различных производственных объектов на российских предприятиях технологических отраслей.

Основные разделы книги посвящены:

- свойствам и характеристикам современных программных и технических средств АСУТП и путям их развития;
- методам защиты аппаратуры АСУТП и находящейся в ней информации от влияния различных помех промышленной среды и внешних информационных угроз;
- усовершенствованным методам и алгоритмам контроля и управления в АСУТП, значительно повышающим эффективность ее работы;
- анализу типичных недоработок и недостатков построения и эксплуатации АСУТП на российских предприятиях и их преодолению;
- содержанию организационных и административных мероприятий по поддержке эффективной работы АСУТП во время ее внедрения и эксплуатации.

Материал этих трех книг (естественно, по субъективному мнению автора) затрагивает большинство основных задач, которые приходится в настоящее время решать заказчикам-предприятиям, проектным организациям, системным интеграторам, разработчикам и производителям программных и технических средств и систем автоматизации отдельных технологических агрегатов и других производственных объектов предприятий технологических отраслей.

По содержанию и форме изложения данная книга (как и предыдущие) рассчитана на следующий круг читателей:

- на руководящий персонал, принимающий решения по развитию автоматизации производства на конкретных предприятиях;
- на сотрудников служб информатизации и автоматизации предприятий технологических отраслей;
- на работников отделов автоматизации в проектных институтах, в инжиниринговых фирмах, в НИИ и ОКБ;
- на системных интеграторов и генеральных подрядчиков систем автоматизации производства в отдельных технологических отраслях;
- на разработчиков, производителей и распространителей программных и технических средств и систем автоматизации производства.

Книга может быть полезна как преподавателям кафедр информатики и автоматизации различных университетов, так и сотрудникам возрождающихся курсов повышения квалификации персонала служб информатизации и автоматизации предприятий. Она также позволит аспирантам и научным работникам в области автоматизации производства ознакомиться с перспективными задачами, решения которых могут иметь достаточно широкое распространение на предприятиях технологических отраслей.

Важные уточнения к излагаемому в книге материалу

1. Используемое наименование «Предприятия технологических

отраслей промышленности», ограничивающее область применения изложенных в книге положений и результатов, относится к предприятиям, основу производства в которых составляют разные виды технологических процессов: предприятия химии, нефтехимии, нефтепереработки, металлургии, энергетики, других подобных отраслей.

2. Объекты автоматизации, которые рассматриваются в книге, в подавляющей части являются технологическими агрегатами. Однако для тематики ряда разделов книги не существует различий в методах автоматизации различных классов производственных объектов, будь то технологический агрегат, насосная станция, эстакада отгрузки продукции и т. п. Поэтому в этих случаях в книге основные при изложении имена **«Технологический процесс»** и **«Технологический агрегат»** заменяются более общим наименованием **«Производственный объект»**.

3. Автоматизация отдельных технологических агрегатов часто не может отделяться от автоматизации взаимосвязанных с ними производственных переделов типа хранилищ сырьевых компонентов, полуфабрикатов, готовой продукции; участков компаундирования полуфабрикатов и других объектов производства. Ввиду этого в книге затрагиваются также вопросы автоматизации производственных объектов, смежных к технологическим агрегатам.

4. В книге принципиально не перечисляются, не описываются, не анализируются и не сопоставляются **конкретные** программные и технические средства и системы автоматизации разных производителей, предлагаемые в настоящее время на российском рынке продуктов автоматизации. Рассматриваемые в книге современные, перспективные решения в области АСУТП не ссылаются на конкретные продукты автоматизации разных производителей и не затрагивают их особенностей. Причины этого ограничения:

- исключение любых намеков на косвенное рекламирование автором продукции каких-либо определенных производителей;

- убеждение автора, что, в отличие от журнальной статьи, книга является продуктом более длительного использования, а продукция автоматизации разных производителей модифицируется, совершенствуется и даже кардинально изменяется чуть ли не ежегодно; поэтому любой анализ текущей, конкретной продукции может устареть еще до выхода книги из печати.

Оглавление

Введение.....	19
 Первая часть	
Состав и функции современных технических и программных средств автоматизации в АСУТП	
 Раздел I. Типовые цифровые сети АСУТП.....	 33
 Глава 1.Свойства и характеристики промышленных сетей	 34
1.1. Особенности промышленных сетей.....	34
1.2. Характеристики промышленных сетей.....	35
1.2.1. Варианты физической среды сетей.....	35
1.2.2. Варианты структуры сетей.....	36
1.2.3. Сетевые интерфейсы.....	37
1.2.4. Модели взаимодействия в сетях.....	39
1.3. Стандартизация промышленных сетей.....	42
1.4. Современное развитие промышленных сетей.....	44
Глава 2. Проводные промышленные сети.....	46
2.1. Сети Profibus и Profinet.....	47
2.2. Сети Foundation Fieldbus и Foundation Fieldbus HSE.....	49
2.3. Сети Modbus и Modbus/TCP.....	52
2.4. СетьHART-протокол.....	53
2.5. Сеть Industrial Ethernet.....	55
Глава 3. Беспроводные промышленные сети.....	57
3.1. Основные причины распространения беспроводных сетей....	57
3.2. Области применения беспроводных сетей.....	58
3.3. Общие свойства беспроводных сетей.....	60
3.4. Сети по семейству стандартов IEEE 802.11.....	64
3.5. Сети по стандартам IEEE 802.15.....	66
3.5.1. Сеть ZigBee.....	66
3.5.2. Сеть Bluetooth	67
3.5.3. Сеть Wireless HART	68
3.5.4. Сеть стандарта ISA 100.11a.....	68
3.6. Направления развития промышленных сетей.....	69

Раздел II. Средства автоматизации полевого уровня АСУТП (датчики и исполнительные комплексы)	73
Глава 4. Общие свойства современных датчиков	74
4.1. Классификация датчиков.....	74
4.2. Особенности современных датчиков.....	75
4.3. Экономические преимущества использования современных датчиков.....	76
4.4. Структура современных датчиков.....	77
4.5. Реализуемые современными датчиками функции.....	79
4.6. Перспективы развития современных датчиков.....	81
4.7. Необходимые классы датчиков для контроля работы технологических агрегатов.....	85
Глава 5. Обзор общепромышленных классов датчиков	87
5.1. Датчики давления.....	88
5.2. Датчики объемного расхода.....	90
5.3. Датчики массового расхода.....	95
5.4. Датчики плотности.....	97
5.5. Датчики уровня.....	100
5.6. Датчики температуры.....	103
5.7. Поточные анализаторы качественных показателей.....	106
5.8. Датчики энергоресурсов.....	109
5.9. Датчики и измерительные комплексы текущего состояния оборудования.....	112
5.10. Датчики безопасности.....	116
Глава 6. Исполнительные комплексы	117
6.1. Классификация исполнительных комплексов.....	118
6.2. Основные типы исполнительных механизмов.....	119
6.3. Основные типы регулирующих органов.....	122
6.4. Свойства современных исполнительных комплексов.....	126
Раздел III. Средства автоматизации промышленного уровня АСУТП (промышленные контроллеры)	129
Глава 7. Виды промышленных контроллеров	130
7.1. Варианты контроллеров по их основным показателям.....	130
7.2. Варианты контроллеров по их техническому оформлению	133
7.3. Варианты выполнения технических компонентов (модулей) контроллеров.....	135

7.3.1. Стандарт VMEbus.....	136
7.3.2. Мезонинные модули.....	137
7.4. Варианты операционных систем контроллеров.....	138
7.5. Развитие промышленных контроллеров.....	140
Глава 8. Характеристики промышленных контроллеров.....	142
8.1. Характеристики центральных процессоров контроллеров.....	142
8.2. Характеристики операционной системы контроллеров.....	143
8.3. Характеристики блоков ввода/вывода контроллера	145
8.4. Характеристики открытости контроллеров.....	147
8.5. Характеристики надежности контроллеров.....	148
8.6. Характеристики работы контроллеров во внешней среде.....	150
Глава 9. Программное обеспечение промышленных контроллеров.....	151
9.1. Стандарты среды программирования контроллеров.....	151
9.1.1. Стандарт МЭК 61131-3.....	151
9.1.2. Стандарты МЭК 61499 и МЭК 61804.....	154
9.2. Конкретные реализации среды программирования контроллеров.....	156
9.2.1. Среда программирования CODESYS.....	156
9.2.2. Среда программирования ISaGRAF.....	159
9.3. Библиотека типовых программных модулей контроллера.....	160
Раздел IV. Средства автоматизации информационного уровня АСУТП (SCADA-программы).....	162
Глава 10. Свойства SCADA программ.....	164
10.1. Структуры SCADA программ	164
10.2. Функции SCADA-программ.....	165
10.3. Состав SCADA-программ.....	167
10.3.1. Особенности инструментальных комплексов SCADA-программ.....	167
10.3.2. Особенности исполнительских комплексов SCADA-программ.....	168
10.4. Взаимодействие SCADA-программ с внешними программными средствами.....	170
10.5. Качество работы SCADA-программ.....	171
Глава 11. Взаимодействия прикладных программных компонентов, используемых SCADA-программой.....	173
11.1. Технология общения программ – OLE.....	173
11.2. Компонентная объектная технология - COM/DCOM.....	174

11.3. Компонентная объектная архитектура – CORBA.....	175
11.4. Взаимодействие программ на базе архитектуры ActiveX.....	176
11.5. Интерфейс взаимодействия программ в промышленных системах автоматизации – OPC.....	176
11.6. Язык запросов к реляционным СУБД – SQL.....	179
11.7. Обмен программ с СУБД на базе драйвера - ODBC.....	180
Глава 12. Направления развития SCADA-программ.....	181
12.1. Развитие SCADA-программы по обслуживанию контроллеров АСУТП.....	182
12.2. Развитие SCADA-программы по обслуживанию оборудования (EAM).....	183
12.3. Развитие SCADA-программы по обслуживанию службы диспетчеризации производства.....	184

Вторая часть

Особенности построения современных систем автоматизации производственных объектов

Раздел V. Структуры и функции систем автоматизации разных классов производственных объектов.....	187
---	------------

Глава 13. Системы контроля и управления рабочими режимами производственных объектов.....	188
13.1. Системы автоматизации технологических объектов.....	191
13.1.1. Системы автоматизации малых технологических объектов.....	191
13.1.2. Системы автоматизации технологических агрегатов любого объема.....	191
13.2. Системы автоматизации производственных хранилищ.....	192
13.2.1. Системы автоматизации резервуарных парков жидких продуктов.....	192
13.2.2. Системы автоматизации складов сыпучих материалов....	193
13.3. Системы автоматизации узлов поточного смешения компонентов.....	194
13.3.1. Системы автоматизации узлов поточного смешения жидких продуктов.....	194
13.3.2. Системы автоматизации узлов поточного смешения сыпучих материалов.....	195
13.4. Системы автоматизации производственных объектов в составе единой операторной производства.....	196

Глава 14. Системы противоаварийной защиты	
производственных объектов.....	199
14.1. Основные показатели систем ПАЗ.....	200
14.2. Руководящие документы по созданию и эксплуатации систем ПАЗ.....	201
14.3. Конкретные особенности построения и эксплуатации систем ПАЗ.....	210
14.3.1. Особенности разработки технического задания на систему ПАЗ.....	210
14.3.2. Свойства, которые должны быть учтены в проекте на систему ПАЗ.....	211
14.3.3. Требования, которые должны быть указаны в документации по эксплуатации системы ПАЗ.....	213
Глава 15. Направления развития систем автоматизации	
производственных объектов.....	214
15.1. Структурные развития отдельных уровней системы автоматизации.....	214
15.2. Перспективы слияния промышленного и информационного уровней системы автоматизации.....	217
15.3. Ограниченные варианты структуры системы автоматизации при наличии встроенных в оборудование средств автоматики.....	217
15.4. Интернет структуры системы автоматизации.....	218
Раздел VI. Защита средств и систем автоматизации от внешних воздействий и кибератак.....	221
Глава 16. Защита аппаратуры автоматизации от различных атмосферных воздействий.....	223
16.1. Защита аппаратуры при разных климатических условиях ее работы.....	224
16.2. Защита аппаратуры от влаги и механических частиц.....	226
16.3. Защита аппаратуры от загрязнений, влияющих на изоляцию.....	230
Глава 17. Защита аппаратуры автоматизации от вредных воздействий промышленной среды.....	230
17.1. Защита аппаратуры от электромагнитных помех.....	231
17.2. Защита аппаратуры от взрывоопасной промышленной среды.....	234
17.3. Защита аппаратуры от химических активных газов в промышленной среде.....	239

17.4. Защита аппаратуры от внешних механических воздействий: вибраций и ударов.....	242
Глава 18. Защита информации в системах автоматизации.....	244
18.1. Защита информации от искажений при ее прохождении и обработке в системе автоматизации.....	246
18.2. Защита информации от помех среды.....	250
18.3. Защита информации от несанкционированного доступа к средству или системе автоматизации.....	251
18.3.1. Особенности защиты информации от несанкционированного доступа к АСУ производственных объектов.....	252
18.3.2. Существующие стандарты защиты информации от несанкционированного доступа к АСУ производственных объектов.....	254
18.3.3. Основной нормативный документ ФСТЭК по защите информации от несанкционированного доступа к АСУ производственных объектов.....	257
18.3.4. Другие документы ФСТЭК по защите информации от несанкционированного доступа.....	262
18.3.5. Рекомендации по применению существующих нормативов по защите информации от несанкционированного доступа при построении и эксплуатации АСУ.....	270

Третья часть

Рационализация взаимодействия персонала с системой автоматизации в АСУТП

Раздел VII. Новые способы представления информации операторам.....	273
---	------------

Глава 19. Учет психологических свойств оператора при выборе методов представления ему информации.....	275
--	------------

19.1. Рекомендации инженерной психологии по выводу на экран монитора информации.....	276
19.2. Анализ влияния различных способов представления информации оператору на эффективность его работы.....	279

Глава 20. Развитие способов представления информации оператору.....	280
--	------------

20.1. Стандарты взаимодействия человека с компьютерными системами.....	281
--	-----

20.2. Образные способы представления информации оператору...	285
Глава 21. Система тревожной сигнализации о нарушениях, требующих управляющих реакций оператора	294
21.1. Руководящие документы по организации системы тревожной сигнализации.....	295
21.2. Приоритетное построение системы тревожной сигнализации.....	297
Раздел VIII. Совершенствование работы персонала с системой автоматизации	301
Глава 22. Совершенствование текущего функционирования операторов	302
22.1. Психологическое сопровождение операторов.....	302
22.2. Ознакомление персонала производственного объекта с внедряемой системой автоматизации.....	303
22.3. Восприятие операторами текущего хода технологического процесса.....	305
22.4. Связь числа операторов с уровнем автоматизации производственного объекта.....	306
Глава 23. Административное и организационное сопровождение персонала производственного объекта	307
23.1. Недостатки существующей административной и организационной поддержки персонала.....	307
23.2. Принципы административного управления производством.....	309
23.3. Административные меры поддержки персонала АСУТП.....	310
23.3.1. Пересмотр должностных инструкций и нормативов работы персонала.....	311
23.3.2. Мотивация персонала за эффективность управления объектом.....	312
23.3.3. Влияние заинтересованности руководства предприятия в эффективном использовании АСУТП.....	314
Глава 24. Обучение и тренинг операторов технологических агрегатов	314
24.1. Основы обучения и тренинга операторов.....	317
24.2. Структура компьютерной тренажерной системы.....	320
24.3. Особенности выбора компьютерной тренажерной системы.....	323
24.4. Источники эффективности применения компьютерного тренажера.....	327

Глава 25. Повышение квалификации персонала КИПиА по выбору и обслуживанию средств и систем автоматизации.....	329
25.1. Организационные аспекты стажировки персонала КИПиА.....	330
25.2. Тематика лекционных занятий по изучению современных средств и систем автоматизации.....	333
25.3. Тематика практических занятий по изучению современных средств и систем автоматизации.....	338
25.4. Принципиальные положения функционирования центра стажировки.....	339

Четвертая часть

Перспективные методы автоматизации работы технологических агрегатов

Раздел IX. Развитие методов контроля и учета	341
---	------------

Глава 26. Вычислительные способы учета расходов материальных потоков.....	344
26.1. Учет расхода материального потока агрегата по балансному уравнению всех потоков агрегата.....	345
26.2. Учет расхода материального потока агрегата, заполняющего или опорожняющего хранилище.....	346
26.3. Учет расходов материальных потоков в транспортной сети продуктопроводов.....	347
26.4. Учет расходов материальных потоков в транспортной сети продуктопроводов с хранилищами.....	349
26.5. Дублирование оценки учетного значения расхода материального потока различными независимыми способами.....	350
Глава 27. Совершенствование лабораторного контроля показателей качества продукции.....	352
27.1. Выбор рациональной частоты проведения лабораторных анализов качественных показателей.....	353
27.2. Повышение точности оценки текущих качественных показателей по их дискретным лабораторным анализам использованием алгоритмов экстраполяции.....	362
Глава 28. Виртуальные анализаторы показателей качества продукции.....	369
28.1. Виртуальные анализаторы на базе регрессионных уравнений.....	370

28.2. Виртуальные анализаторы на базе нейросети.....	375
Раздел X. Развитие методов автоматического управления.....	379
Глава 29. Совершенствование существующих систем	
ПИД регулирования.....	379
29.1. Автоматическая инспекция работы систем	
ПИД регулирования.....	380
29.2. Автоматическая настройка ПИД регуляторов.....	381
29.3. Добавление логических функций в систему	
ПИД регулирования.....	383
Глава 30. Усовершенствованное управление технологическими процессами.....	385
30.1. Принцип работы предикт-контроллера.....	385
30.2. Варианты использования предикт-контроллера.....	387
30.3. Моделирование технологических процессов как основа их оптимального управления.....	391
30.3.1. Модели типовых процессов химико-технологического производства.....	392

Пятая часть

Особенности управления всеми этапами жизненного цикла АСУТП

Раздел XI. Методы планирования АСУТП.....	397
--	------------

Глава 31. Прогноз эффективности планируемых разработок АСУТП.....	398
31.1. Изменения показателей работы автоматизируемого агрегата, обоснованно пересчитываемые в экономические показатели.....	400
31.2. Изменения показателей работы автоматизируемого агрегата, которые обоснованно не переводятся в экономические показатели.....	401
31.3. Метод прогноза оценки дополнительной прибыли от имеющихся «твердых компонентов» эффективности в планируемой системе автоматизации.....	403
31.4. Оценка общей эффективности внедрения планируемой АСУТП.....	406

Глава 32. Методика разработки концепции рационального развития автоматизации технологических агрегатов.....	409
32.1. Методика поэтапной разработки концепции автоматизации.....	410
32.2. Выбор исполнителя работ по созданию концепции развития автоматизации технологических агрегатов.....	415
Глава 33. Формирование технических требований на АСУТП.....	417
33.1. Основные правила формирования технических требований.....	418
33.2. Особенности требований к средствам полевого уровня.....	420
33.3. Особенности требований к программно-техническому комплексу (ПТК).....	423
33.4. Особенности требований к проектированию и внедрению АСУТП.....	425
Раздел XII. Реализация и эксплуатация АСУТП.....	427
Глава 34. Методика проведения тендера по выбору АСУТП.....	428
34.1. Организация тендера.....	429
34.2. Экспертная оценка предложений.....	431
34.3. Компьютерная обработка и ранжировка тендерных предложений.....	441
Глава 35. Особенности проектирования, внедрения и эксплуатации АСУТП.....	451
35.1. Необходимые работы на этапах проектирования и внедрения АСУТП.....	452
35.1.1. Взаимодействия заказчика и разработчика при создании АСУТП.....	452
35.1.2. Оценка эффективности, достигнутой при внедрении АСУТП.....	457
35.2. Необходимый аудит АСУТП на этапе ее промышленной эксплуатации.....	461
Глава 36. Причины недостаточной эффективности АСУТП на российских предприятиях технологических отраслей.....	468
36.1. Типовые недостатки работ по автоматизации производства.....	468
36.1.1. Недостатки планирования АСУТП.....	468
36.2. Неверное использование заказчиком термина «Эффективность», искажающее оценку работы АСУ.....	472
36.3. Недостатки выбора системы автоматизации для АСУ производственного объекта.....	474

36.4. Недостатки проведения этапов проектирования, опытной и промышленной эксплуатации АСУТП.....	480
36.5. Необходимые правила руководства работами по рациональной автоматизации производства.....	484
36.5.1. Внимание руководителей предприятий!	486
Заключение.....	492
Литература.....	515

Введение

Предварительно целесообразно уточнить, что следует понимать под широко используемым термином «АСУТП» и обозначить те проблемы, которые возникают в продолжении всего жизненного цикла АСУТП и не находят необходимого разрешения в подавляющем большинстве российских предприятий технологических отраслей промышленности.

1. Что в действительности есть «АСУТП»

Естественно, что прежде рассмотрений различных аспектов построения, внедрения, эксплуатации АСУТП (Автоматизированной Системы Управления Технологическим Процессом) следует четко определить, что следует понимать под наименованием «АСУТП» и каков состав системы, которая может именоваться этим термином.

Состав АСУТП

Конкретное содержание АСУТП или ее необходимый состав автору не удалось найти в стандартах. Лишь некоторые частные подходы требований к включенному в состав АСУТП персоналу (операторам) указаны в следующих стандартах:

1. ГОСТ 24.104-85. Автоматизированные системы. Общие требования[1].

«1.3. Требования к подготовленности персонала АСУ.

1.3.1. Квалификация персонала АСУ должна обеспечивать эффективное функционирование системы во всех заданных режимах.

1.3.2. Персонал АСУ должен быть подготовлен к выполнению своих обязанностей в соответствии с инструкциями организационного обеспечения.

1.3.3. Каждое лицо, входящее в состав персонала АСУ, должно применять соответствующие информационные модели и работать с используемыми им техническими средствами и документацией, определяющей порядок его деятельности.»

2. ГОСТ 34.601-90 Автоматизированные системы. Стадии создания [2].

«16. На этапе 7.2 “Подготовка персонала” проводят обучение персонала и проверку его способности обеспечить функционирование автоматизированной системы.

Удовлетворительное разъяснение термина «АСУТП», определяющее ее состав, приводится в Википедии свободной энциклопедии [3].

«Под АСУТП обычно понимается целостное решение, обеспечивающее автоматизацию основных операций технологического процесса на производстве в целом или какой-то его участке, выпускающем относительно завершённое изделие. Понятие «автоматизированный», в

отличие от понятия «автоматический», подчёркивает необходимость участия человека в отдельных операциях, как в целях сохранения контроля над процессом, так и в связи со сложностью или нецелесообразностью автоматизации отдельных операций. Как правило, АСУТП имеет единую систему операторского управления технологическим процессом в виде одного или нескольких пультов управления, средства обработки и архивирования информации о ходе процесса, типовые элементы автоматики: датчики, устройства управления, исполнительные устройства. Для информационной связи всех подсистем используются промышленные сети.»

Полностью принимая данное определение АСУТП, подчеркнем важнейшие ее свойства.

АСУТП является эргатической, т.е. человеко-машинной системой. При ее создании необходимо разрабатывать как машинную - автоматическую, так и человеческую – операторную составляющие, чтобы они работали согласованно, функционально дополняли друг друга, имели бы аналогичные цели и критерии. Естественно, большая часть нагрузки по контролю и учету технологического процесса ложится на машинную - автоматическую составляющую АСУТП (далее она называется «Система автоматизации технологического агрегата»); а на анализ измеряемых данных и на управление большая часть нагрузки и, главное, ответственность за качественное функционирование технологического процесса достается человеческой составляющей АСУТП, т. е. – операторам технологического агрегата.

Система автоматизации технологического агрегата имеет три иерархических уровня контроля и управления: нижний или полевой уровень, средний или промышленный уровень, верхний или информационный уровень.

1. К нижнему комплексы, состоящие из исполнительных механизмов и регулирующих органов. Эти технические средства непосредственно взаимодействуют с технологическим агрегатом, измеряя ход технологического процесса (датчики) и изменяя режим его протекания (исполнительные комплексы). Средства нижнего уровня информационно взаимосвязаны с определенными промышленными контроллерами, расположенными на среднем уровне, и обмениваются данными с ними через индивидуальные каналы связи или через цифровую **поле-вую** сеть между каждым контроллером и прикрепленными к нему датчиками и исполнительными механизмами.

2. К среднему, **промышленному** уровню контроля и управления относятся промышленные контроллеры. В больших, объемных технологических агрегатах они могут составлять два иерархических слоя:

- контроллеры нижнего слоя (обычно нано-, микро-, малые и частично средние по мощности контроллеры) через полевую сеть взаимодействуют со средствами полевого уровня, получая от них информацию об измеренных значениях величин, производя первичную переработку этой информации и передавая управляющие воздействия на исполнительные механизмы. Кроме того, они передают по промышленной сети измеренные и переработанные значения величин контроллерам верхнего слоя и техническим средствам верхнего уровня.

- контроллеры верхнего слоя данного уровня (большие и частично средние по мощности контроллеры) получают информацию о работе контроллеров нижнего слоя: о их управляющих воздействиях и о реакции на них управляемых величин и вырабатывают корректирующую подстройку параметров алгоритмов работы контроллеров нижнего слоя, улучшающую качество их управления. Информационно они через промышленную сеть взаимодействуют с контроллерами нижнего слоя и с техническими средствами верхнего уровня, которым передают данные о своих коррекциях.

3. К верхнему, **информационному** уровню относятся серверы, проводящие углубленную математическую и логическую переработку и хранение информации, получаемой по промышленной сети от контроллеров, а также рабочие станции операторов, на которые по информационной сети выдаются серверами необходимые операторам измеренные значения величин, вычисленные учетные данные о работе агрегата, разработанные серверами показатели и различные сведения и сообщения, переданные от технических средств всех уровней. Информационная сеть используется также для связи между собою имеющихся в операторной агрегата рабочих станций, что позволяет им взаимно резервировать друг друга.

Следует отметить, что все средства среднего и верхнего уровней системы автоматизации практически реализуются в единой системе: программно-техническом комплексе (ПТК).

Таким образом, в состав любой современной АСУТП входят:

- система автоматизации технологического агрегата, состоящая из автоматических средств полевого уровня и микропроцессорного программно-технического комплекса;

- операторы автоматизируемого технологического агрегата.

Фундаментом всей АСУТП является подсистема контрольно-измерительных приборов и исполнительных комплексов, и ее неполнота, моральная и/или физическая устарелость, недостаточные точность и надежность - не позволят построить совершенную и эффективную АСУТП, независимо от совершенства ПТК и квалификации операторов.

Решающую роль в принятии правильных и эффективных решений и управляющих воздействий на технологический процесс выполняют операторы; ввиду этого даже отлично спроектированная современная автоматическая часть АСУТП при слабой квалификации операторов, недостаточного понимания ими возможностей ПТК, не продуманной их связи с автоматической частью АСУТП, материальной незаинтересованности в качественной работе агрегата - не позволят построить совершенную и эффективную АСУТП.

Наиболее объемной и функционально загруженной частью АСУТП является ПТК. Если его выбор проводится без детального технического анализа современных перспективных ПТК разных производителей и отобранный вариант не содержит рациональных алгоритмов переработки измерительной информации, а (как это нередко происходит) в основном выбор ПТК проводится по критерию его минимальной стоимости, то построенная АСУТП, даже при отличном состоянии и функционировании других ее частей, всегда по эффективности будет уступать возможностям, которые могли бы быть достигнуты при приобретении более технически совершенного и перспективного ПТК.

Распространенные на практике варианты толкования термина «АСУТП»

На практике специалисты, отвечающие за разработку и функционирование АСУТП, большей частью используют усеченные толкования термина АСУТП, почти везде понимая под АСУТП (см., например, опубликованные недавно подробные статьи о разработках АСУТП: [4] и [5]) только ее отдельные составляющие:

Заказчик, которым обычно является предприятие, приобретающее новый технологический агрегат или заменяющее морально и физически устаревшую систему автоматизации на действующем технологическом агрегате, не формулирует конкретно состав планируемого АСУТП и не касается его полного конкретного содержания (для этого, большей частью, на предприятии нет соответствующих специалистов). В подавляющем большинстве случаев, если речь идет о замене морально и физически устаревшей системы автоматизации понимается под новым АСУТП только новый программно-технический комплекс (ПТК), который должен быть внедрен на данном агрегате. Нередко можно объяснить это тем, что финансы на средства полевого уровня и на ПТК идут по разным независимым статьям и не выделяются одновременно. Если приобретается новый агрегат, то заказчик полагается на состав и параметры АСУТП, предлагаемые поставщиком оборудования агрегата. Относительно человеческой составляющей АСУТП и здесь, и всюду далее в процессе разработки и внедрения АСУТП фиксируется только

необходимость обучения операторов использовать автоматическую составляющую АСУТП; никакие другие аспекты функционирования операторов в АСУТП не рассматриваются.

Разработчик технических требований на АСУТП, которым большей частью являются либо отдел автоматики проектного института соответствующей отрасли промышленности, либо поставщик определенного ПТК, а значительно реже само предприятие-заказчик, независимо от своей принадлежности к той или иной организации, создает достаточно ограниченные требования не на АСУТП в ее полном понимании, а только на автоматическую составляющую АСУТП, но фактически сужая и ее содержание:

- либо в них совсем не фигурируют полевые средства (они предполагаются заданными или уже имеющимися на агрегате);

- либо они присутствуют, но в недостаточном числе и не должном качестве (обычно отсутствуют средства измерения всех или части энергетических затрат, не контролируется текущее состояние основного оборудования агрегата, часть имеющихся датчиков не обладает достаточной надежностью);

- недостаточное внимание уделяется необходимой точности оценки измеряемых величин (особенно это касается контроля производительности и качества, выпускаемой агрегатом продукции).

Проектировщик автоматической составляющей АСУТП, которым тоже является проектная организация или поставщик средств АСУТП, в лучшем случае реализует заданные требования, а в ряде случаев искажает и сужает их (если это проектная организация, то повторяет уже проведенные ранее, не учитывающие современных, перспективных средств, проекты автоматизации подобных агрегатов; если это поставщик средств, то подгоняет требования под состав и характеристики своих выпускаемых средств), пользуясь тем, что детальной проверки разработанного техно-рабочего проекта заказчик, большей частью, не проводит. Тем самым реализуются все недоработки заданных технических требований, а зачастую к ним добавляются еще и собственные ограничения и недостатки, что еще более снижает качество функционирования АСУТП.

Поставщик технических и программных средств АСУТП, естественно, реализует поставку необходимых по проекту средств, не вникая конкретно в вопросы их достаточности, рациональности, сформированных способов использования; и не подвергая анализу заложенные в проекте решения. Он обычно не касается вопросов правильности, полноты, эффективности реализации АСУТП, т. е. не изменяет заданную ему не полноценную модель АСУТП.

Организация, внедряющая АСУТП (большой частью ею является поставщик средств) добавляет свои недоработки:

- поверхностное ознакомление операторов автоматизируемых агрегатов с возможностями и правилами общения с внедряемой системой автоматизации;

- абсолютное отсутствие каких-либо конкретных требований, рекомендаций, условий рационального функционирования человеческой составляющей АСУТП и эффективного взаимодействия операторов с автоматической составляющей АСУТП;

- достаточно формальное и недостаточно длительное проведение этапа опытной эксплуатации внедряемой АСУТП и отсутствие перед сдачей ее в промышленную эксплуатацию проверки умения операторов взаимодействовать с системой автоматизации и, тем более, эффективно ее использовать.

Фирма, привлеченная предприятием для сервисного обслуживания АСУТП (обычно этой фирмой является поставщик средств автоматизации или его дилер) понимает под АСУТП установленные на предприятии технические средства ПТК, а под названием «Сервисное обслуживание АСУТП» понимает наблюдения за исправностью состояний контроллеров, серверов, рабочих станций и, при необходимости, обеспечение их ремонта, что в действительности составляет весьма малую долю необходимого сервисного обслуживания основных компонентов функционирования АСУТП.

Руководство предприятия обычно не вдается в тонкости того, что должно было быть внедрено под наименованием «АСУТП»; оно соглашается и утверждает имеющийся вариант ее исполнения.

Необходимый учет полного состава АСУТП всеми участниками ее разработки и эксплуатации

Если на всех стадиях жизненного цикла АСУТП придерживаться ее необходимого, полного содержания и состава, то следует скорректировать содержание всех этапов создания и функционирования АСУТП, что несомненно существенно повысит эффективность ее использования.

Заказчик, планирующий создание АСУТП, должен четко указать, что разработка должна касаться не какой-либо части, а всех рассмотренных автоматических и человеческих составляющих АСУТП.

Разработчик технических требований на АСУТП должен, предварительно обследовав текущее состояние с контролем и управлением технологического агрегата (если система планируется для функционирующего на производстве процесса), сформулировать требования на все составляющие АСУТП, учитывающие возможность

использования отдельных, существующих технических и программных средств и имеющиеся формы управления операторами, нормативы их работы и критерии поощрения. Если АСУТП планируется для нового, приобретаемого агрегата следует обосновать структурно и функционально требования на все составляющие АСУТП.

В части требований к средствам полевого уровня надо наметить необходимый набор модификаций, замен, добавлений технических средств, чтобы полностью точно, достоверно и надежно построить фундамент АСУТП. Следует отметить, что даже если в данное время заказчик не имеет средств на необходимую модернизацию средств полевого уровня и ограничивается приобретением ПТК, надо все равно сформулировать эти требования и в них обязательно указать: что без их выполнения АСУТП будет ущербной и эти требования должны быть реализованы в возможно более короткий срок.

Требования к ПТК должны подразделяться на требования к его структуре и на требования к характеристикам его программных и технических средств.

Не должны быть забыты требования к операторам автоматизируемого технологического процесса. В них должны быть сформулированы указания к проработке ряда аспектов рационального поведения операторов в составе разрабатываемого АСУТП. В частности, должны быть отработаны обоснования целесообразного числа операторов и функциональной ответственности каждого оператора; формы и методы обучения операторов взаимодействию с автоматическими средствами АСУТП; способы проверки качества работы операторов по завершении этапа опытной эксплуатации АСУТП; необходимые модификации нормативов и должностных инструкций операторов, конкретизирующих их взаимодействия с автоматическими средствами АСУТП; способы материальной мотивации операторов за эффективное использование автоматических средств АСУТП.

Проектировщик и поставщик технических и программных средств АСУТП должны выполнять свои функции в полном соответствии с выше отмеченными техническими требованиями на АСУТП. Важно подчеркнуть необходимость детальной проверки разработанного технорабочего проекта и поставляемых программных и технических средств, чтобы исключить любые отклонения от заданных технических требований.

Организация, внедряющая АСУТП должна обязательно проводить все работы на этапах внедрения и опытной эксплуатации системы совместно с заказчиком, т. е. с предприятием, на котором внедряется АСУТП, т. к. процесс внедрения требует проведения ряда

организационных и административных мероприятий касающихся функционирования операторов, которые может выполнить только руководство предприятия. В частности, они должны совместно реализовывать эффективное взаимодействие операторов с автоматическими средствами АСУТП. Особое внимание должно быть уделено ими следующим вопросам:

- результатам обучения операторов взаимодействию с автоматическими средствами АСУТП в начале внедрения системы;
- сроку окончания этапа внедрения (стадии опытной эксплуатации), только после фиксации выполнения всех требований к операторам автоматизируемого технологического процесса и проверки эффективного функционирования АСУТП.

Фирма, привлеченная предприятием для сервисного обслуживания АСУТП, или подразделение предприятия, реализующая его, должна правильно воспринимать термин «сервисное обслуживание», по смыслу которого она должна обеспечивать:

- слежение за исправной работой всех технических и программных средств АСУТП и их необходимое обслуживание и ремонт;
- наблюдение за рациональной эксплуатацией операторами автоматических средств АСУТП и корректировка их взаимодействия;
- периодическую проверку правильности всех настроечных параметров средств контроля и управления и их необходимую коррекцию или указание о необходимых действиях;
- своевременную модификацию отдельных программных и технических средств АСУТП при любых изменениях и совершенствованиях технологического процесса и/или оборудования агрегата;
- анализ деградации АСУТП со временем, т. е. периодический аудит работы АСУТП, сопоставление текущих результатов работы с результатами прошлых аудитов и разработка необходимых мероприятий по совершенствованию работы АСУТП.

Руководство предприятия должно либо само, либо привлекая независимую организацию, конкретно участвовать в создании и использовании АСУТП:

- проверять результаты проведения отдельных этапов разработки АСУТП;
- полноценно, соответствующим персоналом предприятия, участвовать во внедрении АСУТП;
- обеспечивать необходимые организационные и административные мероприятия по поддержке АСУТП;
- отслеживать результаты периодических аудитов АСУТП.

Практические выводы, следующие из приведенных положений.

1. АСУТП не есть внедренное современное ПТК при нетронутых, неполных, морально и физически устаревших средствах полевого уровня. Более того, если даже внедрение затронуло все уровни контроля и управления и построена необходимая автоматическая составляющая АСУТП, но не обеспечена ее эффективное использование операторами технологического агрегата, то и это не есть полноценное АСУТП.

2. Использование термина «АСУТП» при внедрениях только указанных отдельных частей системы контроля и управления приносит ощутимый вред, поскольку оно позволяет руководству предприятия считать, что данный технологический агрегат имеет вполне современную систему управления и не нуждается в добавочных разработках и мероприятиях по совершенствованию его работы.

3. Любое АСУТП со временем деградирует; причем тем быстрее, чем сложнее и совершеннее его средства автоматического контроля и управления, поэтому без постоянного сервисного обслуживания АСУТП, в том числе без периодического аудита работы системы контроля и управления агрегатом - говорить о достаточно качественном управлении агрегатом со временем все труднее, даже если в свое время была внедрена полномасштабная, современная АСУТП.

2. Основные проблемы современных АСУТП

На всех этапах жизненного цикла АСУТП: планирования, разработки, внедрения, эксплуатации – возникают достаточно типовые проблемы, от рационального решения которых зависит успешность, перспективность, эффективность, долговечность функционирования АСУТП и, следовательно, конкурентность выпускаемой предприятием продукции.

Ниже приводится наименование и краткая постановка основных типовых проблем,

Проблемы этапа планирования АСУТП

На этапе планирования важно составить грамотную концепцию развития автоматизации производства:

- рассмотреть необходимость или целесообразность создания, или модернизации АСУТП на отдельных технологических агрегатах,
- определить состав и функции предполагаемых к разработке или модернизации АСУТП;
- выполнить приближенный расчет затрат на реализацию предполагаемых АСУТП и определить примерный временной интервал их разработки и внедрения;
- обосновать прогнозируемую эффективность внедрения каждой

предполагаемой АСУТП;

- определить целесообразную последовательность предполагаемых работ по развитию автоматизации производства с учетом существующих ограничений на финансовые затраты по автоматизации.

Приведенная в концепции стратегия должна базироваться на анализе узких мест производства, на учете его потенциальных резервов и на знании возможностей современных средств и систем автоматизации.

После утверждения концепции, на каждом временном этапе ее реализации следует основное внимание уделить разработке технических требований (ТТ) на каждую планируемую на этом этапе АСУТП, в которых предусмотреть:

- полноту, конкретность, однозначность понимания ТТ;
- обязательность или рекомендательность отдельных положений ТТ;

- фиксацию требований не только к машинной, но и к человеческой составляющей АСУТП;

- оценку перспективности свойств и характеристик предлагаемых на тендер средств и систем автоматизации в ТТ;

- учет необходимых нормативных документов по разработке АСУТП и обязательных связей АСУТП с другими системами предприятия и т. п.

В требованиях должны быть отдельно отмечены необходимость соответствия предложений на тендер нормативу по противоаварийной защите, нормативу по информационной защите, нормативу по экономному расходованию энергоресурсов.

Технические требования не могут быть полноценными, если они не содержат положений, учитывающих текущее многообразие предлагаемых различными производителями средств и систем автоматизации, их свойств и характеристик, их возможностей и перспективности.

Проблемы этапа разработки системы автоматизации АСУТП

Процедура выбора производителей средств и системы автоматизации, разработчиков технорабочего проекта, исполнителей монтажа и наладки средств должна выявлять действительно наилучших производителей средств и исполнителей работ для данного конкретного автоматизируемого объекта, что возможно на базе проведения **объективного** тендера. Способ организации и проведения такого тендера, полностью исключающего возможности некачественного и недобросовестного сопоставления присланных на тендер предложений, далеко отстоит от применяемых форм подавляющего большинства тендеров, проводимых на российских предприятиях.

Остро стоит задача квалифицированного обеспечения полного и

достаточно тщательного контроля заказчиком выполненного проекта и его точного соответствия заданным техническим требованиям на АСУТП.

Проблемы внедрения АСУТП

Ряд важнейших проблем, влияющих на качество функционирования АСУТП, должен быть решен на этапе внедрения при проведении опытной эксплуатации АСУТП:

- формы участия будущего персонала АСУТП в работах по тестированию и внедрению средств и системы автоматизации;
- конкретизация способов обучения и тренажа операторов АСУТП полноценному использованию системы автоматизации и проверки их освоения форм взаимодействия с внедряемой системой автоматизации;
- конкретизация способов обучения и тренажа персонала службы КИПиА работам по обслуживанию внедряемых системы и средств автоматизации;
- способ и методика экспериментальной оценки полученной эффективности внедряемой АСУТП;
- определение необходимых организационных и административных мероприятий по поддержке персонала АСУТП и по мотивации его эффективной работы;
- способы оценки полномасштабного освоения персоналом АСУТП функций контроля и управления на базе внедренной системы автоматизации и учета всех замечаний персонала к ней до завершения этапа опытной эксплуатации АСУТП и перевода ее в промышленную эксплуатацию.

Проблемы этапа эксплуатации АСУТП

На этом, основном этапе жизненного цикла АСУТП необходимо не допустить деградацию АСУТП. Для этого должны быть предусмотрены и периодически выполняться специальные мероприятия по наблюдению и анализу ее работы. Это требует создания определенных конкретных решений по содержанию и времени проведения этих мероприятий:

- методов формирования и проведения периодического тренажа операторов по рациональной компенсации возможных неполадок, отказов, аварийных ситуаций;
- способов оценки изменения эффективности функционирующей АСУТП по сравнению с ее эффективностью, зафиксированной на этапе ее опытной эксплуатации,
- разработки содержания и форм проведения периодических аудитов функционирующей АСУТП, определяющих наличие, причины и свойства ее наблюдаемой деградации;
- методики оценки тех событий (изменений качества сырьевых

компонентов, модернизации оборудования агрегата и т. п.), которые требуют своевременной модификации программных модулей и технических компонентов системы автоматизации функционирующей АСУТП.

Общие проблемы управления автоматизацией производства, стоящие перед руководством предприятий

Ряд последних десятилетий происходит все более нарастающий объем средств и систем автоматизации, внедряемых на предприятиях. При этом они становятся все более совершенными и реализуют все большее число функций контроля, учета, планирования и управления; работают все более точно и эффективно. В то же время они требуют все более квалифицированного отбора, все более качественного использования и обслуживания со стороны персонала предприятия. Указанное развитие автоматизации производства принципиально необходимо предприятию для сохранения его конкурентоспособности в современных рыночных условиях существования.

Наряду с этим, как показывает проведенный анализ планируемых, внедряемых и эксплуатируемых средств и систем автоматизации на российских предприятиях разных технологических отраслей, подавляющее большинство руководителей предприятий достаточно хорошо понимая необходимость автоматизации, не представляют возможностей современных средств и систем автоматизации, не ориентируются в правильном направлении развития автоматизации на предприятии, в необходимом выборе средств и систем, в рациональной последовательности внедрения отдельных систем, в необходимой организационной и административной поддержке их внедрения и функционирования. Эти обстоятельства значительно снижают эффективность работы систем автоматизации и не позволяют предприятиям достичь нужной конкурентоспособности.

Общей проблемой рационализации всех работ по автоматизации производства является доведение до руководителей предприятий необходимых сведений о содержании этих работ и правил по их управлению. В частности, необходимо внедрить на предприятиях понимание следующих основ рационального управления работами по автоматизации производства:

- важность единоначалия всех работ по автоматизации отдельных производственных объектов;
- четкое понимание содержания наименований «АСУТП», «Эффективность автоматизации», «Возможности перспективных средств и систем автоматизации»;
- важность создания обоснованной концепции развития автоматизации производства, которая определяет стратегию разработки и

внедрения АСУТП;

- необходимость использования при внедрении систем автоматизации нормативов по противоаварийной защите, по киберзащите, по экономии энергоресурсов;

- целесообразность объективного проведения тендеров на все приобретения продукции автоматизации и все работы по внедрению систем автоматизации;

- правильность завершения этапа опытной эксплуатации только после полного освоения персоналом АСУТП работы с системой автоматизации и экспериментальной оценки эффективности внедренной АСУТП;

- полезность пересмотра всех организационных нормативов и административных мер по функционированию и поддержке персонала АСУТП;

- необходимость проведения комплекса мероприятий по периодическому анализу качества работы эксплуатируемых АСУТП, целью которых является компенсация их деградации.

На базе приведенных основ рационального управления работами по автоматизации производства, требуется разработать правила, по которым руководство предприятий должно принимать управляющие решения, касающиеся работ по автоматизации производства.

Первая часть

Состав и функции современных технических и программных средств автоматизации в АСУТП

Раздел I. Типовые цифровые сети АСУТП

Общие положения

Любую современную систему автоматизации технологического агрегата можно подразделить на три уровня:

- нижний, полевой уровень, на котором находятся датчики, исполнительные комплексы и **полевые сети**, соединяющие средства полевого уровня между собою, с контроллерами (или их выносными блоками ввода/вывода) и (при необходимости) непосредственно с сервером системы автоматизации; а также используемые для связи центрального блока контроллера с его выносными (удаленными) блоками ввода/вывода;

- средний, контроллерный уровень, на котором расположены универсальные микропроцессорные контроллеры и связывающая их между собою, с сервером системы автоматизации и, в отдельных случаях, с рабочими станциями операторов - **промышленная сеть**;

- верхний операторский уровень, состоящий из сервера, рабочих станций операторов, отдельной **информационной сети**, объединяющей между собою все средства верхнего уровня или **единой промышленной сети** контроллерного и операторского уровней. Имеющаяся на этом уровне сеть может через межсетевой экран взаимодействовать с информационными сетями вышестоящих уровней управления, например, уровня MES.

Если на начальном этапе построения микропроцессорных систем управления технологическими процессами каждый производитель разрабатывал свои закрытые для посторонних систем сети, то позднее, под нажимом заказчиков, фирмы изменили свою политику: они стали ориентироваться на открытие своих сетей для аппаратуры других фирм. Постепенно выделился ряд промышленных и полевых сетей, зарекомендовавших себя на практике удовлетворительными для пользователей характеристиками, простотой обслуживания, надежностью работы, которые приобрели характер межфирменных и которыми стали оснащать свои системы разные производители. Наконец, в 90-ые годы десятки компаний в разных странах сосредоточились на стандартизации промышленных и полевых сетей, что привело к появлению европейских, американских, а затем и общих международных стандартов на разные классы производственных сетей.

В данном разделе выделены и рассматриваются современные варианты сетей всех уровней АСУТП. По международной

классификации полевые сети не выделяются в отдельный класс, а входят в общий класс промышленных сетей, обозначаемый в зарубежной литературе наименованием “Fieldbus”, поэтому в данном разделе под промышленными сетями имеются в виду, в том числе, и полевые сети, а при необходимости выделяются черты, присущие только полемому подклассу сетей.

Глава 1. Свойства и характеристики промышленных сетей

В настоящее время вся совокупность различных промышленных сетей четко подразделяется на проводные и беспроводные сети, которые различаются параметрами, связанными с физической средой передачи данных; но по всем другим характеристикам их отличия незначительны. В данной главе рассматриваются те общие свойства промышленных сетей, которые не зависят от физической среды их линий связи.

1.1. Особенности промышленных сетей

Промышленные сети обладают рядом особенностей, выделяющих их в отдельный класс, отличный от информационных сетей, используемых на уровне различных производственных служб и бизнес отделов предприятий.

Ниже приведены содержания требований к промышленным сетям, которые определяют эти особенности:

- работа сетей должна проходить в режиме реального времени, что предполагает высокую (доходящую до нескольких миллисекунд) скорость передачи сообщений;
- необходимо иметь гарантию передачи и доставки сетью всех вводимых в нее сообщений по назначению за фиксируемое, детерминированное время;
- в сетях отсутствуют передаваемые большие массивы информации, они должны быть ориентированы на передачу массы коротких сообщений, ни одно из которых не должно быть утрачено;
- сети должны надежно передавать информацию в любой промышленной среде, в широких диапазонах различных промышленных помех (например, распространенных на производствах электромагнитных помех);
- предпочтительна организация сетей на недорогих физических средах линий связи, учитывая, обычно не очень большие расстояния между узлами сети и их широкое распространение на всех участках производства, где должны работать современные системы автоматизации;

- необходима специальная защита аппаратуры сети, рассчитанная на работу аппаратуры непосредственно в цехах производства:

- защита от вибрации и ударов;
- защита от влаги, пыли, грязи;
- защита от взрывоопасной и химически агрессивной среды.

Если выделить из промышленных сетей подкласс чисто полевых сетей, то для их использования требуется, чтобы каждое подключаемое к сети устройство (в том числе, любой прибор) имело вычислительный ресурс (микропроцессор). Тогда подключение приборов к контроллерам становится цифровым, децентрализованным; они объединяются между собою цифровой, двунаправленной, последовательной коммуникационной сетью; при этом каждый прибор сможет обслуживать двунаправленную связь. Подкласс чисто полевых сетей выделяется значениями некоторых характеристик сетей: меньшей длиной сети, меньшей требуемой скорости передачи данных по сети, меньшим объемом передаваемых данных за цикл работы сети и, следовательно, должен иметь меньшую стоимость технических сетевых компонентов.

1.2. Характеристики промышленных сетей

1.2.1. Варианты физической среды сетей

Физически связь в промышленных сетях реализуется либо **проводными вариантами:**

- витой парой (двумя изолированными проводниками, скрученными между собою),
 - коммуникационным экранированным кабелем,
 - одномодовым или многомодовым оптическим волокном (пучком оптических волокон, используемых для переноса световых сигналов);
- либо беспроводным вариантом:**

- радиосвязью на не лицензируемом спектре частот (обычно 2400-2483,5 МГц) при максимальной мощности излучателя менее 100 мВт в открытой среде и менее 50 мВт в закрытой среде; и при дальности излучателя – до нескольких сотен метров.

Проводник типа витой пары реализует достаточно дешевую и просто реализуемую связь, но имеет значительные ограничения по дальности и недостаточно высокую защиту от электромагнитных помех. Коммуникационный кабель лишен этих недостатков, но он существенно дороже и сложнее в прокладке по местности. Оптический кабель (оптоволокно) имеет дальность передачи данных до 100 км и электромагнитные помехи не сказываются на пластиковом оптическом кабеле, но по стоимости и сложности прокладки он существенно уступает медной среде передачи информации. Выбор типа проводной

связи определяется, обычно, исходя из следующих вариантов требований:

- по имеющимся характеристикам устройств, требуемой протяженности линии связи, минимально допустимому уровню сигнала на входе наиболее удаленного приемника, максимально допустимому уровню искажений сигнала - выбирается проводник такого типа, который обеспечит максимально возможное значение скорости передачи данных;

- по имеющимся характеристикам устройств, требуемому значению скорости передачи данных, минимально допустимому уровню сигнала на входе наиболее удаленного приемника, максимально допустимому уровню искажений сигнала - выбирается проводник такого типа, который обеспечит максимально возможную протяженность линий связи.

На предприятиях малого и среднего масштаба наибольшее распространение получили сети, работающие на витых парах.

Беспроводной способ связи постепенно все более замещает проводные соединения, поскольку он дешевле, существенно проще прокладывается, быстрее внедряется; но все еще считается несколько менее надежным и безопасным по сравнению с проводными линиями связи.

Ниже в таблице даны примерные характеристики различных физических сред сетей [1].

Характеристики линии связи	Витая пара	Кабель	Оптоволокно	Радиоканал
диапазон длины в км	0,01-1,0	0,1-4,0	1,0-более 10,0	1,0-более 10,0
диапазон скорости в Мбит/с	0,01-2,0	0,3-10,0	1,0-100,0	0,01-0,03
затраты на установку сети	низкие	средние	высокие	Наиболее низкие

1.2.2. Варианты структуры сетей

Структуры сетей определяются способом сетевого объединения разных узлов сети и методом доступа к сети, поскольку он определяет надежность и время доставки сообщений получателю.

Промышленные проводные сети имеют следующие варианты структуры.

Звезда. В сети имеется центральный узел и все прочие, периферийные узлы обмениваются данными только через него, поэтому любой сбой или неисправность его приводит к отказу всей сети. Это предъявляет особые требования к надежности работы центрального узла. Он

управляет работой сети, обеспечивает доступ ко всем ее периферийным узлам, а последние предоставляют равные возможности доступа к ним. Расширяемость сети ограничена числом имеющихся портов в центральном узле.

Кольцо. Все узлы объединены физической линией передачи данных в виде кольцевой топологии. В кольце нет центра – все узлы равноправны. Каждый узел сети периодически получает функции доступа к ней на точно фиксированный интервал времени, когда он может отправлять сообщение любому узлу сети, фиксируя его своей меткой. При этом остальные узлы последовательно по кольцу получают это сообщение, регенерируют его и со своей меткой передают в следующий узел кольца. Когда узел отправленного сообщения получает его обратно со своей меткой, то это означает, что отправленные им данные дошли до адресата. Отказ любого узла сети приводит к нарушению ее работы, если в ней не предусмотрены автоматические переключатели узлов. Увеличение числа узлов в кольце не имеет ограничений, но при этом будет увеличиваться время отклика на переданные сообщения.

Шина. Узлы подсоединяются к единой линии связи, при этом передача сообщений реализуется между его отправителем и получателем без захода сообщения в любые промежуточные узлы. Отказ любого узла сети не влияет на работу сети со всеми исправными узлами. Основными методами доступа в шинной структуре являются:

- ведущий/ведомый (Master/Slave), в котором право инициировать циклы имеет только ведущий узел. Он запрашивает поочередно все ведомые узлы и передает их готовые к отправке данные. Ведущий узел может быть фиксированным или плавающим. Этот метод доступа является наиболее простым и распространенным в промышленных сетях;

- передача маркера (the Token Passing Method), в котором право на доступ к шине (маркер) передается в цикле от узла к узлу сети. Распределение шинных ресурсов между всеми узлами производится в соответствии с их запросами.

Распространенная структура промышленных беспроводных сетей:

- ячейковые сети, состоящие из сотовых ячеек ретрансляторов – радио маршрутизаторов.

1.2.3. Сетевые интерфейсы

Промышленные сети используют стандартные физические интерфейсы последовательной передачи данных: RS-232, RS-422, RS-485, где RS – аббревиатура наименования Recommended Standard. Ниже дано описание данных интерфейсов, соответствующих стандартам EIA [2] (Ассоциации электронной промышленности). Стандарты EIA

устанавливают требования к электрическим параметрам передатчиков и приемников двоичных цифровых сигналов, которые объединены в систему связи подключением к общей линии связи. Он не касается программных протоколов.

В подавляющем большинстве современных приборов промышленной автоматики применяются указанные интерфейсы ввода/вывода данных.

Сравнительно редко в настоящее время используется стандарт 1962 года (обновлен в 1987 году) - RS-232 [3] или его несколько более поздняя модификация - RS-232C (передача данных в синхронном или асинхронном режимах). RS-232 - обеспечивает соединение «точка к точке» между последовательными портами приборов. Часто, за счет усовершенствования передатчика и линии связи, достигается большие длина линии и скорость, чем зафиксировано в стандарте.

Чаще применяют более современный интерфейс - RS-422 и почти повсеместно используют наиболее совершенный из рассматриваемых интерфейсов - RS-485, являющийся его развитием (стандарт RS-485 [2] выпущен последним в 1983 году).

RS-422 и RS-485 имеют, в отличие от RS-232, дифференциальный электрический сигнал передачи, который использует двухпроводную связь так, что по каждому проводу проходят передающие и обратные приемные сигналы. Это дает возможность резко поднять устойчивость передачи к помехам и увеличить длину линии связи по сравнению с интерфейсом RS-232. Так, устройства, соответствующие стандарту RS-485, работоспособны при воздействии на них таких не скомпенсированных разностей потенциалов земли передатчиков и приемников, напряжений помех, напряжений смещения выходов передатчиков, которые в совокупности лежат в диапазоне -7 – $+7$ в. Если значение разности потенциалов между землей передатчика и приемника выходит за пределы допустимого диапазона, то следует применять устройства с гальванической изоляцией.

RS-485 имеет наибольшее число подключаемых к линии связи приборов; высокую скорость передачи данных; достаточную для большинства промышленных применений длину линии связи. Полная система связи интерфейса RS-485 включает в себя ряд передатчиков и ряд приемников (в одном узле системы возможно также сочетание передатчика и приемника), соединенных симметричным кабелем. Устанавливаемые стандартами электрические значения параметров для интерфейсов RS-422 и RS-485 близки; это обеспечивает возможность разработки передатчиков и приемников, соответствующих требованиям обоих стандартов.

Электрические параметры указанных устройств в системе

с интерфейсом RS-485 выбраны так, чтобы была возможность функционирования передатчика на эквивалентную нагрузку, соответствующую 32-м абстрактным устройствам, включенным в систему. Реальные устройства отличаются по эквивалентной нагрузке от абстрактных, поэтому конкретное максимальное число устройств, которое можно подключить к системе связи определяется статическими характеристиками нагрузки всех устройств системы.

Устройства, электрические параметры которых приведены в стандарте, могут быть применены для обмена данными в RS-485 при скорости передачи до 10/100 Мбит/с. Действительная скорость передачи данных определяется длиной и параметрами соединительной линии связи, степенью симметрии и качеством согласования линии связи.

Ниже в таблице приведены главные черты рассмотренных трех последовательных интерфейсов.

Характеристики интерфейса	RS-232	RS-422	RS-485
Тип передающей линии передачи данных	Несбалансированный	Дифференциальный	Дифференциальный
Максимальное число передатчиков	1	1	32
Максимальное число приемников	1	10	32
Максимальная длина линии связи в м	15,2	1200	1200
Максимальная скорость передачи	20 Кбит/с	10 Мбит/с	10, 100 Мбит/с и более

1.2.4. Модели взаимодействия в сетях

Типовое сетевое взаимодействие средств и систем реализуется по модели OSI (open system sinter connection basic reference model). Она разработана и утверждена международным стандартом, который имеет российский перевод - ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1-99 [4]. OSI-модель состоит из семи уровней, каждый из которых выполняет определенную функцию. На каждом уровне могут использоваться различные протоколы данного уровня. Номера уровней зафиксированы в стандарте.

Уровень № 1. Физический уровень

Он определяет интерфейсы среды передачи данных (витая пара, кабель, оптоволокно, радиосигнал) и проводит операции с двоичными

данными: реализует передачу битового потока источником данных и его прием получателем данных. Сама физическая среда передачи данных им не рассматривается. Интерфейсы RS-232, RS-422, RS-485 относятся к физическому уровню OSI, к нему же относятся беспроводные интерфейсы стандарта IEEE 802.15.4 (Bluetooth), группы стандартов IEEE 802.11 и другие.

Уровень № 2. Канальный уровень

Он контролирует достоверность передачи данных по физическому каналу. На передающей стороне из передаваемых данных формируются кадры и в них добавляются управляющие сведения о кадрах, гарантирующие доставку этих кадров получателем. Получатель проверяет по ним полноту каждого полученного кадра и высылает отправителю подтверждение приема. Любые искажения в переданных кадрах обнаруживаются и исправляются на канальном уровне.

Уровень № 3. Сетевой уровень

Он поддерживает логическую адресацию маршрута сообщений, устанавливая связь источника данных с их получателем, находящихся в разных сегментах сети. При нахождении источника и получателя в одном сегменте сети использование сетевого уровня необязательно.

Уровень № 4. Транспортный уровень

Он проводит передачу сообщений и контролирует их прием при нахождении источника и получателя данных в разных сегментах сети. Транспортный уровень определяет исходную последовательность передаваемых данных, определяет возникающие нарушения в последовательности их приема и исправляет их.

Уровень № 5. Сеансовый уровень

Он определяет направленность передачи данных, создает и завершает сеансы связи разных сетей и следит за завершением каждого запроса до принятия следующего. Его использование во многих конкретных протоколах не требуется.

Уровень № 6. Представительный уровень

При передаче сообщений из одной сети в другую он производит преобразование кодов и форматов данных, шифрование/дешифрование данных.

Уровень № 7. Прикладной уровень

Он реализует взаимодействие пользовательских пакетов с сетью, непосредственно иницилируя сеанс связи.

Независимо от модели OSI, еще до ее стандартизации, был разработан стек протоколов TCP/IP [5]. (Transmission Control Protocol /TCP/, Internet Protocol /IP/), который иначе реализует функции, аналогичные модели OSI. Он используется в сетях различного назначения, в том

числе в промышленных сетях. Этот стек включает в себя 4 уровня сетевых протоколов.

Уровень № 1. Канальный уровень

В нем описывается применяемая физическая среда передачи данных, т. е. он включает в себя нижний, физический уровень модели OSI. На нем реализуются протоколы канального уровня Ethernet, Wireless Ethernet, IEEE 802.11 и пр.

Уровень № 2. Сетевой уровень

На этом уровне протокол IP реализует межсетевой обмен, независимый от протоколов канального уровня. Он экономно использует пропускную способность низкоскоростных линий связи.

Уровень № 3. Транспортный уровень

Он обслуживается протоколом TCP, устанавливающим соединение отправителя и получателя и дающим получателю безошибочные сообщения, устраняющие дублирование. Он перезапрашивает данные в случае их потери и гарантирует правильную последовательность получения данных.

Уровень № 4. Прикладной уровень

Он реализует обмен приложений, объединяет три верхних уровня модели OSI, выполняя функции прикладного, представительского и сеансового уровней модели OSI.

Важно отметить, что TCP/IP не зависит от физической среды передачи данных и работает в любой физической среде.

Взаимодействие отдельных сетей друг с другом реализуется межсетевыми интерфейсами, которые обычно выполняются в компьютерах с соответствующим программным обеспечением:

- **шлюзами**, объединяющими сети, которые имеют различные протоколы на всех уровнях OSI. Они преобразуют протоколы всех семи уровней OSI, формат переданных информационных пакетов, кодировку данных;

- **маршрутизаторами**, которые могут перераспределять нагрузки в разных линиях связи между сетями, соединять сети с разными методами доступа к ним, выполнять функции уровня № 4 OSI. Они, кроме того, на основании адреса передаваемого пакета определяют узел его получателя и посылают пакет по линии сети к этому узлу, не дублируя его по другим линиям и не передавая его по всем узлам сети, что сокращает загрузку сети;

- **мостами**, соединяющими сети разных топологий, но имеющих одинаковые сетевые операционные системы. Они определяют график передачи данных между сетями, имеющими одинаковые протоколы на уровнях №№ 3-7 OSI;

- **повторителями**, объединяющими сети, которые отличаются протоколами только на уровне № 1 OSI. Они усиливают электрические сигналы и производят регенерацию передаваемых пакетов данных, что электрически разделяет взаимодействующие сети.

1.3. Стандартизация промышленных сетей

Стандартизация промышленных сетей имеет большое значение для упрощения реализации связи аппаратуры автоматики разных производителей друг с другом, поскольку стандартизация делает сети открытыми. Открытость сетей обозначает их следующие свойства:

- публикуются полные спецификации сетей, которые всем доступны для применения;
- на рынке имеются компоненты сетей, поставляемые рядом независимых поставщиков;
- одни и те же сети применяются в системах автоматизации различных производителей;
- технические средства автоматизации, выпускаемые разными компаниями, имеют компоненты связи с этими сетями.

Иначе говоря, открытая промышленная сеть обладает рядом основополагающих качеств:

- возможностью свободного включения в сеть устройств разных производителей;
- возможностью построения сети на компонентах разных поставщиков;
- возможностью замены компонентов аналогичными, но произведенными другими фирмами.

При этом каждый разработчик системы автоматизации может использовать для построения сети любые программное и техническое обеспечения, которые для этой сети наработали разные фирмы. Он может также в соответствии со стандартом выполнить собственные разработки и последние смогут использоваться другими разработчиками.

Все разработки промышленных сетей давно осознают важность стандартизации промышленной сети. В 90-х годах это привело к возникновению различных национальных и международных стандартов, в которых стандартными были признаны более десятка промышленных сетей.

Так, в 1991 году был утвержден национальный немецкий стандарт DIN 19245 на спецификацию промышленной сети Profibus (PROcess FieIdBUS) [6]. Над ним работала группа специалистов из 13 фирм и 5 институтов.

В 1996 году американские разработчики, объединенные ассоциацией FildbusFoundation, выпустили стандарт на промышленную сеть Foundation Fildbus [7]. В том же 1996 году был утвержден европейский стандарт на промышленную сеть EN 50170 [6]. Этот стандарт зафиксировал в качестве регионального европейского стандарта три ранее принятых национальных стандарта: немецкий - Profibus, французский – WorldFIP, датский - P-NET.

Основной международный орган по стандартизации систем автоматизации – международная электротехническая комиссия МЭК (IEC) еще в 1984 году начала разработку единого международного универсального стандарта промышленной сети, но только в 1999 году был согласован и одобрен первый вариант общего международного стандарта на промышленную управляющую сеть - стандарт IEC 61158 (российский аналог текущего варианта стандарта: ГОСТ Р ИСО 15745-2010 [8]). В первом и в последующих вариантах этого стандарта не удалось добиться согласования мнений разных стран и ведущих фирм и поэтому в нем признаются стандартными ряд независимых и несовместимых коммуникационных технологий. Так, в последний вариант стандарта включены сети: ControlNet, Profibus, P-Net, WorldFIP, Interbus, SwiftNet, Foundation Fieldbus, High Speed Ethernet.

На практике (вне зависимости от включения отдельных сетей в международный стандарт) подавляющее распространение в системах автоматизации технологических процессов имеют в настоящее время следующие открытые промышленные проводные сети:

- Profibus;
- Foundation Fieldbus;
- Modbus;
- HART-протокол.

Практически это обусловлено несколькими основными центрами притяжения для разработчиков разных стран, выпускающих открытые промышленные сети и аппаратуру, которая должна работать с открытой промышленной сетью. Этими основными центрами притяжения являются для европейских производителей промышленная сеть Profibus, для американских производителей - промышленная сеть Foundation Fieldbus. Мало уступают им по популярности у разработчиков АСУТП промышленная сеть Modbus и полевая сеть HART-протокол.

С начала XXI века возникло бурное развитие промышленных беспроводных сетей и все большую роль стала играть международная стандартизация их реализации.

1.4. Современное развитие промышленных сетей

Исторически на предприятиях сложилась ситуация наличия двух разных классов сетей:

- информационных, офисных сетей для бизнес отделов (отделов заводууправления);
- промышленных сетей для производственных систем автоматизации.

Доминирующими в информационных, офисных сетях любых организаций различного объема и распределения на местности являются, уже в течение многих лет, решения на базе локальной сети Ethernet.

Основная идеология сети Ethernet была разработана еще в 70-х годах. Стандарт Ethernet на 10 Мбит/с был принят в 1982 году.

Начиная с 1983 года и практически по настоящее время Институтом инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE) принимается и расширяется семейство стандартов IEEE 802.3 [9], которое практически почти полностью соответствует различным существующим и разрабатываемым вариантам сети Ethernet по быстродействию (10, 100, 10 000 Мбит/с), по виду физического носителя передачи данных (витая пара, тонкий и толстый коаксиальный кабель, оптическое волокно), по особенностям электропитания сети.

Кроме указанных вариантов сети Ethernet по быстродействию и по физическому носителю передачи данных следует выделить следующие ее характеристики:

- топологией сети является шина либо звезда;
- диапазон сегмента сети (расстояния между соседними узлами) зависит от физического носителя, метода и скорости передачи сообщений и находится в пределах от 100 до 1000 м и более;
- передаваемые сообщения могут адресоваться определенному узлу сети, выделенной группе узлов сети, всем узлам сети;
- каждый узел сети видит все сообщения, идущие по сети, и если они адресованы данному узлу, то он отбирает их для обработки;
- в качестве протоколов разных уровней связи используется стек протоколов TCP/IP, который функционирует независимо от имеющегося варианта физической среды сети;
- важнейшей характеристикой сети Ethernet является используемый в ней случайный метод доступа любого узла к сети: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection [CSMA/CD] - множественный доступ с контролем несущей и с обнаружением столкновений.

Практически, при случайном методе доступа каждый узел прослушивает шину и если она свободна, то он занимает ее. Если несколько

узлов одновременно хотят занять шину (конфликтная ситуация), то они снимают свои заявки и включают случайные генераторы, которые задают случайный интервал ожидания до следующего момента запроса шины. Ввиду этого сеть не может гарантировать передачу и доставку всех вводимых в нее сообщений по назначению за точно фиксируемое, детерминированное время, т. е. этот метод доступа не удовлетворяет общему требованию к промышленной сети.

Заметим, что все же существует достаточно редкое использование этого метода доступа в промышленных сетях при следующих ограничениях на условия работы системы автоматизации:

- система работает не в жестком реальном времени, что предполагает возможность некоторого отступления от указанного требования;
- средняя загрузка сети достаточно низкая: порядка 10-30% от ее производительности, что обеспечивает низкую вероятность конфликтных ситуаций узлов сети.

Наличие на предприятиях указанных двух классов взаимосвязанных систем (офисных и промышленных) привело к необходимости широкого применения специальных шлюзов для связи сети Ethernet с типовыми промышленными сетями. Ряд фирм разных стран выпускают такие шлюзы.

В прошедшее десятилетие появилась новая тенденция внедрения повсеместно распространенной сети Ethernet в область промышленных сетей, включая даже подкласс полевых сетей.

Основной причиной использования сети Ethernet в этой области является:

- целесообразность взаимной информационной совместимости промышленной автоматизации с миром информационных технологий (эта задача становится особенно актуальной при создании интегрированных АСУ на предприятиях, в которых в режиме реального времени должны совместно взаимодействовать сети всех уровней управления).
- Построение всех сетей предприятия:

- сети корпоративной системы ERP, связывающих бизнес отделы,
 - сети класса MES, обслуживающие производственные службы,
 - сети систем автоматизированного управления отдельными производственными объектами –
- по единому открытому стандарту Ethernet, позволяет легко общаться им друг с другом и оперативно взаимодействовать без сложных шлюзов различных типов сетей.

Важными являются также следующие факторы:

- унификация характеристик всего сетевого оборудования на предприятиях и повсеместное использование протокола TCP/IP,

упрощающее и облегчающее его внедрение и обслуживание;

- меньшая стоимость компонентов сети Ethernet по сравнению с ценами компонентов типовых промышленных сетей.

Однако, есть целый ряд существенных препятствий к использованию такой тенденции развития промышленных сетей:

- техническое оборудование сети Ethernet не приспособлено для работы в промышленных условиях: запыленности, влаги, взрывоопасности, производственных помех и т. п.;

- используемый в Ethernet метод случайного доступа не гарантирует доставку сообщений в необходимое время;

- Ethernet не имеет средства интерпретации доставляемого по сети сообщения (текст или число, или что-то еще);

- надежность передачи сообщений, контроль за возможностью их искажений или потерь отдельных бит не соответствует требованиям промышленных сетей.

Чтобы исключить или уменьшить эти препятствия ряд ведущих мировых фирм и производителей средств автоматизации провели работы по необходимой модернизации сети Ethernet и создании такого ее варианта, который может считаться промышленной сетью и конкурировать с типовыми промышленными сетями. Этот вариант получил наименование Industrial Ethernet [10].

В последние годы стали выпускаться и распространяться также версии проводных промышленных сетей, сочетающие протоколы промышленных сетей с протоколами сети Ethernet. Они применяют формат пакетов данных, соответствующих прикладному протоколу определенной промышленной сети; ав качестве протокола транспортного уровня по OSI-модели реализуют TCP/IP и используют в качестве порта физического уровня интерфейс RS-485, что соответствует сети Ethernet. Так появились типовые промышленные и полевые сети, совмещающие свойства определенной промышленной сети реального времени с протоколами отдельных уровней сети Ethernet и с детерминированным временем доставки сообщений. К ним относятся сети: Profinet, Foundation Fieldbus HSE (High Speed Ethernet), Modbus/TCP и ряд других.

Глава 2. Проводные промышленные сети

В настоящее время подавляющее число производителей систем автоматизации для технологических агрегатов поддерживают следующие стандарты промышленных сетей: Profibus, Foundation Fieldbus, Modbus, HART-протокол. При этом сети Profibus и Foundation Fieldbus лидируют в существующих АСУТП на российских предприятиях.

В последние годы достаточно широкое и все более увеличивающееся распространение в рассматриваемой области автоматизации получили промышленные проводные сети на базе сочетания протоколов указанных промышленных сетей с протоколами информационной сети Ethernet. К ним, как отмечено в предыдущей главе, относятся сети: Profinet, Foundation Fieldbus HSE (High Speed Ethernet), Modbus/TCP.

Наконец, в качестве промышленной сети стала использоваться проводная сеть Industrial Ethernet.

Ниже рассмотрены основные характеристики указанных промышленных проводных сетей.

2.1. Сети Profibus и Profinet

Сети Profibus с начала 90-х годов получили наиболее широкое распространение среди европейских производителей средств автоматизации. Специальная организация пользователей сетей Profibus PUO (Profibus User Organization) проводит сертификацию устройств на соответствие утвержденному стандарту Profibus [6]. Сотни заводов, исследовательских институтов, заказчиков средств автоматизации входят в эту организацию.

Использование сети на разных уровнях и в разных условиях обеспечивается тем, что сеть поддерживает три разных вида протоколов:

- протокол Profibus-DP на полевом уровне для децентрализованного соединения и быстрой коммуникации контроллера с удаленными блоками ввода/вывода и средств полевого уровня с контроллерами и между собою;

- протокол Profibus-FMS на промышленном уровне для решения сложных коммуникационных задач связей контроллеров между собою и с серверами;

- протокол Profibus-PA для повышенных требований к безопасности и подключения технических средств через барьеры искробезопасности.

Все три вида протокола используют общий канальный уровень (второй уровень по модели OSI), а протоколы Profibus-DP и Profibus-FMS имеют также одинаковый первый (физический) уровень.

Отсутствует возможность передачи питания по кабелю у сетей Profibus-DP и Profibus-FMS.

Характеристики сети Profibus -DP

Физически передача данных в сети осуществляется через порт RS-485 и экранированную витую пару или оптоволокно.

Сеть обеспечивает любые виды соединений: шина, звезда, кольцо.

Метод доступа к сети: ведущий/ведомый (Master/Slave). В сети возможно наличие нескольких ведущих узлов; при этом либо

каждый ведущий узел обслуживает свои ведомые узлы, либо один из них организует работу ведомых узлов, а другие - диагностируют, конфигурируют и производят разные фоновые операции. Записывать данные в ведомый узел может только один ведущий узел. Сами ведущие узлы общаются между собою с помощью маркера.

Общее число узлов на сети до 126, из которых 32 узла могут быть ведущими.

Скорость передачи данных на витой паре варьируется от 9,6 кбит/с до 1,5 Мбита/с. При длине витой пары 200 м скорость максимальна - 1,5 Мбита/с.

Длина сети на витой паре до 1,2 км или до 4,8 км с повторителями. Длина сети на оптоволокне до 23 км с промежуточными повторителями.

Основа работы протокола – циклический опрос ведомых устройств. Кроме того, существуют ациклические функции диагностики, конфигурирования диапазонов измерения и т. п.

Передаваемые устройствами диагностические сообщения имеют три уровня иерархии:

- диагностика всего устройства (например, упало напряжение питания),
- диагностика модуля устройства (например, отказал 8-ми канальный цифровой модуль выходных сигналов),
- диагностика канала (например, в канале А модуля Б не проходит сигнал).

В сети реализована коррекция ошибок: в любой посылке данных 3 ошибочных бита будут обнаружены, а 1 ошибочный бит может быть восстановлен.

В каждом сеансе связи ведомый узел может передать до 246 байт информации; обычно передается 32 байта.

При скорости 1,5 Мбит/с передача 512 бит данных, распределенных между 32 устройствами, занимает 6 мс; та же передача при скорости 0,5 Мбит/с занимает 18 мс.

Характеристики сети Profibus -FMS

Как правило, на уровне работы этого протокола (промышленном уровне) обмен информацией осуществляется по запросу прикладной программы контроля и управления и не является циклическим, поэтому время реакции здесь может быть менее существенно, чем функциональные возможности сети. Протокол оперирует с передачей массивов информации и воспринимает понятия переменная, массив, запись, область памяти, событие; а также проводит логическую адресацию.

Основные характеристики соответствуют протоколу Profibus-DP, скорость передачи данных по витой паре до 500 Кбит/с.

Характеристики сети Profibus-PA

Спецификой протокола является передача данных от выносных блоков ввода/вывода и средств полевого уровня к контроллерам во взрывоопасных средах. По протоколу канального уровня Profibus-PA полностью идентичен сети Profibus-DP, но он имеет иную физическую реализацию: безопасное низковольтное исполнение. Коммутация устройств реализуется на одной витой паре, которая одновременно используется для информационного обмена и для питания устройств. Основные области применения этого протокола – предприятия химии, нефтехимии, нефтепереработки.

Скорость передачи данных по витой паре до 31 Кбит/с.

Характеристики сети ProfiNet

Сеть ProfiNet является сочетанием сети Profibus с сетью Ethernet. Она фиксирует время доставки сообщений получателю (метод доступа аналогичен сети Profibus), а все протоколы разных уровней соответствуют сети Ethernet.

Сеть ProfiNet имеет две разновидности: ProfiNetIO и ProfiNetCBA.

Сеть ProfiNetIO (Input/Output) реализует тактовую синхронизацию опроса в реальном времени блоков ввода/вывода контроллером, который является ведущим узлом сети. Сеть интегрирована с сетью Profibus-DP.

Сеть ProfiNetCBA (Component Based Automation) реализует связь различных средств автоматики разных производителей между собою. Каждому узлу в сети ставится в соответствие программный модуль описания интерфейса этого узла.

2.2. Сети Foundation Fieldbus и Foundation Fieldbus HSE

Сеть Foundation Fieldbus [7] разработана двумя ведущими американскими ассоциациями ISP и WorldFIP, которые объединились с другими фирмами в 1994 году в ассоциацию Fieldbus Foundation. Эта ассоциация опубликовала и поддерживает стандарт сети и производит сертификацию устройств на соответствие стандарту. Сейчас в ассоциацию Fieldbus Foundation входят более 100 крупнейших компаний, которые представляют порядка 90% производителей средств и услуг в области автоматизации.

Особенностью стандарта является проработка в нем условий работы и обмена информацией между приборами в сети при учете, что каждый прибор, кроме обычных функций ввода/вывода технологических сигналов, может производить типовые функции контроля и управления.

Основной вариант сети - Foundation Fieldbus H1 (FF H1); он

реализует безопасную работу приборов во взрывоопасной среде. Кроме него существует вариант Foundation Fieldbus H2 (FF H2), в котором специфика работы приборов во взрывоопасной среде не учитывается.

Характеристики сети FF H1

Ниже описываются основные свойства и характеристики сети, обозначаемой как FF H1.

Топология сети – шина или дерево.

Физическая среда - витая пара.

Длина линии передачи – 1,9 км, отдельные ответвления сети до 120 м.

Скорость передачи данных – 31,25 Кбита/с.

Число подключаемых к сети устройств до 32.

Сеть используется также для передачи питания от контроллера к приборам, подключенным к сети.

Протокол сети использует три уровня по модели OSI: первый (физический уровень), второй (канальный уровень) и седьмой (прикладной уровень). Кроме того, стандарт Foundation Fieldbus особое внимание обращает на пользовательский уровень (он как бы над прикладным уровнем), на котором фиксируется ряд важных функций и правил.

Метод доступа к сети – маркер. Активный планировщик связей (LAS – Link Active Scheduler), работающий как арбитр на сети, поддерживает плотный временной график периодических сообщений. Он же обеспечивает быстрый доступ к сети для высокоприоритетных асинхронных событий (сеть работает с приоритетными сообщениями). Управление сетью может быть распределено между несколькими активными планировщиками связей; они могут резервировать друг друга.

Периодический цикл передачи информации с учетом отработки в отдельных узлах алгоритмов контроля и управления составляет 50 мс.

Введенный в стандарт FF H1 пользовательский уровень (отсутствующий в других стандартах и в модели OSI) имеет несколько важнейших черт.

Он определяет связи, с помощью которых пользователь может взаимодействовать с приборами через серию так называемых блоков, причем удобнее и скорее чем с запросами по отдельным точкам. Пользовательский уровень может использовать три типа блоков:

- блоки приборов – описывают такие характеристики приборов как имя, производитель, номер серии и т. п.;

- блоки функций – определяют работу приборов по вводу сигналов, контролю и управлению, выводу сигналов. Всего стандарт определяет 10 базовых функциональных блоков: аналоговый вход, аналоговый

выход, смещение, переключатель управления, дискретный вход, дискретный выход, ручной загрузчик, регулятор ПД, регулятор ПИД, регулятор отношения. Любые другие функциональные блоки могут быть определены конкретными производителями приборов и согласованы с ассоциацией Fieldbus Foundation;

- блоки преобразователей – расщепляют отдельные блоки функций на чтение/запись локальных входных/выходных данных.

Важно подчеркнуть, что функциональные блоки могут при их соответствующем соединении друг с другом реализовывать простейшие цепи управления как в отдельном приборе, так и распределено через сеть в нескольких приборах.

Вторая важная черта пользовательского уровня стандарта FF H1 – описатели приборов (DD-Device Descriptions). DD определяют стандартное описание функций, которые можно реализовывать в приборе. Используя DD оператор может взаимодействовать с прибором: конфигурировать калибровку, менять параметры, диагностировать работу и т. п.. Механизм DD дает оператору возможность полностью определять, конкретизировать и модифицировать свойства прибора.

Для работы с функциональными блоками в приборе используется специальный язык описания устройств (DDL-Device Description Language), который специфицирован в ассоциации Fieldbus Foundation. Он описывает функциональные блоки, используется для доступа к информации в приборе и для определения дополнительных характеристик, которые можно добавить к функциональному блоку. Используя описатели приборов DD, язык DDL позволяет оператору составлять алгоритм работы прибора и полностью контролировать его работу.

В сети FF H1 используется понятие “статус”, которое каждый цикл передается каждым прибором по сети вместе с его данными. Статус определяет оперативное состояние прибора: нормальный последовательный статус, когда данные от него могут быть использованы для вычислений и управления; нормальный непоследовательный статус, когда данные от него корректны, но с прибором связана какая-то тревога; неопределенный статус, когда данные не полностью корректны, но все же могут быть использованы; плохой статус, когда данные не могут быть использованы. Каждое значение статуса имеет 16 различных подстатусов, которые конкретизируют и диагностируют имеющийся статус, т. е. определяют уровень самодиагностики приборов, подключенных к FF H1. С помощью DD можно добавить дополнительные диагностические функции.

Характеристики сети FF H2

Вариант сети FF H2 отличается от рассмотренного варианта FF H1 следующими характеристиками:

- физическая среда - витая пара или кабель;
- длина линии передачи – 0,75 км;
- скорость передачи данных – 1,0 или 2,5 Мбита/с;
- питание приборов через шину не производится;
- сеть не предназначена для работы во взрывоопасной среде.

Остальные характеристики аналогичны сети FF H1.

Характеристики сети Foundation Fieldbus HSE (High Speed Ethernet)

Сеть сочетает характеристики сети FF H1 с технологией Ethernet (она использует транспортный протокол стека TCP/IP). Она объединяет сегменты шин H1 в единый формат сети Ethernet и этим реализует высокую скорость передачи данных.

Топология сети – шина или дерево.

Физическая среда - витая пара.

Длина линии передачи – 1,9 км, отдельные ответвления сети до 120 м.

Скорость передачи данных до 100 Мбит/с.

Число подключаемых к сети устройств - до 240 устройств на сегменте сети и до 65 тыс. устройств на всей сети.

Сеть используется также для передачи питания от контроллера к приборам, подключенным к сети.

2.3. Сети Modbus и Modbus/TCP

Одна из наиболее старых промышленных сетей, разработанная фирмой Modicon (сейчас это фирма Schneider Electric) еще в 1979 году. В настоящее время ее обновление и развитие обеспечивает некоммерческая организация Modbus IDA [11]. Последнее ее обновление было проведено в 2006 году. Сеть является стандартом де-факто и имеет широкое распространение среди распределенных систем управления различных производителей.

Характеристики сети Modbus

Физические порты – RS-232C, RS-422, RS-485, токовая петля 20 ма (обычно используют RS-485).

Среда передачи - не специфицирована (могут быть любые физические среды).

Число узлов в сети – 1 ведущий и 247 ведомых.

Скорость передачи данных в сети по умолчанию – 19,2 Кбита/с. Допускаются также скорости: 2.4 Кбита/с, 4.8 Кбита/с, 9.6 Кбита/с, 38.4 Кбита/с, 65.0 Кбит/с, 115.0 Кбит/с.

Длина сети до 1,2 км при 9,6 Кбита/с и с интерфейсами RS-422,

Метод доступа – ведущий/ведомый (Master/Slave). Ведущее устройство (обычно, контроллер) может работать в широковещательном режиме (одновременный запрос всем ведомым узлам) и в режиме запроса определенному ведомому устройству.

Существует два режима передачи данных:

- режим ModbusRTU (Remote Terminal Unit), который применяется для связи с удаленными устройствами. В этом режиме тип сообщения и тип действия ведомого устройства задается одним байтом;

- режим ModbusASCII, в котором тип сообщения и тип действия ведомого устройства задается двумя шестнадцатеричными символами.

Структура любого сообщения формируется из последовательности следующих данных: адрес получателя, код типа сообщения, само сообщение, сигнал проверки правильности передачи сообщения (контрольная сумма для обнаружения ошибки в сообщении).

Пакет данных состоит из 252 байтов и контрольной суммы. Имеется контроль ошибок в сообщении.

Стандарт использует три уровня типовой сетевой модели OSI: физический (любой интерфейс типа RS, канальный (протокол «ведущий/ведомый»), прикладной (Modbus Application Protocol).

Стандарт сети специфицирует метод передачи только двух типов данных.

Стандарт не предусматривает никакой оперативной сигнализации от конечного устройства к ведущему узлу (мастеру) в случае необходимости (прерывания). Устройство должно ждать своей очереди в опросе периферийных устройств мастером.

Стандарт не предусматривает обмена данными между периферийными устройствами друг с другом без участия ведущего узла мастера.

Вариантом сети Modbus является сеть полевого уровня Modbus-Plus, в которой происходит кольцевая передача маркера. Она обладает высокой скоростью передачи данных (до 1 Мбита/с).

Все варианты сети Modbus могут непосредственно обмениваться сообщениями, поскольку протоколы верхних уровней стандарта OSI у них общие.

Характеристики сети Modbus/TCP

Этот вариант сети на транспортном уровне использует стек протоколов TCP/IP; остальные характеристики аналогичны сети Modbus.

2.4. Сеть HART-протокол

Широко распространенный и поддерживаемый разными фирмами, выпускающими как контроллеры, так и полевые средства, протокол

полевой сети –HART [12] (Highway Addressable Remote Transducer, т. е. удаленный адресуемый приемник/передатчик) был разработан фирмой Rosemount в конце 80-х годов и стандартизирован в Америке. Технология использования протокола, координирование и поддержка его применения обеспечиваются независимым фондом HART коммуникаций. Множество производителей контроллеров и современных приборов в разных странах поддерживают этот протокол.

Протокол основан на аналоговой 4-20 ма – технологии. Он нацелен на связь контроллера с датчиками и имеет два варианта их связи.

При первом варианте реализуется связь каждого прибора с контроллером по отдельной паре проводов, по которой одновременно проходят аналоговый 4-20 ма сигнал, цифровые сигналы и питание прибора, вырабатываемое блоком питания контроллера. Аналоговая величина и питание передается по токовой петле; цифровая информация использует метод частотной модуляции. Цифровые двунаправленные данные содержат дополнительную информацию о работе прибора: диапазон и единицы измерения, дату калибровки, самодиагностику и т. д.

При втором варианте связи реализуется соединение ряда приборов с контроллером по одной паре проводов, в этом случае по паре проводов могут проходить только цифровые сигналы. Следовательно, в каждом приборе имеющиеся аналоговые выходы должны быть преобразованы в цифровой код. При этом ток в петле фиксируется на минимальном значении (обычно 4 ма), реализует только питание прибора и не содержит аналоговых выходных данных приборов.

Характеристики сетиHART:

- физическая среда передачи: витая пара и последовательный порт RS-232C;

- совместимость с токовой петлей 4-20 ма;

- метод доступа - ведущий/ведомый. В сети может быть до двух ведущих узлов; ими бывают контроллеры и ручные коммуникаторы. Один ведущий узел (обычно контроллер) реализует циклы передачи и запросы к ведомым узлам; другой (обычно коммуникатор) – подключается к любой точке сети и связывается с приборами без нарушения обмена данными с контроллером или используется для связи сети с внешней системой;

- топология сети: звезда, при соединении через сеть к контроллеру датчиков как с аналоговыми, так и цифровыми сигналами; шина - только при цифровых выходных сигналах приборов, которые должны проходить через сеть;

- режимы работы: асинхронный, когда ведущий узел посылает

запрос, а ведомый – ответ (цикл укладывается в 500 мс); синхронный, когда ведомые узлы непрерывно передают свои данные ведущему узлу (время обновления данных в контроллере – 250-300 мс);

- при шинной архитектуре HART протокол работает в режиме мотоканала (т. е. более двух устройств соединяются через один канал передачи) и к сети может быть подключено до 15 ведомых узлов (обычно подключают до 8 приборов);

- длина линии связи до 3км;

- скорость передачи данных – 1200 бит/с;

- протокол HART реализует по модели OSI следующие уровни: первый (физический), второй (канальный), седьмой (прикладной);

- команды от ведущих узлов могут быть трех видов: универсальные на все ведомые узлы, типовые на многие ведомые узлы и специфические на конкретные ведомые узлы;

- каждое сообщение от прибора к контроллеру содержит информацию двух типов: текущие данные и статус прибора. Последняя информация определяет оперативное состояние прибора: нормальный последовательный статус, когда данные от него могут быть использованы для вычислений и управления; нормальный непоследовательный статус, когда данные от него корректны, но с прибором связана какая-то тревога: неопределенный статус, когда данные не полностью корректны, но все же могут быть использованы; плохой статус, когда данные не могут быть использованы;

- за каждую посылку информации любое устройство может передать другому устройству 4 технологических переменных, а само устройство может иметь до 256 переменных, описывающих его состояние.

2.5. Сеть Industrial Ethernet

Основные отличия промышленной сети Industrial Ethernet [10] от информационной, офисной сети Ethernet, особенности работы которой приведены в предыдущей главе, рассмотрены ниже:

1. В сети Industrial Ethernet реализован переход от концентраторов к коммутаторам, который резко уменьшил возможность блокировки доставки сообщений по сети из-за коллизий, связанных с методом случайного доступа в сети Ethernet. Коммутатор направляет сообщение только на то подключение, где реально находится абонент, а не широковещательно на всю сеть. Из-за этого объем трафика по сети резко сокращается и коллизии становятся значительно менее вероятны.

2. Возможен переход к варианту полнодуплексного режима работы сети - TDD, при котором не используется метод случайного доступа CSMA/CD и отсутствует возможность коллизий. В нем каждый узел

одновременно передает и принимает кадры сообщения. Этот режим требует непосредственное соединение коммутаторов узлов сети, а сами коммутаторы должны быть специализированы на работу в рассматриваемом режиме. Скорость обмена данными в этом режиме составляет 200 Мбит/с;

3. Все сетевое техническое оборудование сети Industrial Ethernet выпускается рядом производителей в полном соответствии с требованиями промышленных условий эксплуатации:

- диапазон нормальной работы оборудования по температуре от -40 до +85 С,
- диапазон нормальной работы оборудования по влажности от 5 до 95%,
- оборудование имеет защиту от промышленных электрических и магнитных помех,
- предусмотрена виброустойчивость оборудования и возможность установки его во взрывоопасных зонах,
- оборудование выдерживает существующие на производстве скачки напряжения питания.

Характеристики сети IndustrialEthernet:

- физической средой сети могут являться витая пара, коаксиальный кабель и оптоволокно;
- на физическом уровне связь реализуется интерфейсом последовательной передачи данных RS-485;
- длина сегментов сети меняется от 100 м (витая пара) до 2000 м (оптоволокно);
- максимальное число узлов в сегменте сети в зависимости от применяемой физической среды изменяется от 30-ти до 1024;
- узлы Ethernet передают данные со скоростью 10 Мбит/с; а его более поздние варианты: Fast Ethernet имеет скорость 100 Мбит/с, Gigabit Ethernet имеет скорость 1 Гбит/с;
- размер пакета передаваемых данных от 64 до 1518 байт;
- в качестве протоколов разных уровней связи используется стек протоколов TCP/IP, который функционирует независимо от имеющегося варианта физической среды сети;
- имеется встроенная защита от импульсных помех до 15 Кв.

Следует отметить, что как обычная сеть Ethernet, так и ее вариант - IndustrialEthernet формируется для проводных сетей по группе стандартов IEEE 802.3 [9].

Глава 3. Беспроводные промышленные сети

До 90-х годов прошлого века беспроводные связи для целей автоматизации на предприятиях в основном использовались в системах телемеханики. При необходимости передачи информации на большие расстояния (например, для связи технических средств автоматизации в электрических сетях или на трубопроводном транспорте, или в распределенных по территориям системах водо- и газоснабжения) широко применялись и используются сейчас радиорелейные сети.

Последнее десятилетие беспроводные локальные сети, сначала робко, а сейчас все более широко захватывают новые прикладные области, проникают в системы автоматизации различных уровней на промышленных предприятиях. Этому способствуют многие рассматриваемые ниже обстоятельства как технического, так и экономического характера.

3.1. Основные причины распространения беспроводных сетей

Усилению внимания разработчиков систем автоматизации к беспроводным локальным сетям на промышленных предприятиях в последние годы способствует ряд причин:

- оперативность построения беспроводной сети из-за отсутствия трудоемких работ по прокладке кабелей;
- простота и низкая стоимость монтажа, наладки, обслуживания по сравнению с проводными сетями аналогичных характеристик;
- легкая, по сравнению с проводной сетью, модификация и расширение сети при изменении числа и расположения подключенных к сети средств автоматизации;
- экономические соображения, заключающиеся в том, что (по данным зарубежных источников) при расстояниях свыше 500 м беспроводная технология оказывается дешевле прокладки оптоволоконка;
- унификация беспроводных и проводных сетей на базе общих протоколов стандарта Ethernet, определяющая легкость их соединения друг с другом;
- выпуск производителями беспроводных сетей таких технических средств их построения, которые рассчитаны на различные промышленные условия эксплуатации (температуру, влажность, пыль и брызги, вибрацию, электромагнитные помехи, взрывоопасную среду и т. п.);
- достаточно высокая для многих беспроводных систем связи скорость передачи информации между узлами сети от 1 до 54 Мбит/с (а в наиболее перспективных сетях – до 600 Мбит/с), которая в среднем не меньше скорости передачи информации по кабелю;
- удовлетворительная для промышленных предприятий

пространственная зона покрытия сетью, составляющая от нескольких сот метров до десятков километров;

- возможность внедрения сети без вмешательства в функционирование производства и последующего расширения сети без остановки ее действующего варианта;

- отказоустойчивость сети при нарушении связи между отдельными узлами сети;

- достаточное для большинства промышленных целей обеспечение безопасности и защиты передаваемой беспроводными сетями информации путем применения в них специальных мер;

- отсутствие взаимных влияний и помех с другими системами радиосвязи (в частности, с GSM-сотовыми и радиорелейными системами);

- значительное и все более растущее, из-за широкого распространения таких сетей в сферах бизнеса, производства, логистики, число производителей технических и программных средств беспроводных, открытых локальных сетей, конкурирующих между собою в данном секторе рынка, что сказывается на широте выбора и уменьшении стоимости этих средств.

Следует отметить и те особенности внедрения беспроводных сетей, недостаточный учет которых может привести к значительному снижению надежности их работы и будет восприниматься как присущие им недостатки. В отличие от проводных сетей, каждая из которых имеет свою кабельную среду распространения сигнала, беспроводные сети разных протоколов используют одну и ту же радио среду и одну и ту же частоту передачи сигналов, что налагает на них добавочные ограничения по недопущению взаимных помех при наличии на одном производстве ряда разных беспроводных сетей. Все это должно быть учтено на этапе внедрения. Кроме того, необходимо:

- правильно подобрать число и расположение точек доступа беспроводной сети;

- учесть действующие и возможные при эксплуатации сети препятствия и помехи на пути распространения радиоволн;

- выбрать рациональные варианты сети и антенн ее узлов.

От эффективности решения этих задач (достаточно необычных для персонала служб автоматизации предприятий) в значительной степени зависит нормальная работа беспроводной сети.

3.2. Области применения беспроводных сетей

Беспроводные локальные сети завоевывают все большую популярность на промышленных предприятиях в различных классах систем связи (информационных, промышленных, полевых) и на

различных иерархических уровнях управления производством. При этом они не только заменяют проводные сети, но и расширяют возможности и области применения распределенных систем автоматизации, занимая свои, достаточно четко очерченные ниши, что в целом определяет рациональную сетевую структуру распределенных систем автоматизации производства как совокупность взаимосвязанных открытых, локальных проводных и беспроводных сегментов сетей различных иерархических уровней управления.

Ниже перечислены основные, перспективные области применения беспроводных локальных сетей в системах автоматизации производства:

- использование беспроводной сети в распределенных системах автоматизации на производственных участках, где прокладка кабеля невозможна, или затруднена, или связана с большим объемом работ и затратами;

- связь проводной сети с несколькими удаленными пользователями через беспроводную сеть, если прокладка отдельных кабелей к этим удаленным пользователям не выгодна;

- взаимное общение нескольких, пространственно разделенных отдельных проводных сетей через беспроводную связь;

- беспроводное соединение отдельных сегментов проводной сети через различные препятствия местности типа рек, шоссе, железнодорожных переездов и т. п.;

- связи полевых приборов (датчиков, исполнительных механизмов, регулирующих органов), распределенных по всему пространству производства между собою и с контроллерами через беспроводную сеть (сеть сбора распределенной информации);

- реализация взаимосвязи контроллеров или серверов с все более широко распространяемыми беспроводными датчиками (в том числе, датчиками, встроенными в оборудование);

- подключение к корпоративной сети предприятия ряда локальных, распределенных, производственных, проводных сетей, территориально удаленных от офиса, в котором располагаются руководство и хозяйственные службы, через беспроводную сеть (например, на предприятиях нефте- и газодобывающих комплексов);

- использование беспроводной сети для взаимосвязи распределенных на значительной территории средств автоматизации (например, распределенные системы водо- и газоснабжения, нефтяные и газовые промыслы);

- связь мобильного оборудования (например, транспортных средств предприятий, экскаваторов на строительных площадках и на горнодобывающих предприятиях, насосных станций на карьерах) с

диспетчерским пунктом через беспроводную сеть;

- связь различных средств автоматизации с мобильными пультами, панелями, карманными компьютерами руководящего и обслуживающего системы автоматизации персонала, перемещающегося по территории предприятия.

Достоинствами данного класса сетей являются широкий целесообразный диапазон их применения в различных задачах контроля и управления отдельными производственными процессами, производством и предприятием в целом; их более быстрое, простое и дешевое внедрение по сравнению с проводными сетями; возможность использования в местах, где прокладка кабелей затруднена или невозможна.

Недостатки данного класса беспроводных сетей по сравнению их с проводными сетями, реализующими аналогичные функции, могут определяться при конкретном техническом и экономическом сопоставлении разработки и эксплуатации определенной системы автоматизации по этим двум конкурирующим вариантам. В общем случае сравнения беспроводных сетей с проводными сетями следует отметить их несколько более низкую надежность работы, меньшую скорость передачи информации по сравнению с высокоскоростными сетями Fast Ethernet и Gigabit Ethernet, не настолько высокую степень защиты передаваемой информации, которая может быть достигнута в проводных сетях.

3.3. Общие свойства беспроводных сетей

Независимо от типа конкретной беспроводной сети есть важные общие свойства, присущие подавляющему большинству локальных беспроводных сетей, используемых в системах автоматизации на предприятиях.

1. Сети работают в не лицензируемом спектре частот при ограниченной законом мощности излучателя каждого узла сети. Практически подавляющее большинство беспроводных сетей используют не лицензируемый спектр частот от 2.400 до 2.483,5 МГц и имеют максимальную мощность излучателя менее 10 мВт, но для сбора данных в системах автоматизации возможна мощность излучателя до 100 мВт в открытой среде и до 50 мВт в закрытой среде. При этом дальность передачи радиосигнала от каждого узла сети доходит до нескольких сотен метров.

2. Удовлетворительная для промышленных предприятий пространственная зона покрытия сетью, составляющая от нескольких сот метров до нескольких десятков километров, реализуется сотовой структурой сети: сеть состоит из сотовых ячеек (узлов) ретрансляторов –

радио-маршрутизаторов сообщений. При этом все узлы сети подразделяются на следующие группы:

- узлы ввода/вывода сообщений. К ним относятся, в частности, беспроводные технические средства (например, датчики) и проводные приборы с адаптерами, преобразовывающими выходной сигнал прибора в беспроводное сообщение. Беспроводные датчики состоят из сенсора, микропроцессорного вычислителя и коммуникатора с антенной;

- узлы связи – ретрансляторы сообщений. Они получают сообщения от узлов сети и передают сообщения по маршруту на другие узлы, при этом фиксируя время и качество приема и передачи сообщения;

- узлы - шлюзы взаимодействия сети с другими сетями (в том числе, проводными сетями). Шлюзы, обычно, имеют программное обеспечение, управляющее работой сети: реализуют последовательность опроса узлов ввода/вывода сообщений, сохраняют в памяти полученные сообщения с временем их получения, передают сообщения в пункт назначения: контроллер, сервер, проводную сеть и т. п.. Распространенным интерфейсом связи шлюза с пунктом назначения является порт RS-485.

3. Открытость конкретной сети к другим типовым проводным и беспроводным сетям реализуется наличием в узлах-шлюзах распространенных протоколов (Modbus, HART, Ethernet, OPC, Web-интерфейс и т. д.).

4. Надежность работы сети.

4.1. Надежность связи между отдельными узлами сети достигается:

- использованием встроенных и выносных антенн узлов на расстоянии от них до нескольких десятков метров;

- выбором вариантов антенн в зависимости от свойств среды: ненаправленных или направленных антенн, обычных или с молниезащитой, или взрывозащищенных;

- наличием нескольких антенн на узле. Так, по технологии ММО каждый узел оснащается несколькими антеннами на прием сообщений и несколькими антеннами на передачу сообщений. При этом дублирование сигналов приемных и передающих антенн улучшает качество передачи и приема сообщений и увеличивает стабильность передачи информации.

4.2. Надежность взаимодействия сети с другими сетями достигается резервированием шлюзов сети и выявлением посторонних устройств, пытающихся включиться в сеть.

4.3. Надежность работы сети при отказе ее отдельных узлов-ретрансляторов сообщений достигается использованием программы автоматического управления функционированием сети:

- проводится оперативный мониторинг среды распространения

радиоволн и выявление помех, возникающих препятствий, отказавших узлов-ретрансляторов и любых других изменений среды;

- автоматически конфигурируется в сотовой сети связь узлов сети друг с другом: программа отдельного узла-ретранслятора распознает соседние узлы сети и выбирает рациональный маршрут передачи информации по сети (т. е. реализуется режим роуминга, заключающийся в прослушивании данным узлом среды и его автоматического подсоединения к узлу, обеспечивающему лучшее качество связи). При отключении одного из узлов сети структура сети автоматически перестраивается, обеспечивая ее работоспособность.

5. Безопасность работы сети достигается рядом отдельных мероприятий:

- резервированием линий связи в сотовой сети и отдельных узлов различных групп;

- передачей данных радиосигналом со скачкообразной сменой несущей частоты – FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), при котором происходит псевдослучайная перестройка рабочей частоты (1600 скачков/с);

- передача данных радиосигналом с расширенным спектром – DSSS (Direct Sequencing Spread Spectrum), при котором сообщение распространяется по всему допустимому спектру сигнала, а набор несущих частот соответствует ключу, который меняется во времени по заданному закону.

6. Масштабируемость сети изменяется в самых широких пределах: начать построение сети можно с нескольких беспроводных узлов разных типов, а в дальнейшем расширять ее, без нарушения работы, до тысяч узлов.

7. Преобладающие методы доступа к сети:

- метод доступа – TDMA: жесткое разделение среды передачи во времени, при нем доступ перемещается от одного входного узла к другому по отдельным сеансам (квантам времени); никаких промежуточных во времени сеансов нет. Есть вариант некоторого снисхождения к передающему данные входному узлу: если при очередном сеансе передача данных не завершилась, то по случайному закону выбирается и дается внеочередной сеанс связи;

- метод доступа - CSMA/CD: каждый узел прослушивает сеть и если она свободна, то он занимает ее, а если несколько узлов одновременно хотят занять сеть (конфликтная ситуация), то они снимают свои заявки и включают случайные генераторы, которые задают случайный интервал ожидания до следующего момента запроса сети;

- метод доступа – TDD (полнодуплексная связь), при которой любой

узел может одновременно принимать и передавать сообщения в режиме разделения времени без возникновения конфликтов в сети;

- метод доступа- (FDMA), при котором каждый беспроводной датчик передает информацию на отведенной ему частоте;

- метод доступа- (CDMA) кодового разделения. Каждый беспроводной датчик имеет свой код, причем коды не коррелированы, что позволяет подавлять любые сигналы – возмущения, которые при этом воспринимаются приемником как белый шум.

8. Энергопитание узлов сети в подавляющем большинстве случаев реализуется вставляемыми в них элементами питания. Первостепенное значение имеет энергосберегающий режим работы сети, позволяющий сохранить работоспособность элементов питания на возможно более длительный срок. Он достигается различными способами:

- применение минимально требуемых, настраиваемых интервалов опроса и передачи сообщений входными узлами сети (например: 1, 5, 10, 30 с): чем длиннее эти интервалы, тем ниже потребление энергии узлами сети;

- отказ от непрерывной работы узлов сети: включение их через периодические интервалы времени для выдачи своей информации в сеть и запроса адресованной им информации;

- использование логического условия выхода входного узла сети (датчика) на связь: при отличии текущего значения измеряемой величины от ее значения в предыдущий сеанс опроса менее, чем на заданный процент (например, 1 % от номинала), узел пропускает очередной сеанс связи;

- возможное уменьшение мощности излучателей узлов и допустимое сокращение объемов передаваемых ими сообщений.

Практически срок службы элементов питания узлов сети лежит в диапазоне от нескольких лет при передаче сообщений с периодом 1 с до десятка лет при периоде передачи сообщений 30 с. При истощении элементов питания узлы формируют и передают сообщения о необходимости их замены, а при их отказе переходят в спящий режим.

9. Производители технических средств конкретных беспроводных сетей учитывают в механических конструкциях аппаратуры сети необходимость их безотказной работы в промышленных условиях: при вибрациях и ударах, при различных значениях влаги, пыли, грязи, при нахождении аппаратуры во взрывоопасной и химически агрессивной среде.

10. Среди беспроводных промышленных сетей систем автоматизации выделяется подкласс беспроводных сенсорных сетей (БСС), обслуживающих средства автоматизации полевого

уровня (датчики, исполнительные механизмы, регулирующие органы). Основное назначение этих сетей – сбор и передача данных о текущих значениях измеряемых на производстве величин. Они характеризуются более низкой требуемой скоростью передачи сообщений и сверхнизким энергопотреблением.

Ниже рассмотрены основные виды беспроводного соединения, которые обеспечены программными и техническими компонентами ряда производителей и все более интенсивно внедряются в системы промышленной автоматизации.

3.4. Сети по семейству стандартов IEEE 802.11

Основным вариантом промышленных беспроводных локальных сетей (сетей Wireless Local Area Network /WLAN/) являются сети, построенные по семейству стандартов IEEE 802.11[9]. С принятием первого из этого семейства стандартов в 1999 году началось распространение беспроводных промышленных сетей на предприятиях разных отраслей промышленности.

Сети по стандартам IEEE 802.11 имеют следующие общие технические характеристики:

- стандарты касаются только двух нижних уровней OSI-модели: физического и канального. Все остальные уровни OSI-модели могут быть любыми, в том числе совпадающими с проводной сетью Ethernet, что позволит легко состыковываться беспроводным и проводным вариантам Ethernet,

- физический уровень может быть реализован радиочастотными или оптическими сетями. Радиочастотная сеть в России может работать в не лицензируемом спектре частот от 2.400 до 2.483,5 МГц. Оптическая сеть использует не лицензируемый инфракрасный диапазон спектра с лазерными диодами в качестве передающих и приемных устройств;

- на физическом уровне фиксируется скорость передачи данных (разная у разных стандартов этого семейства) и методы модуляции передаваемых данных: может использоваться скачкообразная смена несущей частоты - FHSS и расширенный спектр передачи данных - DSSS;

- стандартизация на канальном уровне ограничена нижним подуровнем, который касается способа аутентификации (подлинности) передаваемых сообщений, механизмов защиты данных, организации передачи сообщений по сети. Последняя определяет доступ передачи сообщений к среде и реализуется протоколом MAC (Medium Access Control), формирующим передачу сообщений от входных узлов сети в определенные интервалы времени и определяющим автоматическое подтверждение получения сообщений;

- радиус передачи сообщений между узлами сети порядка 100 м;
- ширина полосы канала в большинстве стандартов 20 МГц;
- каждое передаваемое сообщение имеет 48-битовый адрес, что соответствует адресации в проводных сетях Ethernet;
- стандарты фиксируют сотовую топологию сети, в которой каждый сот управляется базовой станцией, которая вместе с находящимися в пределах ее радиуса действия входными узлами сети образует базовую зону обслуживания. Соты прослушивают окружающую среду с целью выбора пути передачи сообщений. Спецификации по реализации роуминга в стандартах нет.

Приведенные характеристики показывают близость многих из них характеристикам стандартов IEEE 802.3, т. е. их близость проводной сети Ethernet, поэтому сети, построенные по стандартам IEEE 802.11 часто называют беспроводными сетями Ethernet.

Основные технические отличия отдельных стандартов из семейства IEEE 802.11 [9]:

- стандарт IEEE 802.11a имеет скорость передачи данных до 54 Мбит/с и работает на частоте 5000 МГц;
- стандарт IEEE 802.11b имеет скорость передачи данных до 11 Мбит/с, работает на частоте 2400 МГц, использует только расширенный спектр передачи данных – DSSS;
- стандарт IEEE 802.11g имеет скорость передачи данных до 54 Мбит/с, работает на частоте 2400 МГц.

Сравнительно недавно введенный стандарт IEEE 802.11n имеет следующие отличия:

- более высокая пропускная способность канала за счет расширенной полосы частот до 40 МГц: максимальная скорость доходит до 600 Мбит/с;
- более стабильная передача данных за счет технологии MIMO, предусматривающей использование до четырех антенн на один узел и учитывающей сигнал, отраженный от предметов;
- больший радиус передачи сигнала при скорости близкой к скорости в сравниваемых стандартах этого семейства.

В работающих по рассмотренным стандартам сетям реализуется протокол TCP/IP (протокол сети Ethernet). Возможна реализация энергосберегающего режима работы входных узлов, когда они включаются только через периодические интервалы времени для выдачи своей информации в сеть и запроса адресованной им информации. Для защиты информации от ее отбора или фальсификации посторонним подключением к сети предусмотрены различные меры безопасности (в частности, контрольные суммы и подтверждение передачи данных).

Разработкой и внедрением беспроводных сетей по стандартам IEEE 802.11 сейчас занимаются многие специализированные фирмы, крупные производители сетевых комплексов контроллеров и распределенных программно-технических комплексов контроля и управления.

Следует отметить, что беспроводная сеть Industrial Ethernet формируется по стандартам IEEE 802.11.

3.5. Сети по стандартам IEEE 802.15

Стандарты IEEE 802.15. [9] (сети Wireless Personal Area Network / WPAN/) относятся к беспроводным сетям с малой скоростью передачи данных, с минимально возможным уровнем потребляемой энергии, с низкой стоимостью сети. Сети, построенные по этому семейству стандартов, отличаются простотой и дешевизной эксплуатации. Стандарты фиксирует физическую среду передачи данных, различную топологию сети, метод доступа к сети и способы предотвращения коллизий, структуру передаваемых пакетов данных, правила формирования контрольной суммы. Они не касаются других, более высоких уровней сетевой модели OSI.

Примерные технические характеристики сетей, построенных по стандартам данного семейства:

- скорость передачи данных до 250 Кбит/с,
- радиус передачи сигнала между узлами сети порядка 10 – 100 м.

Важно, что по данным стандартам реализуется, подкласс беспроводных сенсорных сетей (БСС), обслуживающих средства автоматизации полевого уровня. На их базе разработаны конкретные сети: ZigBee, Wireless HART, Bluetooth, сеть стандарта ISA100.11a..

3.5.1. Сеть ZigBee.

Сеть ZigBee [13], разработанная в 2004 году, предназначена для беспроводной передачи небольших по объему пакетов информации (порядка 10-100 байт). Она обеспечивает передачу данных со скоростью до 250 Кбит/с на расстояние от 10 до 60 м на частоте 2 400 МГц. Мощность излучателя порядка 1 мВт. Сеть отличается малой скоростью передачи данных и низким энергопотреблением, поскольку она реализована с перерывами включения узлов в работу. Сеть ZigBee соответствует стандарту IEEE 802.15.4 [9] по описанию физической среды передачи данных, по способу формирования передачи сообщений от входных узлов сети в определенные интервалы времени и по автоматическому подтверждению получения сообщений (MAC) По стандарту IEEE 802.15.4 реализуется диапазон частот, тип модуляции, структура передаваемых пакетов данных, правила формирования контрольной

суммы, способы предотвращения коллизий, поскольку сеть использует метод доступа CSMA/CA. В сети предусмотрен контроллер с набором управляющих программ (стек протокола ZigBee).

3.5.2. Сеть Bluetooth

Сеть Bluetooth [14] разработана в 1998 году компаниями в области телекоммуникаций. Она организует беспроводную связь различных технических устройств, в том числе переносных средств, находящихся на небольших расстояниях друг от друга по технологии Bluetooth стандарта IEEE 802.15.1. Сеть предназначена для передачи как цифровой информации, так и звуковых (голосовых) сообщений. Используемая частота - 2.4 ГГц, дальность до 100м без повторителей (устойчивая работа гарантирована на расстоянии до 10 м), частота опроса от 1 сек. Радиоканал может передавать данные в полнодуплексном режиме со скоростью 433.9 Кбит/с. Передача данных производится радиосигналом со скачкообразной сменой несущей частоты (FHSS). Используется дуплексный метод доступа TDD с временным разделением. Обеспечивается интеграция с TCP/IP. Каждый узел сети имеет 48-битовый сетевой адрес, совместимый с форматом стандартов IEEE 802.3 (соответствие адресации в проводных сетях Ethernet). Защита передаваемых данных поддерживается кодированием передаваемой информации и авторизацией устройств, работающих в сети. Указанные характеристики достигаются при незначительной мощности передатчика порядка 10 мВт.

Областью использования технологии Bluetooth в системах автоматизации производства могут являться сенсорные сети, связывающие современные датчики, снабженные модемами и направленными антеннами сети Bluetooth, с выносными блоками контроллеров, расположенных вблизи этих датчиков. Кроме того, беспроводная сеть Bluetooth используется при взаимодействии контроллера с переносной панелью оператора или администратора системы, который приблизившись на достаточное расстояние к контроллеру бесконтактно может подключать панель к нему и реализовать необходимые функции по его мониторингу, диагностике работы, перепрограммированию и тому подобным действиям.

Достоинствами данного вида связи являются исключительно малая требуемая мощность ее реализации, устойчивость к различным помехам, низкая стоимость ее программно-аппаратных средств. Недостатками являются невысокая скорость передачи информации и малая зона распространения сигнала.

3.5.3. Сеть Wireless HART

Сеть Wireless HART [15] является беспроводной реализацией HART-протокола. Она базируется на стандарте IEEE 802.15.4. Скорость передачи данных 250 Кбит/с. Мощность излучателя составляет примерно 10 мВт. Метод доступа к сети TDMA. Сеть жестко привязана к стандарту HART (она использует ту же систему команд, что и сеть HART), Интеграция ее с сетями других протоколов затруднена. Любой проводной датчик с выходом 4-20 ма и HART-протоколом можно подключением специального адаптера преобразовать в беспроводной. Беспроводной адаптер через модем сопряжения подключается к датчику и выполняет обработку сигнала, аналого-цифровое преобразование, диагностику неисправностей типа замыкания или обрыва контакта и своей антенной отправляет результирующие данные в сеть. Один адаптер может обслужить ряд аналоговых датчиков. В сети на одном из узлов размещается программный пакет, который управляет сетью – менеджер сети. Он формирует сотовую сеть, управляет подключением к сети новых узлов разных видов, организует график передачи данных между узлами сети, контролирует работу сети.

3.5.4. Сеть стандарта ISA 100.11a

Стандарт ISA 100.11a [16] разработан Международным обществом по автоматизации (International Society of Automation) в 2009 году. Он формирует наиболее универсальную беспроводную сеть подкласса БСС и базируется на стандарте IEEE 802.15.4 [9]. Стандарт ISA100.11a реализует передачу в одной беспроводной сети данных, отправленных приборами, имеющими разные полевые сетевые протоколы. Беспроводная сеть по данному стандарту работает на частоте 2,4 ГГц и может использоваться для систем контроля и управления, для которых допустимы задержки в передаче сообщений до 100 мс, поскольку она пока не обладает высокой скоростью передачи сообщений. Реально при существующей в ней скорости передачи сообщений она может использоваться для реализации любых задач контроля и управления технологическими агрегатами, кроме систем противоаварийной защиты и критичных ко времени реакции систем регулирования.

Главной особенностью стандарта является возможность передачи данных с различными полевыми протоколами к любым проводным сетям. Передача данных с разными проводными протоколами от полевых приборов реализуется способом тунелирования. Он представляет собою оболочку, в которую вкладывается созданное любым прибором с любым протоколом (в том числе и HART-протоколом) сообщение. Это сообщение в оболочке доставляется по беспроводной среде стандарта

ISA100.11a к получателю, который, открывая оболочку, получает посланное сообщение. Средства формирования и получения сообщений не нуждаются в переделке под беспроводную среду. Беспроводная связь реализуется дополнительными платами, устанавливаемыми у отправителя и получателя сообщения. Таким образом, поскольку сеть ISA 100.11a работает с полевыми средствами, имеющими разные выходные протоколы, то она может легко интегрироваться в систему, имеющую сети HART-протокол, Foundation Fieldbus, Profibus, Modbus и другие.

Стандарт позволяет создавать сеть по топологиям звезда и соты. При топологии звезда сеть имеет меньшее время прохождения сообщений между отправителем и получателем, в этом варианте сбор данных от приборов может производиться с частотой порядка 1 с. Это достигается тем, что приборы передают сообщения непосредственно получателю, а не пересылают его от одной соты до другой. Сети по топологии звезда являются и более энергоэкономичными. Преимуществом сети по сотовой топологии является ее большая надежность при наличии существенных промышленных помех.

Стандарт определяет набор протоколов OSI-модели, который позволяет передавать сообщения по сети от любых проводных приборов. Стандартизируются протоколы физического уровня и подкласса канального уровня MAC. Другие уровни протоколов OSI-модели формирует разработчик конкретной сети.

Стандарт поддерживает 128-битную IP адресацию полевых средств. В сети ретрансляционные узлы сотовой связи имеют питание от сети, что увеличивает срок службы батареек. Кроме метода доступа TDMA (жесткого деления среды передачи во времени), в сети возможен и другой метод доступа, более снисходительный к передающему данные входному узлу: если при очередном сеансе передача данных не завершилась, то по случайному закону выбирается и дается внеочередной сеанс связи. В разных секторах сети могут быть как тот, так и другой методы доступа. Высокая надежность передачи данных достигается передачей радиосигнала со скачкообразной сменой несущей частоты (FHSS). Разработанная по стандарту сеть может легко масштабироваться. Сеть взаимосвязана с Интернетом.

3.6. Направления развития промышленных сетей

Значительные изменения происходят с взаимодействием между собою различных средств систем автоматизации.

Унификация сетей разных уровней в системе автоматизации. Доминирующая в информационных и офисных системах сеть Eth-

ernet постепенно начинает распространяться на промышленный и даже полевой уровни системы автоматизации технологического агрегата, что упрощает и удешевляет построение и обслуживание сетей системы автоматизации, а также способствует открытости и взаимной совместимости систем производственной автоматизации с информационными системами бизнес подразделений предприятия. Этому способствует замена используемого в сети Ethernet случайного метода доступа любого узла к сети, не гарантирующего передачу сообщений в заданное время, на метод жесткого разделения среды передачи во времени между узлами сети или на метод доступа, при котором любой узел одновременно принимает и передает сообщения в режиме разделения времени. Кроме того, все сетевое оборудование сети, рассчитанное на работу в конторских помещениях, начало выпускаться рядом производителей в соответствии с требованиями промышленных условий ее эксплуатации: запыленности, влаги, взрывоопасности, вибрации, производственных помех и т. п. Данное перспективное развитие сетей системы автоматизации получило наименование «Industrial Ethernet»;

Переход на беспроводную связь средств системы автоматизации. Все шире распространяются в системе автоматизации беспроводные сети, значительно снижающие затраты на построение системы; особенно, при значительном пространственном распределении ее технических средств. Этому способствуют повышение надежности беспроводных сетей путем применения ячеистой структуры сетей, резервирования каналов связи сетей, адаптивного выбора канала связи передачи сообщения самими сетями, специальной защитой сетей от электромагнитных помех. Следует отметить перспективное построение беспроводной сети на основе стандарта ISA 100.11a с возможностью передачи данных по различным протоколам, используемым техническими средствами основных производителей продукции автоматизации: HART, Modbus, Fieldbus, Profibus.

Ниже перечислены основные причины достаточно быстрого развития беспроводных промышленных сетей и расширения области их применения:

- экономия затрат на построение и внедрение беспроводных сетей по сравнению с проводными сетями превосходит 50%. Ее причинами являются отсутствие надобности в прокладке кабеля для передачи данных, а также малые затраты на монтаж и внедрение системы;
- существенными достоинствами беспроводных сетей является быстрота их внедрения и более простое обслуживание;
- современные беспроводные сети разных производителей

достаточно надежны (отказоустойчивы при нарушениях связи между отдельными узлами или неисправности отдельных узлов), устойчивы в работе, безопасны, защищены от помех и посторонних вмешательств;

- беспроводные сети не привязывают оператора к пульту, а дают ему возможность взаимодействовать с узлами сети из любого места его нахождения;

- функционирующие беспроводные сети обеспечивают возможность их расширения при почти полном невмешательстве в эксплуатацию действующей части сети.

Перспективное развитие сетей охватывает несколько направлений:

- интеграция разных типов беспроводных сетей и их объединение в единую беспроводную структуру применением специальных узлов, которые переводят передаваемые по сети сообщения из одного в другой тип сети;

- включение во входные узлы беспроводных сетей любых проводных приборов, имеющих аналоговый или цифровой электрический выход, или даже не имеющих никакого электрического выходного сигнала, а выдающих измеряемое сенсором значение на стрелочный вторичный прибор. Эта функция реализуется выпуском входных узлов сети - адаптеров, которые через модули сопряжения соединяют приборы с беспроводной сетью. Различные типы адаптеров используются для соединения с приборами, имеющими всевозможные аналоговые, импульсные, дискретные выходы, а также цифровые выходы на сети: Profinet, Foundation Fieldbus HSE, Modbus/TCP и ряд других. Выпускаются адаптеры, считывающие видеокамерой данные со стрелочных приборов и экранов мониторов. Эти же адаптеры при необходимости выполняют функции первичной переработки выдаваемых приборами данных и диагностируют неисправности типа обрыва и короткого замыкания. Кроме одноканального адаптера, взаимодействующего с отдельным прибором, выпускаются многоканальные адаптеры, которые соединяются с рядом приборов, имеющих различные выходные сигналы, обрабатывают эти сигналы и последовательно передают их в беспроводную сеть;

- работа беспроводных сетей с переносными специальными входными узлами сети. В частности, такие используемые персоналом производства комплекты (переносный прибор и его адаптер) применяются при измерении концентраций вредных газов по любым переделам производства, при обнаружении утечек газа из трубопроводов переносимыми датчиками загрязнения воздушной среды, при наблюдении за обстановкой различных производственных областей с помощью переносимых камер видеомониторинга. Такой, достаточно просто реализуемый с помощью беспроводной сети контроль значительно расширяет

сферу автоматизации мониторинга общего состояния производства.

Следует подчеркнуть важные элементы работы беспроводных сетей, которые должны быть учтены при их проектировании:

- эксплуатация беспроводных сетей достаточно чувствительна к их энергопотреблению, поскольку источниками энергии являются элементы питания. Поэтому при построении беспроводной промышленной сети важно на этапе проектирования рассмотреть и проанализировать разные варианты топологии сети, периодов опроса приборов, энергопотребления различными узлами сети, чтобы выбрать вариант, который при ограничениях на устойчивость передачи информации и на периоды сбора данных с разных приборов позволит выбрать наиболее энергоэкономный режим работы сети;

- если каждая проводная сеть имеет свою физическую среду передачи данных (кабель или витая пара) и никак не влияет на работу других проводных сетей производства, то разные беспроводные сети используют одну и ту же физическую среду передачи данных (радиоканал спектра частот от 2.400 до 2.483,5 МГц) и, естественно, создают помехи любым другим беспроводным сетям в окружающем пространстве. Это обстоятельство ставит соответствующие ограничения на проектирование любой беспроводной сети.

Раздел II.

Средства автоматизации полевого уровня (датчики и исполнительные комплексы)

Общие положения

В данном разделе рассматриваются основные средства полевого уровня автоматизации (кроме полевых сетей, которые рассмотрены в предыдущем разделе).

Предваряя анализ современных средств полевого уровня, следу-ет уточнить используемую далее терминологию, касающуюся этих средств.

С начала текущего века распространилась мода на термин «Интеллектуальность», который стали применять к ряду современных средств и систем автоматизации, без всякого реального соответствия их этому понятию. Как обоснованно отмечено в : под интеллектуальностью следует понимать процесс привлечения интеллектуальных свойств в средства и системы автоматизации. Поскольку традиционно интеллект понимается как адаптация организма к текущим изменениям жизни, то интеллектуальными средства или системы автоматизации можно назвать, если они сохраняют свои функции и способности эффективно решать поставленные им задачи при изменениях свойств объекта контроля и управления и внешней среды. Применяемые в последние годы термины «интеллектуальный датчик», «интеллектуальный позиционер» и т. п. ничего общего с интеллектом, в указанном выше смысле этого понятия, не имеют. Они просто отличаются от ранее производимых средств полевого уровня тем, что в них входит микропроцессор. Естественно, он существенно расширяет их функции, но не снабжает их никакими интеллектуальными свойствами. Учитывая эти обстоятельства далее применительно к современным средствам полевого уровня термин «Интеллектуальный» не применяется.

В то же время современный датчик, имеющий в своем составе микропроцессор, кроме самого процесса измерения, выполняет ряд добавочных функций и, в частности, производит преобразование измеряемого значения в заданные единицы измерения, выполняет самодиагностику и самокалибровку, реализует заданные ему вычислительные и логические преобразования, сохраняет измеренные значения в своей базе данных. Усложнились состав и структура современного датчика: появились датчики, в которые входят ряд сенсоров; отдельные датчики стали представлять собою измерительные системы, в которые входят ряд самостоятельных датчиков и вычислительный модуль, преобразующий их значения в измеряемую величину по заданному алгоритму.

Глава 4. Общие свойства современных датчиков

4.1. Классификация датчиков

Применяемые в технологических производствах средства полевого уровня автоматизации: измерительные приборы (датчики) и исполнительные комплексы (исполнительные механизмы / позиционеры/ и регулирующие органы) подразделяются на различные классы. Датчики подразделяются по классам измеряемых ими величин:

- датчики физических показателей режимов технологических процессов и перемещения материальных потоков: датчики избыточного, абсолютного давления и разности давлений, объемного и массового расхода, уровня жидких, сыпучих и кусковых материалов, температуры, плотности;

- датчики качественных показателей сырьевых компонентов, полуфабрикатов, готовой продукции и окружающей среды (поточные анализаторы): хроматографы и спектрометры разных типов, газоанализаторы, вискозиметры, РН-метры, кондуктометры и т. д.;

- датчики состояния оборудования разных классов: датчики волн напряжения, вибрации, перемещения, акустических величин, коррозии и т. д.;

- датчики энергоресурсов: датчики количества и качества электроэнергии, датчики количества теплоэнергетических носителей, тепловычислители;

- датчики безопасности: датчики наличия вредных газов в окружающей среде; датчики появления токсичных выбросов, датчики возникновения аварийных ситуаций и т. п..

Не углубляясь в терминологию и не выдвигая никаких новых наименований необходимо подчеркнуть, что обзор датчиков в данной главе касается только современных датчиков, состоящих из сенсора (или ряда сенсоров) и микропроцессорного преобразователя. Современные датчики, в подавляющем большинстве, выполняют, кроме процесса измерения, следующие функции: необходимые аналого-цифровые преобразования измеряемых сигналов, самодиагностику своей работы, дистанционную настройку диапазона измерения, первичную обработку измерительной информации, иногда еще ряд достаточно простых, типовых алгоритмов контроля и управления. Они имеют интерфейсы к стандартным/типовым полевым цифровым сетям, что делает их совместимыми с практически любыми современными средствами автоматизации, и позволяет информационно общаться с этими средствами и получать питание от блоков питания этих средств.

4.2. Особенности современных датчиков

Особенности современных датчиков конкретно выявляются при их общем сопоставлении с датчиками предыдущего поколения, не включающих в свой состав программируемый микропроцессорный преобразователь.

1. Резкое уменьшение искажений измерительной информации на пути от датчика к контроллеру при использовании цифрового выходного сигнала, т. к. вместо низковольтного аналогового сигнала по кабелю, соединяющему датчики с контроллером, идут цифровые сигналы, на которые электрические и магнитные промышленные помехи оказывают несравнимо меньшее влияние.

2. Увеличение надежности измерения за счет самодиагностики датчиков, т. к. каждый датчик сам оперативно сообщает оператору факт и тип возникающего нарушения, тем самым, исключая использование для управления некачественных и/или недостоверных измерений.

3. Использование новых принципов измерения, требующих достаточно сложной вычислительной обработки выходных сигналов сенсоров, но имеющих ряд преимуществ перед традиционно используемыми принципами измерения по точности, стабильности показаний, простоте установки и обслуживания датчика в процессе его эксплуатации (например, помещении датчика вне измеряемой среды).

4. Возможность построения мультисенсорных датчиков, в которых преобразователь получает и перерабатывает сигналы ряда однотипных или разнотипных сенсоров.

5. Проведение заданной первичной переработки измерительной информации в самом датчике и выдача им искомого текущего значения измеряемой величины в заданных единицах измерения.

6. Передача датчиком в систему автоматизации не только текущего значения измеряемой величины, но и добавочных сигналов о выходе текущего значения за пределы заданных норм.

7. Наличие в датчике базы данных для хранения значений измеряемой величины за заданный длительный интервал времени, что позволяет по запросу оператора выдавать массив значений измеряемой величины за требуемый интервал.

8. Реализация в датчике сопоставления текущего значения измеряемой величины с прошлыми значениями этой величины, что позволяет изменить саму форму взаимоотношения датчика с контроллером: исключить циклическую передачу по сети каждого текущего измеряемого датчиком значения, а инициативно подключаться к сети и передавать по ней информацию только тогда, когда происходят заданные по величине изменения текущего значения измеряемой величины по сравнению с

предыдущим значением или когда текущие измеряемые значения выходят за пределы заданных норм.

9. Дистанционный выбор диапазона измерения датчика с пульта оператора в оперативном режиме.

10. Наличие вариантов различных классов датчиков для работы в системах ПАЗ, которые сертифицированы по уровням безопасности SIL 2 и SIL3.

11. Возможность, путем программирования работы датчика на достаточно простом технологическом языке, реализовывать в нем простые алгоритмы регулирования, программного управления, блокировок механизмов.

12. Целесообразность в определенных, выбранных заказчиком условиях строить достаточно простые цепи регулирования, программного управления, блокировок на самом нижнем, полевом уровне управления из трех компонентов: датчиков, полевой сети и исполнительных комплексов, не загружая этими вычислительными операциями контроллеры.

4.3. Экономические преимущества использования современных датчиков

Ниже приведены те достоинства современных датчиков, которые легко пересчитать в финансовые показатели экономии:

1. Стоимость современных датчиков превышает стоимость датчиков предыдущего поколения, поэтому первоначальные затраты заказчиков возрастают, но уменьшается стоимость установки современных датчиков и их обслуживания за время эксплуатации, а увеличение стабильности их работы приводит к экономии за счет более редких поверочных испытаний.

2. Снижаются потери на производстве, вызванные использованием для управления неточных и неверных показаний датчиков.

3. Экономия возникает в стоимости кабельных линий, соединяющих измерительные средства с контроллерами, т. к. К одной шине цифровой сети можно подсоединить от 8-ми до порядка 100 датчиков.

4. Возникает экономия в стоимости контроллеров, т. к. не требуется включать в них блоки ввода, для связи с современными датчиками, использующими аналоговый выход.

5. При применении на взрывоопасных производствах полевых сетей ProfibusPA или Foundation Fieldbus H1 возникает экономия из-за уменьшения (или исключения) барьеров искробезопасности.

На рассматриваемом секторе рынка наблюдается достаточно высокая конкуренция ведущих в этой области отечественных и зарубежных

производителей, а также большая насыщенность российских производителей, что позволяет заказчикам достаточно рационально подойти к модернизации приборного парка на действующих производствах и к оснащению датчиками вновь строящихся производственных объектов.

4.4. Структура современных датчиков

Современные датчики имеют многовариантную блочную структуру. Основными блоками являются сенсор и преобразователь. В одном датчике может иметься ряд сенсоров, взаимодействующих с одним преобразователем. Добавочным блоком может являться местный показывающий прибор.

Сенсор имеет обычно множество вариантов исполнения, рассчитанных на разные свойства измеряемой и окружающей сред и разную конструкцию объекта измерения:

- варианты арматуры (корпуса сенсора) под разные давления, температуры, воздействия и помехи;
- варианты материалов арматуры, контактирующих с измеряемой средой, под обычную, химически агрессивную, абразивную и другие среды;
- варианты исполнения сенсора под обычную, гигиеническую, взрывоопасную среды;
- варианты соединения сенсора с конструкцией объекта измерения типа фланцевой, вафельной, резьбовой и т. д..

Преобразователь может быть компактно объединен с сенсором в одном конструктиве, а может находиться в отдельном конструктиве и размещаться рядом или на небольшой дистанции от сенсора.

Сам преобразователь состоит из программируемого микропроцессора с оперативным и постоянным модулями памяти, с аналого-цифровым преобразователем, с интерфейсом связи с типовыми полевыми сетями. Обычно он также имеет ряд вариантов исполнения:

- варианты корпуса преобразователя под разные свойства окружающей среды и разные имеющиеся внешние помехи;
- варианты питания прибора по наличию блока питания в нем или питанию его от постороннего источника через полевую сеть;
- варианты выходных сигналов преобразователя по числу, по параметрам, по коммуникационным возможностям связи с различными полевыми сетями.

Очень важно, что большинство производителей комплектуют датчики из сочетания разных вариантов сенсоров одного метода измерения с разными вариантами преобразователей, рассчитанных на работу с данной серией сенсоров. Благодаря этому удастся наиболее точно и

полно удовлетворять отдельным конкретным требованиям к приборам. Следует иметь в виду, что подобная, весьма технически рациональная гибкость построения датчиков, в то же время, не позволяет, в ряде случаев, дать оценку стоимости прибора без детального анализа выбранных вариантов составляющих его блоков.

Сам преобразователь может свободно комплектоваться из отдельных модулей при применении в нем стандартной открытой магистрально-модульной архитектуры. Одним из таких широко используемых стандартов для средств измерительной техники является стандарт IEEE 1155 на VXIbus [2] (VMEbusXtention for Instruments), который есть расширение стандарта VMEbus, применяемого в промышленной автоматике (стандарт VMEbus [3] рассмотрен далее в главе 7, пункт 7.3.1) на средства полевого уровня.

VXIbus имеет следующие составляющие:

- менеджер ресурсов;
- локальная 32-х битная шина, объединяющая модули, размещенные в одном каркасе;
- дополнительная аналоговая шина и шина идентификации;
- конструктивная опора модулей - каркас по механическому стандарту "Евромеханика".

Стандарт VXIbus, версия 3.0, 2004 года имеет скорость обмена данных до 160 Мбит/с.

Модули, сформированные по стандарту, являются процессорно и технологически независимыми. В одном каркасе может размещаться до 21 модуль VXIbus.

Почти все модули стандарта VXIbus могут использоваться в VMEbus структурах и все модули VMEbus могут использоваться в VXIbus структурах, но должны поддерживаться стандартными для VXIbus программными драйверами.

В номенклатуру модулей VXIbus входят центральные процессоры, сетевые контроллеры, разные виды памяти, генераторы импульсов и функциональные генераторы, счетчики, таймеры, измерители электрических параметров, аналоговые и цифровые входы/выходы сигналов разных уровней, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.

Оперативным программным обеспечением преобразователя, построенного из модулей VXIbus, могут являться любые операционные открытые системы реального времени. Для программирования модулей VXIbus используется специальный инструментальный язык SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) [4], который реализуется в модулях с помощью имеющихся компиляторов и интерпретаторов с

этого языка.

В настоящее время большое число фирм производят разнообразные по назначению модули VXIbus, так что комплектация из них всевозможных преобразователей принципиально не представляет трудностей.

4.5. Реализуемые современными датчиками функции

Рассматриваемые датчики в подавляющем большинстве являются многофункциональными приборами, для которых только традиционно сохраняется наименование «датчик», а по выполняемым функциям они все более приближаются к симбиозу датчика и контроллера. Тенденция их развития, связанная со все расширяющимися возможностями встроенных в них микропроцессоров, заключается в передаче им от контроллеров все большего числа простейших типовых функций контроля и управления. Кроме того, современные датчики все более широко используют возможности своего микропроцессорного преобразователя для совершенствования процесса измерения: повышения точности, увеличения надежности, оперативного изменения диапазона измерения, автоматического исключения ошибочных выходных данных, расширения функций дистанционного управления работой сенсора.

Ниже рассматривается распространенный комплекс функций, который реализуется в современных датчиках, выпускаемых ведущими производителями.

Информационные функции

Датчики хранят в своей памяти и, по дистанционному запросу пользователя, выдают все данные, определяющие свойства, характеристики, параметры данного конкретного прибора: его тип, заводской номер, технические показатели, возможные диапазоны измерения, установленную шкалу, заданные параметры настройки сенсора, работающую версию программного обеспечения, архив проведенных метрологических проверок, срок проведения следующей проверки датчика и т. п.. Кроме того, датчики могут иметь архив текущих измеряемых и вычисляемых ими значений величин за заданный интервал времени.

Функции конфигурирования

Дистанционное формирование или модификация пользователем основных настроечных параметров датчика: установка нуля прибора, выбор заданного диапазона измерения, фильтрация текущих значений, выбор наименования единиц измерения, в которых датчик должен выдавать информацию и т. п. действия.

Функции форматирования

Определение выходов значений измеряемой величины за заданные нормы, выдача различных сообщений об изменениях значений измеряемой величины, проверка нахождения параметров измеряемой среды в допустимых диапазонах. Все эти функции дистанционно настраиваются пользователем.

Функции самодиагностики

В процессе работы датчики выполняют анализ своей работы: при возникновении различных сбоев, нарушений и неисправностей фиксируют их место возникновения и причину, определяют выход погрешности прибора за паспортную норму, анализируют работу базы данных датчика. Датчик может выдавать оператору до 30-ти различных сообщений, конкретизирующих текущие особенности его работы и резко облегчающих и ускоряющих его обслуживание (при необходимости вмешательства персонала КИП'а в его работу).

Обычно, информация, выдаваемая датчиком об отдельных его неисправностях, подразделяется на два типа:

- некритическая информация, когда датчик требует определенного обслуживания, но измеряемые им значения могут использоваться для управления;

- критическая информация, когда выходные данные датчика неверны и либо требуется немедленное вмешательство оператора по приостановке использования его показаний, либо сам датчик переводит свой выход в постоянное безопасное для управления процессом значение и сообщает о необходимости срочного обслуживания прибора.

Функции преобразования

Датчик преобразует электрический сигнал на выходе сенсора (обычно, низковольтный аналоговый, или частотный, или импульсный сигнал) в значение заданного наименования единицы измерения; при этом он выполняет коррекцию выходного значения по сопутствующим текущим показателям состояния измеряемой среды (например, по ее температуре и/или давлению), в случае, если показания датчика зависят от них. В приборе проводятся необходимые преобразования измерительной информации: усиление сигналов сенсора, стандартизация диапазонов выходных аналоговых сигналов, линеаризация и фильтрация измеренных значений, расчет выходных значений по заданным алгоритмам, аналого-цифровое преобразование значений измеряемой величины.

Управляющие функции

В последнее время все большее число добавочных функций, непосредственно связанных с управлением технологическим

процессом, стали возлагать на современные датчики. Для реализации этих функций в память микропроцессора датчика прошивается соответствующий набор типовых программных модулей, а их инициация и параметризация проводится дистанционно оператором с помощью простейшего графического конфигуратора. В качестве типовых программных модулей используются простейшие арифметические и логические операции, таймер, элемент чистого запаздывания, интегратор, варианты регуляторов: P, I, PI, PD, PID и т. п. функции, из которых легко набираются конкретные алгоритмы регулирования разных видов, блокировочные зависимости, алгоритмы смешивания и другие простые, типовые алгоритмы автоматизации.

4.6. Перспективы развития современных датчиков

Наблюдаемые в настоящее время тенденции развития датчиков можно подразделить на ряд направлений, по каждому из которых в ведущих приборостроительных фирмах ведутся работы и появляются промышленные разработки, имеющие успешные внедрения.

Датчики, использующие новые методы измерения

В последние годы намечается перспективная тенденция разработки таких методов измерения, которые требуют существенной вычислительной обработки, реализуемой в микропроцессорном преобразователе датчика. Основанные на этих методах сенсоры имеют следующие важные для заказчиков свойства:

- расположение сенсора вне измеряемой среды, что существенно сказывается на расширении сферы его применения, на увеличении стабильности показаний, на облегчении установки и обслуживания, ведет к отсутствию экономических потерь при его эксплуатации;

- исключение в сенсоре любых движущихся частей (в том числе, электромеханических блоков), что повышает надежность его работы и упрощает его обслуживание;

- отсутствие особых требований сенсора к конструкции объекта измерения и к характеру измеряемого потока в районе измерения, что расширяет возможности использования датчиков в разных местах производственных объектов и удешевляет их установку.

Беспроводные датчики

Экономическая и техническая перспективность использования для широко круга промышленных объектов беспроводных датчиков бесспорна. Практически, в беспроводных датчиках, ко всем имеющимся у них функциям добавляют функцию телемеханической радиосвязи с другими средствами автоматики (обычно, с контроллерами, также оснащенными блоками радиосвязи).

Предпосылками развития беспроводных датчиков служат с одной стороны, наблюдающееся снижение стоимости радиотехнических устройств и повышение надежности беспроводной связи, достигнутая защита сетей беспроводной связи от помех и от постороннего доступа; а с другой стороны, возникающая экономия затрат при сравнении с проводной связью.

При использовании беспроводной связи разработчиками просматриваются следующие стратегии разделения радиоканалов:

- множественный доступ во временной области (TDMA). Каждый датчик получает свой временной интервал, в течение которого он может передавать информацию;

- множественный доступ в частотной области (FDMA). Каждый датчик передает информацию на отведенной ему частоте;

- множественный доступ с кодовым разделением (CDMA). Каждый датчик имеет свой код, причем коды не коррелированы, что позволяет подавлять любые сигналы – возмущения, которые при этом воспринимаются приемником как белый шум.

Особенно широкое развитие получают беспроводные датчики следующих классов:

- датчики различных физических величин (давление, расход, температура, уровень и т. д.);

- датчики текущего положения регулирующих органов;

- датчики различных характеристик текущего состояния оборудования;

- переносные датчики концентраций вредных газов в окружающей среде.

Многосенсорные датчики

Нет принципиальных трудностей в подключении к одному преобразователю нескольких сенсоров, измеряющих одну и ту же или разные величины. Датчик, выдающий информацию о текущих значениях ряда измеряемых величин, во многих промышленных применениях и экономически, и технически существенно более эффективен, чем использующаяся для этих же целей группа датчиков отдельных измеряемых величин. Существующая ниша применения таких мультиизмерителей достаточно обширна и их разработки весьма перспективны.

Многофункциональные датчики

Число и разнообразие реализуемых в датчике функций со временем все более увеличивается; датчики становятся все более многофункциональными средствами автоматизации, для которых сам термин «датчик» становится все более неполным и условным.

Перспективные разработки включают в себя:

- адаптивные датчики (датчики, которые в зависимости от текущих свойств измеряемого сигнала, автоматически изменяют диапазон измерения);

- датчики, включающие алгоритмы прогнозирования значения измеряемой величины;

- датчики, имеющие достаточно объемные собственные хранилища измеряемой информации и производящие достаточно сложную и объемную обработку данных измерения;

- датчики со все более полной самодиагностикой, сообщающий не только о уже возникших сбоях и неисправностях, но и выдающих прогноз по их возможной некорректной работе и дающих рекомендации по их техобслуживанию;

- датчики, выполняющие все больший объем задач, которые далеко выходят за рамки измерения отдельных величин: расчет показателей контролируемого процесса, обнаружение в контролируемом процессе событий типа нарушения или неисправности, реализация ПИД- регулирования и логического управления механизмами;

- датчики с метрологическим самоконтролем, который может быть реализован различными методами: в датчик, кроме самого сенсора, вставляется еще второй аналогичный сенсор и при измерениях производится сопоставление значений измерений двух независимых сенсоров; в датчике помещается два разных по принципу действия сенсора, которые измеряют одну и ту же величину и сопоставляют одновременно измеренные ими значения; в датчик вводится отдельный эталонный объект, имеющий постоянное, определенное измеряемое значение, и периодически датчик проводит измерение эталонного объекта и сопоставляет полученное значение с истинным значением эталона.

Встраиваемые в оборудование датчики

Очень перспективным направлением является разработка миниатюрных, встраиваемых в выпускаемое промышленное, технологическое оборудование проводных и беспроводных датчиков. Широкое распространение таких датчиков коренным образом изменяет структуру полевого уровня систем автоматизации. При выпуске промышленного оборудования с встроенными в него датчиками сами приборы становятся не внешними дополнениями технологического процесса, а его неотъемлемыми частями.

Фирмами-производителями приборов начали выпускаться датчики объемом в несколько мм³ для измерения температуры, давления, влажности, других параметров среды. В этот объем входит как сам сенсор, так и необходимый вычислительный ресурс для преобразования

измеряемого сигнала в цифровую форму, его обработки и передачи в полевую сеть. Создание миниатюрных датчиков возможно на базе ряда современных и частично новых методов измерения и параллельно ведет к увеличению точности и качества работы приборов.

Датчики с метрологическим самоконтролем

В общем потоке неисправностей датчиков подавляющей частью отказов является увеличение погрешности измерения сверх нормируемого в их паспорте значения. Эта неисправность обнаруживается и компенсируется периодической метрологической поверкой датчиков (для многих датчиков физических величин она должна проводиться каждые 2 года). Поверка обычно проводится на специальных стендах и требует предварительного демонтажа датчиков. Однако, подобные достаточно редкие поверки и калибровки не могут гарантировать необходимую точность показаний датчиков в любой, определенный момент времени внутри интервала метрологических испытаний датчиков.

Использование в датчике программируемого микропроцессора позволяет пересмотреть процедуру метрологической поверки для многих классов датчиков, возложив ее на сам прибор, уменьшив период поверки до любого заданного значения и исключив демонтаж прибора на время его поверки и калибровки. Практически в датчики закладываются добавочные элементы, мониторинг которых реализуется параллельно с процессом измерения, а результат мониторинга позволяет оценить существующую погрешность датчика и при выходе его из паспортного класса точности дать сигнал о необходимости его обслуживания.

Метрологический самоконтроль может быть реализован различными методами; причем для разных классов датчиков могут быть разработаны разные способы самоконтроля точности их измерений. Так, например, возможны следующие формы самоконтроля:

- структурная избыточность: в датчик, кроме самого сенсора, вставляется еще второй аналогичный сенсор и при измерениях производится сопоставление значений измерений двух независимых сенсоров;

- функциональная избыточность: в датчике помещается два разных по принципу действия сенсора, которые измеряют одну и ту же величину и сопоставляют одновременно измеренные ими значения;

- ввод эталона: в датчик вводится отдельный эталонный объект, имеющий постоянное, определенное измеряемое значение, и периодически (с заданным оператором периодом) датчик проводит измерение эталонного объекта и сопоставляет полученное значение с истинным значением эталона.

В утвержденном российском стандарте ГОСТ Р 8.734-

2011 [5] «Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные» рассмотрено формирование датчиков с функцией метрологического самоконтроля.

4.7. Необходимые классы датчиков для контроля работы технологических агрегатов

Показатели работы технологического агрегата в подавляющем большинстве производств определяются оценками значений следующих величин.

Датчики режима работы технологического агрегата измеряют:

- температуры процесса в отдельных точках или распределением температуры по поверхности, или по определенным зонам;
- абсолютное, избыточное, дифференциальное давление в различных местах процесса или в отдельных блоках агрегата;
- уровень или масса жидкости, шлама, пульпы, сыпучих и кусковых материалов в резервуарах, емкостях, бункерах, силосах агрегата.

Датчики качественных показателей технологического процесса определяют:

- текущие оценки качественных показателей используемых сырьевых компонентов, получаемых полуфабрикатов в отдельных узлах технологического процесса, выпускаемых агрегатом продуктов, определяемые анализом их состава, измерением их определенных свойств, испытанием их отдельных характеристик.

Датчики расходов перерабатываемых агрегатом материальных и используемых энергетических потоков оценивают:

- массы (объемы) различных сырьевых компонентов, включая катализаторы процесса и обратные потоки материальных компонентов от выхода агрегата;
- производимые агрегатом массы (объемы) различных продуктов и разного вида отходов;
- изменения массы (объемов) в принадлежащих агрегату емкостях.

Следует отметить, что все входные и выходные расходы материальных потоков, а также изменения заполнения емкостей агрегата рекомендуется определять в единицах массы; а не объема, поскольку в технологическом процессе возможен переход обрабатываемого материала из одного физического состояния в другое (например, из жидкости в газ), что исказит объемный баланс входных и выходных материальных потоков агрегата, но не отразится на их массовом балансе.

Расходы используемых агрегатом энергетических потоков, которые подразделяются:

- на расходующую электроэнергию;

- на расходуемую тепловую энергию различных теплоносителей,
- на расходы энергоресурсов типа сжатого воздуха, азота, оборотной воды.

Датчики текущего состояния основного динамического оборудования и средств систем автоматизации производственных объектов контролируют:

- состояние основного динамического оборудования, под которым понимаются те единицы вращающегося оборудования, от качества работы и износа которых зависит поддержание заданного режима работы производственного объекта. Контроль производится путем измерения температуры подшипников, уровня вибрации, волн напряжения, энергопотребления и т. п. косвенных характеристик текущего состояния отдельных единиц оборудования;
- точность и исправность компонентов систем автоматизации производственных объектов полевого уровня: работы датчиков (анализ смещения нуля прибора и потери точности); состояния позиционеров и регулирующих органов (измерение гистерезиса и залипания регулирующих органов, процента времени их нахождения в конечных положениях); выявления обрывов полевых сетей;
- качество работы компонентов ПЛК (PCY): анализируют точность ПИД-регулирования путем вычисления текущего среднеквадратичного отклонения регулируемой величины от заданной уставки, выявляют колебательный режим регулирования, определяют процент времени отключения регуляторов и перевода управления на ручной режим; выявляют неисправности во всех компонентах ПЛК.

Датчики контроля и учета текущего перемещения материальных потоков по производству:

- контроля перемещения материальных потоков по всем линиям транспортной сети производства путем измерения и вычисления расходов материальных потоков по каждой линии сети;
- контроля заполнения и опорожнения хранилищ сырьевых компонентов, полуфабрикатов, готовой продукции (резервуаров, бункеров, складов) измерением наполнения/опорожнения и хранения уровнемерами, расходомерами материальных потоков, весами;
- контроля приема сырьевых компонентов и отгрузки готовой продукции путем измерения их массы (объема) весами или расходомерами.

Средства обнаружения сверхнормативных материальных и энергетических потерь и мест их возникновения:

- измерение расходов и вычисление материального баланса между входами и выходами технологических агрегатов, между взаимосвязанными материальными потоками цехами производства, между

поступлением и расходом материальных потоков в хранилищах, между отдельными участками транспортной сети материальных потоков. Результатом анализа уравнений материального баланса является выявление мест сверхнормативных материальных потерь;

- измерение расходов и вычисление энергетического баланса (отдельно по различным видам потребляемых энергоресурсов) между отдельными переделами производства и обнаружение мест сверхнормативных энергетических потерь.

Датчики безопасности (контроля состояния окружающей среды)

Анализаторы качественных показателей окружающей технологической агрегат или предприятие среды (измерители содержания токсичных, горючих, взрывоопасных газов) и сигнализаторы о возникновении ситуаций, требующих немедленного вмешательства операторов.

Естественно, что все измеряемые, вычисляемые и анализируемые величины и показатели должны удовлетворять заданным требованиям по достоверности, точности и надежности. Для оперативного управления агрегатом, независимо от того какую часть управляющих функций реализует автоматическая система, а какую выполняет оператор, необходимо в каждый момент времени получать полную картину текущего состояния агрегата и характеристик протекающего в нем технологического процесса. На подавляющем большинстве обследованных производств различных отраслей технологические агрегаты не обеспечены текущим полноценным автоматическим контролем их работы. Наиболее часто отсутствуют датчики следующих групп оперативных данных о работе агрегата:

- датчики оперативного использования различных энергоресурсов;
- датчики состояния основного динамического и статического оборудования агрегата;
- датчики-сигнализаторы влияния технологического процесса на окружающую среду;
- датчики качественных показателей материальных потоков на входах и выходах агрегата.

Требуемая информационная картина, дающая полноценное представление о текущей работе и состоянии агрегата, должна формироваться ниже перечисленными классами датчиков.

Глава 5. Обзор общепромышленных классов датчиков

В данной главе рассматриваются датчики разных общепромышленных классов. Подробность описания свойств и характеристик датчиков в основном определяется распространением отдельных классов датчиков на предприятиях разных технологических

отраслей. Более подробное описание приводится по перспективным видам приборов, распространение которых имеет тенденцию к расширению.

5.1. Датчики давления

Датчики давления подразделяются на следующие классы:

- датчики избыточного давления, которые измеряют давление по отношению к атмосферному давлению в районе измерения (есть вариант герметизированных датчиков избыточного давления, которые измеряют давление по отношению к атмосферному давлению на уровне океана);
- датчики абсолютного давления, которые измеряют давление по отношению к вакууму;
- датчики дифференциального давления (иначе, датчики перепада давления), которые измеряют разницу между двумя прикладываемыми к ним давлениям.

В большинстве датчиков их сенсоры защищаются от измеряемой среды специальными разделителями, состоящими из разделительной мембраны, контактирующей с измеряемой средой, и масляным или иным инертным заполнителем, через который давление измеряемой среды передается от разделительной мембраны до самого сенсора. Указанные разделители могут быть дистанционного типа, у таких дистанционных разделительных трубок расстояние между разделительной мембраной и сенсором может достигать метра и более.

В ряде датчиков давления имеется несколько сенсоров. Так, по встроенным в них термометрам микропроцессорные преобразователи датчиков проводят коррекцию измеренного давления (компенсацию температурной погрешности), а в датчиках дифференциального давления иногда измеряется еще и статическое давление среды, по которому также проводится коррекция. Эти корректирующие вычисления приводят к повышению точности работы датчиков давления.

Варианты сенсоров датчиков давления

Ниже рассмотрены распространенные сенсоры датчиков давления.

Резистивные измерители давления.

Давление, приложенное к мембране и создающее ее прогиб, передается на резистивный элемент (пьезо- или тензорезистивный), включенный в мостик Уитстона. Изменение сопротивления этого элемента, пропорциональное приложенному на мембрану давлению, преобразуется в датчике в соответствующий электрический выходной сигнал. Если к другой (опорной) стороне сенсора приложено атмосферное давление, то датчик измеряет избыточное давление; если опорная сторона сенсора герметизирована и в ней вакуум, то

датчик измеряет абсолютное давление: если к опорной стороне приложено другое измеряемое давление среды, то датчик измеряет дифференциальное давление (перепад давления).

Емкостные измерители давления

Мембрана сенсора является одной из пластин конденсатора. Приложенное к мембране давление прогибает ее, что изменяет емкость между ней и второй пластиной конденсатора. Емкость преобразуется в датчике в соответствующий электрический выходной сигнал, пропорциональный приложенному давлению.

Резонансные измерители давления

Сенсором являются два монокристаллических резонатора. Под действием цепи возбуждения резонаторы колеблются с определенной частотой, которая определяется вычислителем. Давления с одной и другой стороны датчика через разделительные мембраны прикладываются к соответствующим резонаторам, получающаяся деформация которых вызывает изменения их частот колебаний. Вычисляемая разность частот двух резонаторов пропорциональна разности давлений, приложенных к датчику.

Свойства и характеристики датчиков давления

Датчики избыточного, абсолютного и дифференциального давления имеют очень обширную сферу применения во всех отраслях промышленности. Кроме непосредственного определения давления в заданных местах технологических объектов, датчики избыточного давления используются для определения уровня жидкости в резервуарах; датчики дифференциального и абсолютного давления совместно с термометрами сопротивления используются в датчиках расхода газа и жидкости, работающих по методу измерения перепада давления на заданном сужении; датчики дифференциального давления служат определителями плотности жидкости по разности давлений на фиксированных высотах заполненного жидкостью резервуара.

Следует отметить, что выпускаются датчики давления, специализированные для оценки других величин измеряемой среды. Так, датчики избыточного давления, предназначенные для измерения уровня жидкости в резервуарах, выпускаются в специальном конструктивном исполнении с фланцем, монтируемым на стене резервуара; датчики давления, предназначенные для измерения расхода, имеют в одном датчике три сенсора: дифференциального давления, абсолютного давления, измерителя температуры среды.

Ниже приводится примерный диапазон основных характеристик датчиков давления.

1. По точности датчики давления различаются на порядок: диапазон

погрешности от 0,05 до 0,5%.

2. По диапазонам измерения можно отобрать датчики на практически любые пределы давления: от десятитысячных бар до многих сотен бар; при этом в указанных пределах конкретный диапазон измерения может быть настроен на требуемые параметры.

3. По свойствам измеряемой среды основные отличия заключаются в температуре и давлении среды, на которые рассчитаны датчики. Температурный диапазон приборов разных типов несколько различен, но в совокупности охватывает широкие температурные пределы измеряемой среды от -50 до $+300$ и выше. Статическое давление измеряемой среды у многих приборов может достигать многих сотен баров. Такие свойства измеряемой среды как химическая агрессивность, абразивность, вязкость успешно компенсируются специальными разделительными мембранами, которые в качестве отдельных аксессуаров предлагаются большинством производителей.

4. По свойствам окружающей среды подавляющее большинство датчиков может работать в любых промышленных средах: при взрывоопасности, при наличии вибрации, при воздействии электрических полей. Датчики рассчитаны на работу вне помещения; они имеют высокую степень защиты от пыли, влаги, воды, а имеющийся температурный диапазон окружающей среды -40 $+85$ позволяет переносить им сезонные колебания температур в большинстве районов России.

5. По выходным сигналам и коммуникационным свойствам датчики имеют как типовой аналоговый выход, так и связь с полевой сетью по стандартным цифровым протоколам.

5.2. Датчики объемного расхода

Из всех классов общепромышленных датчиков, пожалуй, наибольшее разнообразие типов, используемых методов измерения, свойств и характеристик имеют датчики расхода газа, пара и жидкости, что заставляет потенциальных покупателей особенно тщательно относиться к их выбору.

Варианты сенсоров датчиков объемного расхода

Расходомеры по перепаду давления

Измерение расхода по перепаду давления на каком либо сужении трубопровода (диафрагме, сопло, трубе Вентури, трубке Пито и т. д.) является обычным, до сих пор часто используемым на практике методом измерения расходов газов и жидкостей. В этом методе для измерения расхода газа в датчике используется три сенсора: сенсор перепада давления на установленном сужении в трубе, сенсор статического давления газа в месте замера, сенсор температуры газа

в месте замера; а для измерения расхода жидкости используется два сенсора: сенсор перепада давления на установленном сужении в трубе, сенсор температуры жидкости в месте замера. По полученным от этих сенсоров текущих значений измеряемых величин преобразователь датчика по известной типовой формуле рассчитывает искомый расход.

Следует отметить, что применение приборов, использующих данный, наиболее привычный для практиков, метод измерения, имеет ряд недостатков по сравнению с некоторыми другими классами приборов расхода, базирующихся на других принципах его определения. Сужение требуется устанавливать на достаточно длинном прямолинейном участке трубопровода, чтобы в месте измерения не было никаких турбулентных завихрений; энергетически эксплуатация сужения трубы, при наиболее распространенном типе сужения – диафрагме, приводит к существенным дополнительным затратам, т. к. на диафрагме происходит постоянная, значимая потеря давления; точность измерения расхода существенно зависит от постоянства размеров сужения: должны быть исключены его истирание, налипание на нем каких-либо веществ, задержка им посторонних включений, которые могут находиться в измеряемой среде.

Вихревые расходомеры

В англоязычной литературе этот тип расходомеров подразделяют на два подтипа: Vortex Flowmeter и Swirlmeter. Ниже отмечаются их различия.

Измерение объемного расхода газов, паров, жидкостей в этих расходомерах основано на принципе вихревой дорожки Кармана. Поперек трубопровода помещается специальное тело обтекания (обычно это призма трапецеидального сечения). Вихри потока, образующиеся за ним, имеют регулярный периодический характер. Эти вихри образуют периодические колебания давления за сенсором, частота которых определяется скоростью протекания (т. е. расходом) измеряемой среды. Изменяющееся во времени давление воздействует, например, на пьезоэлемент, преобразующий колебания действующего на него давления в электрические импульсы. Далее эти импульсы усиливаются, преобразуются и формируют выходной сигнал, пропорциональный расходу. Точность измерения не зависит от плотности, температуры, давления измеряемой среды. Вихри очищают тело обтекания от возможных отложений. Сенсоры достаточно чувствительны к вибрации и к попаданию в поток достаточно крупных инородных предметов, в последнем случае при задержке предмета у тела обтекания может полностью исказиться процесс измерения. Чтобы в этом случае знать о возникновении неверных показаний датчика следует иметь в нем

детектор инородных предметов в потоке.

Если в вихревом расходомере подтипа Vortex вихри образуются за счет помещения в поток некоторого тела обтекания, то в расходомере подтипа Swirl в трубопровод вставляется тело, по форме подобное турбинному ротору, которое придает потоку вращательное движение. Ядро этого вихревого вращательного движения находится в центре тела, а далее по ходу потока вихревое движение оттесняется к стенкам трубы и образующиеся у стенок вторичные вихревые потоки производят колебания давления, пропорциональные расходу потока через трубопровод.

Эти колебания давления, также как в случае расходомера подтипа Vortex, улавливаются пьезоэлементом и переводятся в выходной электрический сигнал.

Ультразвуковые расходомеры

Ультразвуковые расходомеры предназначены для измерения объемного расхода жидкостей любого типа и газов, проницаемых к акустическому сигналу. По принципу измерения они подразделяются на два подтипа. Принцип измерения большинства ультразвуковых расходомеров – разница в скорости распространения ультразвуковой волны вдоль и против потока среды. Два приемопередающих сенсора располагаются на разных концах диаметра трубы, со сдвигом по ее длине. Если поток движется по направлению от первого к второму сенсору, то время прохождения ультразвуковой волны от первого до второго сенсора (по течению) будет меньше, чем от второго до первого сенсора (против течения). Измеряемая разность времени прохождения этих двух волн прямо пропорциональна средней скорости продукта, а, следовательно, его объемному расходу. Ультразвуковые расходомеры различаются числом лучей, испускаемых сенсорами. При многолучевых сенсорах полученные разности времен усредняются, что увеличивает точность прибора. Обычно используются датчики с числом лучей от одного до пяти. При установке датчиков требуется наличие прямого участка трубы порядка 10 – 20 диаметров условного прохода трубы до датчика и порядка 5 – 10 диаметров условного прохода трубы после датчика. Поскольку сами сенсоры, независимо от исполнения (накладные или встраиваемые в трубу), не перекрывают поперечное сечение измерительного участка трубы, то потеря давления в датчике отсутствует. Точность измерения не зависит от вязкости, температуры, давления и электропроводности измеряемой среды.

Некоторые ультразвуковые расходомеры имеют другой принцип измерения – Доплер-эффект. Звуковая волна определенной частоты ударяется о твердые частицы или газовые пузырьки, находящиеся в

потоке жидкости, и, отражаясь от них, возвращается назад уже с другой частотой. Разность этих частот пропорциональна скорости частиц, от которых произошло отражение волны, т. е. скорости потока или его объемного расхода (при этом считается, что отражающие волну частицы имеют скорость потока). В этом подтипе расходомера измеряемая разность частот зависит не только от расхода потока, но и от скорости звука в потоке, поэтому она должна быть известна и заложена в алгоритм расчета. Поскольку на скорость звука влияют температура и плотность среды, в которой он распространяется, то показания расходомера данного подтипа зависят от их значений.

Электромагнитные расходомеры

Электромагнитные расходомеры предназначены для измерения объемного расхода жидкостей, в том числе различных пульп, шламов, паст (возможно с содержанием твердых частиц), у которых электрическая проводимость не ниже определенного минимума (для разных типов электромагнитных расходомеров этот минимум составляет 20, 5, 0.01 мС/см). Индуктивная катушка, намотанная на трубе, по которой идет поток жидкости, создает магнитное поле внутри трубы. Электропроводная жидкость пересекает магнитное поле и индуцирует напряжение, которое прямо пропорционально средней скорости потока жидкости. Это напряжение снимается двумя электродами, которые либо находятся в прямом контакте с потоком жидкости, либо измеряют его через емкостную связь. Чтобы напряжение не замыкалось накоротко на стенке трубы, сама труба в датчике изготавливается из электроизоляционного материала, либо футеруется им изнутри. Полученные значения напряжения пересчитываются в объемный расход, причем измеряемые датчиком значения практически почти не зависят от профиля потока; от свойств жидкости (давления, температуры, вязкости, плотности, состава, электропроводности); от загрязнения электродов. При установке датчиков не требуется длинных участков трубопровода до и после датчика (у многих расходомеров минимальный прямой участок трубы до датчика – 5 и менее диаметров условного прохода; после датчика – 2 и менее диаметра условного прохода); поперечное сечение измерительного участка трубы ничем не перекрывается и потеря давления в датчике отсутствует.

Индукцируемое электропроводной жидкостью напряжение достаточно мало (менее 0.5 мВ при скорости потока 1 м/с), поэтому в расходомерах основное внимание уделяют исключению различных помех (стабильности магнитного поля, подавлению шумов напряжения, качеству усиления индуцируемого напряжения), чтобы получить достаточно точные и стабильные показания.

Свойства и характеристики датчиков объемного расхода

Ниже приведены основные характеристики различных типов измерителей объемного расхода:

- по характеру измеряемой среды наиболее универсальны расходомеры по перепаду давления; они используются для разнообразных сред измерения: газ, пар, жидкость, причем последняя может иметь значительную вязкость; очень широк диапазон параметров среды измерения: температура - -200 $+500$ давление – до 300 и выше бар; также широк диапазон диаметров трубопровода: 10-1000 и более мм;

- вихревые расходомеры по универсальности измеряемой среды находятся на втором месте; они используются для сред измерения: газ, пар, жидкость, последняя не должна иметь значительную вязкость; диапазон параметров среды измерения: температура - -200 $+300/400$, давление – до 100 и более бар; диапазон диаметров трубопровода: 15-300 мм;

- ультразвуковые и электромагнитные расходомеры работают, в основном, только на жидкостных средах, причем электромагнитные расходомеры используются только при электропроводящей жидкости (вязкость жидкости не играет роли); диапазон параметров среды измерения: температура - -60 $+230$, давление – до 100 бар; диапазон диаметров трубопровода: 6-6000 мм (ультразвуковой), 2-3000 мм (электромагнитный);

- потерю давления на сенсоре не имеют ультразвуковые и электромагнитные расходомеры, остальные типы расходомеров в месте установки сенсора теряют от 0,4 до 2,0% давления относительно значения давления в данной точке;

- погрешность измерения может быть наименьшей у электромагнитных и ультразвуковых расходомеров (порядка 0,2%), остальные типы расходомеров работают, в основном, в диапазоне погрешности 0,5-2,0%;

- электромагнитные, ультразвуковые расходомеры и расходомеры по перепаду давления принципиально могут измерять расход в прямом и обратном направлениях;

- по возможным свойствам окружающей среды практически все расходомеры имеют опции на разные промышленные условия эксплуатации;

- выходные сигналы приборов и коммуникационные средства всех приборов охватывают имеющиеся аналоговые и цифровые стандарты.

Пересчет объема газа к принятым, единым условиям его давления и температуры

Поскольку измеренный объемный расход газа существенно

зависит от его давления и температуры, то для сопоставления расходов различных газовых потоков необходимо привести их к одинаковым условиям. Такой пересчет проводится стандартными программами-корректорами (см. ГОСТ 8-586-2005 – вычисление расхода газа и ГОСТ 2939 – перевод объема газа к стандартным условиям).

Эти программы, размещаемые в преобразователе объемного расходомера или в отдельном контроллере (часто в специальном микропроцессорном устройстве -нормализаторе расхода газа), проводят пересчет замеренного объема (расхода) газа на его объем (расход) при нормированных или при стандартных условиях.

Под нормированными условиями понимается объем газа при давлении 760 мм рт. ст. и при температуре 273.16 К. (0 С).

Под стандартными условиями понимается объем газа при давлении 760 мм рт. ст. и при температуре 20 С.

5.3. Датчики массового расхода

Все датчики объемного расхода могут использоваться и для расчета массового расхода: для этого микропроцессорный вычислитель датчика должен умножить полученный объемный расход на заранее заданную, известную или специально измеряемую отдельным датчиком плотность измеряемой среды.

В этом разделе рассматриваются только те датчики, которые непосредственно измеряют массовый расход.

Варианты сенсоров датчиков массового расхода

Кориолисовы расходомеры

Принцип действия расходомера – эффект Кориолиса, который в расходомерах реализован по следующей обобщенной схеме. В трубопровод вставляется труба прибора, изогнутая, например, в виде полуовала или другой фигуры и закрепленная в корпусе трубопровода своими концами. С одного конца трубы прибора вещество втекает в нее, затем оно, проходя по трубе, делает изгиб на 180 градусов и вытекает из другого конца трубы в направлении, противоположном входу в трубу.

Труба прибора приводится в поперечные колебания электромагнитной катушкой, расположенной в центре изгиба трубы. Колебания трубы аналогичны колебаниям камертона.

Измеряемая среда, протекающая через трубу, вместе с ней совершает вертикальные колебания. Когда во время первой половины цикла колебания труба движется вверх, то втекающая в нее среда, сопротивляясь этому движению, давит на трубу вниз. Этот силовой вертикальный импульс поглощается при движении среды вокруг изгиба трубы. В это же время вытекающая из трубы измеряемая среда

сопротивляется уменьшению вертикальной составляющей движения трубы и толкает трубу вверх. Это приводит к закручиванию трубы. Когда во время второй половины цикла колебания труба движется вниз, то силовые импульсы измеряемой среды противоположны и труба закручивается в противоположную сторону. Этот эффект закручивания трубы носит название эффекта Кориолиса. По второму закону Ньютона угол закручивания трубы прибора пропорционален массе среды, проходящей через трубу в единицу времени.

Измерение этого угла закручивания происходит следующим путем. С противоположных концов трубы прибора устанавливаются электромагнитные детекторы скорости колебаний трубы. При отсутствии потока через трубу она не закручивается, поэтому между сигналами детекторов нет временной разницы. При наличии потока через трубу она закручивается и при этом возникает разность во времени в поступлении двух сигналов по скорости. Измеряется величина этой разности, которая прямо пропорциональна массовому расходу через трубу прибора.

Тепловые расходомеры

Принцип действия тепловых расходомеров основан на эффекте охлаждения нагретого тела, помещенного в газовый поток. В газовый поток помещаются два сенсора – термометры сопротивления. Один из них используется как обычный измеритель температуры газового потока, а другой - нагревается проходящим через него током. Сам принцип измерения расхода может реализоваться разными способами.

При первом способе ток изменяется так, чтобы разность температур между этими двумя термометрами сопротивления сохранялась постоянной. Чем большая масса в единицу времени протекает через нагреваемый сенсор, тем сильнее будет охлаждающий эффект и тем больший ток потребуются для сохранения постоянной разности температур между сенсорами. Измеряемое значение этого тока будет пропорционально массе продукта, протекающего по трубопроводу в единицу времени.

При втором способе ток, нагревающий термометр сопротивления, сохраняется постоянным во времени, а измеряется разница температур между не нагреваемым и нагреваемым термометрами сопротивления, которая является функцией массы протекающего продукта.

Свойства и характеристики датчиков массового расхода

Ниже приведены обобщенные черты (достоинства и недостатки) рассмотренных основных типов непосредственных измерителей массового расхода (кориолисовых и тепловых расходомеров).

Достоинства кориолисовых расходомеров: отсутствуют согласующие прямые участки трубопровода до и после места установки

датчика; показания датчика не зависят от давления, плотности, температуры измеряемой среды; датчик может производить одним сенсором измерения расхода и плотности, а добавочно обычно измеряет температуру термометром сопротивления.

Недостатки кориолисовых расходомеров: есть существенные ограничения по диаметру трубопровода; при неправильной установке датчик чувствителен к вибрациям; на его показания влияют газовые включения в потоке жидкости.

Достоинства тепловых расходомеров: незатрудненный проход потока через место нахождения сенсора и, следовательно, отсутствует падение давления на датчике; не требуются прямые участки трубопровода до и после места установки датчика; нет движущихся частей в датчике.

Недостатки тепловых расходомеров: датчики применимы только для измерения массы газа, а если в газе содержатся примеси, которые могут осадиться или налипнуть на сенсоры, то перед ними требуется установка фильтра.

Ниже приводится диапазон характеристик рассмотренных датчиков массового расхода.

1. По точности наилучшими являются датчики, работающие на эффекте Кориолиса, (они имеют погрешность от 0,1%); тепловые датчики имеют большую погрешность (до 2,0%).

2. По диаметрам трубопровода наибольшие ограничения у кориолисовых расходомеров (диаметры в диапазоне 1-600 мм); тепловые расходомеры и расходомеры по перепаду давления практически не имеют ограничений на диаметр трубопровода.

3. По свойствам измеряемой среды все датчики имеют примерно одинаковые широкие пределы по температуре и давлению. Температурный диапазон приборов охватывает широкие температурные пределы от -240 до +300. Статическое давление измеряемой среды у многих приборов может достигать многих сотен баров.

4. По свойствам окружающей среды подавляющее большинство датчиков может работать в почти любых промышленных средах; включая взрывоопасные среды, запыленность и высокую влажность среды, вибрационные помехи, сезонные колебания температуры при работе датчика вне помещения.

5. По выходным сигналам и коммуникационным свойствам датчики всех рассмотренных производителей имеют типовой аналоговый выход и связь с стандартными полевыми сетями.

5.4. Датчики плотности

Варианты сенсоров датчиков плотности

Широко используется определение плотности потока, протекающего в трубопроводе, массовыми расходомерами, основанными на принципе

использования кориолисовой силы, которые измеряют плотность как дополнительную характеристику измеряемой среды.

Одним и тем же сенсором прибора: вибрирующей трубкой, закрепленной на одном конце, определяются:

- по ее углу закручивания вокруг своего изгиба (по эффекту Кориолиса) – массовый расход;

- по частоте резонансных колебаний трубки – плотность проходящего через нее потока.

Трубка такого прибора выполнена, например, в виде полуовала с жестко закрепленными концами, находящимися со стороны обреза полуовала, и свободно висящей с другой стороны полуовала трубкой. Такая конструкция, или подобная ей по принципу закрепления трубки, механически является пружиной с массой, которая закреплена на одном конце.

Трубка прибора приводится в движение электромагнитной катушкой, расположенной в центре изгиба ее полуовала (у незакрепленного участка трубки). Возникающие колебания трубки подобны колебаниям камертона, она колеблется со своей резонансной частотой (амплитуда менее 1 мм, а частота порядка десятков гц). Резонансная частота колебаний трубки является функцией массы самой трубки и находящейся в ней измеряемой среды. Масса самой трубки является постоянной величиной, а масса среды в трубке равняется произведению ее плотности на объем трубки, последний также является постоянной величиной. Таким образом, частота резонансных колебаний трубки однозначно определяется плотностью среды в трубке прибора. Эта частота оценивается самой электромагнитной катушкой, а возникающие при изменении температуры измеряемой среды изменение модуля упругости материала трубки учитывается специальным добавочным температурным сенсором, включенным в состав прибора (обычно им является термометр сопротивления).

Таким образом, кориолисов массовый расходомер дает три выходных сигнала, характеризующих массовый расход протекающего через него потока, плотность этого потока и его температуру.

Кроме того, выпускаются отдельные приборы - плотномеры жидкостей и газов, которые измеряют плотность как в потоке (в трубопроводе), так и в неподвижной среде (в емкости).

Распространенным принципом действия плотномеров является тот же принцип резонансных вибраций, который принят при измерении плотности в кориолисовых расходомерах. В измеряемую среду вставляется виброэлемент (типа камертона), резонансные

колебания которого поддерживаются возбуждающей силой. Частота этих колебаний определяется колебательной массой, окружающей виброэлемент, которая в свою очередь пропорциональна плотности этой массы.

Для измерения плотности жидкости в резервуарах применяют также измеритель дифференциального давления. В резервуаре по его вертикали закрепляют две дистанционные разделительные трубки с мембранами на концах. Эти мембраны разнесены по вертикали резервуара на фиксированное расстояние от 0,5 до 1,0 м. Вторые концы разделительных трубок подведены к датчику дифференциального давления, который таким образом измеряет перепад давления между фиксированными уровнями жидкости по высоте резервуара. Получаемый на выходе сенсора сигнал, определяющий разность давления, пропорционален удельному весу жидкости, т. е. ее плотности.

Свойства и характеристики датчиков плотности

Несомненным и заслуженным лидером методов измерения плотности является вибрационный метод, используемый как в трубопроводах, так и в резервуарах; как в отдельных датчиках плотности, так и в комплексных приборах, основанных на эффекте Кориолиса.

Экономически при многих промышленных применениях целесообразно использовать для измерения плотности в потоке кориолисов расходомер, поскольку за стоимость одного прибора заказчик получает значения трех важных величин потока: массового расхода, плотности и температуры.

По основным техническим характеристикам датчики плотности разных фирм имеют следующие отличия друг от друга:

- точность плотномеров, вне зависимости от метода измерения, достигает у ряда производителей 0,01%, тогда как есть датчики и с погрешностью 1,0%;
- свойства измеряемой среды охватываются в большинстве моделей приборов достаточно широко: по давлению до 300 бар и более, по температуре от -50 до $+200$; в то же время есть ряд приборов с существенно более узкими диапазонами свойств измеряемой среды;
- предлагаемые диапазоны измерения у всех датчиков соответствуют колебаниям плотности большинства жидкостей и основных газов;
- окружающая среда, на которую рассчитаны все датчики, соответствует большинству промышленных условий их работы;
- выходы практически всех датчиков удовлетворяют минимальному типовому набору, а у многих приборов имеется широкая номенклатура типовых сигналов и интерфейсов к полевым сетям.

5.5. Датчики уровня

Рассматриваются датчики уровня жидкости, шлама, пульпы, сыпучих и кусковых материалов в резервуарах, емкостях, бункерах, силосах.

Варианты сенсоров датчиков уровня

Датчики избыточного давления – измерители уровня

Сравнительно простым способом измерения уровня жидкости в емкости является установка у дна емкости датчика избыточного давления, который измеряет давление действующего на него столба жидкости. Микропроцессор датчика по известному удельному весу жидкости пересчитывает измеренное избыточное давление в уровень жидкости в емкости.

Поплавковые уровнемеры

Давно используемым методом измерения уровня жидкостей в резервуарах является опускание на тросе в жидкость буйа (поплавка) и замер длины троса, при котором буй входит в жидкость. При изменении уровня жидкости изменяется сила натяжения троса, которая является сигналом для автоматического поиска датчиком нового положения и новой фиксации буйа.

Магнитострикционные уровнемеры

Сенсором уровнемера является волновод, выполненный в виде пустотелой трубки, проходящей по всей высоте емкости, в которой находится продукт. На трубке смонтирован поплавок с магнитами, который всегда фиксирует уровень продукта. Датчик генерирует низковольтный импульс, который, проходя по волноводу, создает электромагнитное поле. Это поле взаимодействует с магнитным полем магнитов поплавка и в этом месте создает упругую деформацию волновода. В месте этой деформации возникает ответный импульс. Интервал времени от посылки импульса до приема ответного импульса датчиком пропорционален расстоянию от датчика до поверхности продукта.

Волновые бесконтактные уровнемеры (радарные и ультразвуковые)

Принцип действия волновых уровнемеров – измерение времени прохождения сигнала от поверхности продукта до уровнемера. Сам уровнемер, в котором находятся излучатель и приемник сигнала (антенна), размещается над поверхностью продукта. В качестве сигнала используются либо импульсы, либо частотно модулированная непрерывная волна. В первом случае, уровнемер определяет интервал времени от момента испускания импульса до его возвращения после отражения от поверхности продукта. Во втором случае, частотно модулированная непрерывная волна при распространении к поверхности

продукта и обратно к антенне смешивается с сигналом, излучаемым в каждый данный момент; в результате этого смещения получается разностный сигнал низкой частоты, который пропорционален расстоянию от уровнемера до поверхности продукта.

Волновые контактные уровнемеры

Находящийся над поверхностью продукта датчик испускает короткие волны импульсами, которые двумя проводниками, проходящими через всю высоту резервуара, направляются вдоль них. Сами проводники могут быть реализованы в виде коаксиальной трубки, в виде стержней, в виде гибких тросов. Столкновение проходящих вдоль проводников волн с поверхностью продукта или с дном емкости вызывает образование обратной волны, время возвращения которой замеряется датчиком.

Метод по разному реализуется в зависимости от относительной диэлектрической проницаемости продукта.

Для продукта с относительной диэлектрической проницаемостью ≥ 2 измеряется отражение прямо от поверхности продукта. Если продукт имеет две разделенные по высоте резервуара фазы, отличающиеся между собою относительной диэлектрической проницаемостью больше, чем на 10 единиц диэлектрической проницаемости, то возможно измерение не только уровня всего продукта, но и уровня раздела его фаз. Для этого используется еще и измерение времени возвращения остаточной волны, добавочно отраженной от раздела фаз.

Для продукта с низкой относительной диэлектрической проницаемостью < 2 , при которой отраженный от поверхности продукта сигнал не достаточно четко выражен, применяется другая разновидность метода. Проводники закорачиваются точно на дне емкости и волна, идущая вдоль них, отражается от дна и фиксируется датчиком. Время прохождения волны до дна и обратно определяется скоростью волны на воздухе и в продукте; последняя, в свою очередь, зависит от диэлектрической проницаемости продукта и его высоты в резервуаре. Если в программу расчета датчика введено значение диэлектрической проницаемости продукта, то однозначно определяется уровень продукта в резервуаре.

При другом варианте, сенсор опускается до дна резервуара. Он испускает импульсы, которые проходят через заполняющий емкость материал и отражаются на границе материала и воздушной среды. Сенсором замеряется время от запуска импульса до прихода отраженного сигнала. Оно зависит от диэлектрической проницаемости материала (которая известна) и его уровня.

Емкостные уровнемеры

Чувствительным элементом уровнемера является длинный зонд, проходящий по всей высоте емкости, в которой находится продукт. Зонд,

покрытый специальным составом, представляет собою длинную линию, у которой активная и реактивная составляющие полного сопротивления равны между собой. Датчик формирует токи определенной частоты через зонд и измеряет емкость и проводимость чувствительного элемента. Полученные их значения позволяют рассчитать чистую емкость продукта, которая зависит от той части зонда, которая покрыта продуктом, т. е. от его уровня.

Свойства и характеристики уровнемеров

Рассматривая свойства и характеристики уровнемеров разных производителей можно отметить нижеследующие важные для пользователей черты, отличающие их друг от друга.

1. Уровнемеры подразделяются на два класса: контактные и бесконтактные. Последние базируются на достаточно тонких физических методах (радиолокационных, ультразвуковых, микроволновых и т. п.) и обладают рядом несомненных технических преимуществ:

- очень широкая область применения: жидкости, шламы, пульпы, тестообразные массы, сыпучие и кусковые материалы в емкостях из металла или бетона;

- независимость от вредных свойств измеряемой среды, типа химической агрессивности, абразивности и т. д.;

- высокая точность измерения: погрешность порядка 2-10 мм (в большинстве датчиков менее 0,1%);

- сравнительная простота обслуживания приборов во время их промышленной эксплуатации.

2. По точности датчики разных производителей, даже основанные на одном и том же принципе измерения, различаются весьма значительно: диапазон погрешности от 0,05 до 2,0%.

3. По диапазону измерения различия также существенны: от 0-4 м до 0-70 м.

4. По температуре и давлению измеряемой среды датчики рассчитаны на совершенно разные условия работы: температурный диапазон приборов от -40 до +80 или от -110 до +400. Статическое давление измеряемой среды у многих приборов может достигать сотен бар.

5. По свойствам окружающей среды подавляющее большинство датчиков, вне зависимости от принципа измерения, могут работать в различных промышленных условиях: они имеют высокую степень защиты от пыли, влаги, воды, а рассчитанный температурный диапазон окружающей среды -40...+50/85 позволяет переносить им сезонные колебания температур в большинстве районов России.

6. По выходным сигналам и коммуникационным свойствам датчики всех рассмотренных производителей имеют типовой аналоговый выход и варианты связи со стандартными полевыми сетями.

5.6. Датчики температуры

Датчики температуры разных видов охватывают измерением широкий диапазон температур от сотен отрицательных до тысяч положительных градусов Цельсия. Все разнообразие датчиков можно разделить на два класса используемых сенсоров: контактные сенсоры (термометры сопротивления и термопары) и бесконтактные сенсоры (пирометры и тепловизоры).

Контактные сенсоры температуры

При необходимости измерять температуру в диапазонах внутри -200 $+$ $+850$ С обычно применяют термометры сопротивления разных типов, в которых используется эффект изменения удельного электрического сопротивления металла от его температуры (чем выше температура, тем выше сопротивление металла). Никелевые термометры сопротивления имеют диапазон изменения температуры -60 (70) $+$ $+180$ (300) С, медные термометры сопротивления имеют диапазон изменения температуры -360 (200) $+$ $+220$ (550) С, платиновые термометры сопротивления имеют диапазон изменения температуры -200 $+$ $+650$ (850) С. Погрешность термометров сопротивления лежит в пределах 0,1 – 4,6 С (более высокое значение погрешности наблюдается при измерении более высоких температур).

Непосредственно к термометрам сопротивления примыкают термисторы и полупроводниковые сенсоры температуры.

Термисторы – полупроводники, имеющие большой температурный коэффициент сопротивления двух вариантов: с повышением температуры их сопротивление падает или с повышением температуры их сопротивление растёт. Они используются для измерения температур в узких диапазонах порядка нескольких градусов Цельсия.

В полупроводниковых сенсорах температуры (обычно, диодах) используется явление изменения напряжения на р-п переходе при изменении температуры в месте их нахождения. Эта зависимость близка к линейной; поэтому выходной сигнал напряжения пропорционален температуре и его изменение составляет примерно 10 мВ/1 С.

Для измерения температуры в диапазонах внутри примерно -200 $+$ $+1800$ С применяют разные типы термопар, принцип действия которых основан на возникновении термоЭДС в месте спаивания двух разнородных металлических стержней. Величина этого ЭДС пропорциональна разности температур между местом спаивания металлов (контакта термопары с измеряемым объектом) и холодным концом металлических стержней (их контактом с проводниками).

Существует порядка десятка различных, применяемых на предприятиях термопар, из них наиболее распространены следующие

виды:

- термопара «хромель-копель» с диапазоном измерения $-40 \text{ } ^\circ\text{C}$ $+$ $600 \text{ } ^\circ\text{C}$ при длительном контакте термопары с объектом;
- термопара «хромель-алюмель» с диапазоном измерения $-40 \text{ } ^\circ\text{C}$ $+$ $1100 \text{ } ^\circ\text{C}$ при длительном контакте термопары с объектом;
- термопара «платина-платинородий» с диапазоном измерения $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ $+$ $1600 \text{ } ^\circ\text{C}$ при длительном контакте термопары с объектом.

При краткосрочном контакте термопары с объектом диапазон измерения несколько расширяется.

Точность измерения у термопар ниже, чем у термометров сопротивления (погрешность порядка $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ и больше), причем конкретное значение погрешности достаточно существенно зависит от температуры холодного спая термопары. Ввиду этого в преобразователе датчика обычно производится компенсация температуры холодного спая.

Сами используемые повсеместно общепромышленные температурные сенсоры: термопары и термометры сопротивления подверглись за последние годы наименьшим изменениям.

В зависимости от свойств измеряемой среды и конструктивного места помещения в ней сенсора, рассмотренные сенсоры размещаются в разнообразных корпусах, варианты которых предлагают производители. Корпуса могут быть существенно разными по размерам, быть жесткими и гибкими, иметь различные способы крепления к конструкции объекта измерения, быть стойкими к химической агрессивности и абразивности среды, иметь гигиеническое исполнение, отличаться по динамическим свойствам и т. п..

Датчики температуры, использующие указанные сенсоры, подразделяются на два класса:

- точечные датчики – производят измерение в одной точке объекта;
- многоточечные (многозонные) датчики.

Последние имеют в своем составе от двух-трех до нескольких десятков температурных сенсоров. Для многих промышленных объектов их применение технически и экономически эффективно, поскольку оно позволяет

- используя только один датчик увеличивать точность измерения температуры внутри объекта за счет усреднения измеренных значений температуры в разных его точках;
- иметь новый тип температурного датчика: датчик профиля температурного поля;
- снижать затраты на измерение температур в объекте за счет использования одного преобразователя датчика при десятке и более температурных сенсоров.

Преобразователь температурного датчика, как минимум получая текущие измерения от всех сенсоров датчика, производит усиление милливольтных сигналов сенсоров, линейаризацию их показаний, компенсацию температуры холодного спая термопары, заданные вычислительные операции с измеренными данными (особенно существенные при использовании в датчике ряда температурных сенсоров), преобразование результирующих данных в аналоговые или цифровые выходные значения, которые передаются получателю типовыми полевыми сетями.

Перспективным для пользователей является проектно-компануемый датчик температуры под конкретные требования заказчика. Заказчику предоставляется возможность использовать в датчике практически любой типовой температурный сенсор, предлагается на выбор широкий набор конструктивов сенсора (корпуса различных размеров, материала, формы; различные виды арматуры крепления датчика на объекте) и ряд преобразователей, имеющих интерфейсы к разным типовым полевым сетям.

Погрешность датчиков разных производителей мало отличается друг от друга. Она зависит от следующих факторов:

- верхнего предела диапазона измерения (чем он выше, тем больше абсолютная погрешность измерения);
- погрешности преобразователя;
- применяемых в датчике методов компенсации различных помех.

В лучших по точности датчиках погрешность составляет несколько десятых градуса (если используется термометр сопротивления и верхний предел измерения не выше 200 С).

Все приведенные датчики рассчитаны на работу в широком диапазоне свойств окружающей среды. Они имеют типовые выходные сигналы и коммуникационные связи со стандартными полевыми сетями.

Бесконтактные сенсоры температуры

Пирометр - прибор для бесконтактного, дистанционного измерения температуры объекта путем измерения мощности его теплового излучения в диапазонах видимого и инфракрасного спектра. Пирометры являются основным измерителем температуры раскаленных объектов, непосредственный контакт сенсора с которыми невозможен из-за их высоких температур. Пирометры подразделяются на радиационные (они вычисляют температуру по мощности теплового излучения) и мультиспектральные (они определяют температуру по анализу теплового излучения в различных спектрах). Результат измерения выражается в градусах Цельсия и передается в типовую сеть через один

их последовательных интерфейсов. Погрешность пирометра зависит от его разрешения и свойства поверхности измеряемого объекта, которые задаются коэффициентом его излучения.

Тепловизор – прибор показывает распределение температуры на поверхности рассматриваемого объекта, которая видима в объективе прибора. Распределение температуры отображается на мониторе в виде цветового поля, где каждой температуре соответствует свой цвет. Информация может быть передана через интерфейс на удаленный компьютер пользователя. Важным объектом применения тепловизоров является анализ локальных повышений температуры на поверхности отдельных единиц оборудования, который свидетельствует о развитии в них определенных дефектов.

5.7. Поточные анализаторы качественных показателей

Существует множество различных классов производственных поточных анализаторов состава и качественных показателей газовых, жидких и твердых сред: кондуктометры, РН-метры, влагомеры, вискозиметры, спектрофотометры, газоанализаторы, хроматографы, спектрометры и т. д., и т. п.

Большинство классов поточных анализаторов ориентированы на использование в достаточно узком типе производств. Независимо от метода измерений поточные анализаторы подразделяются по месту производства измерений:

- в потоке, когда в поток вставляется сенсор (зонд),
- в отобранной из потока пробе;
- а также по реактивности получения результатов анализа:
- непрерывная выдача результатов текущего анализа,
- периодическое проведение анализа и выдача результатов с запаздыванием до нескольких десятков минут.

Ниже перечисляются только некоторые из классов поточных анализаторов, имеющие достаточно широкое распространение в технологических отраслях промышленности.

Газовые хроматографы

Газовые хроматографы широко используются для анализа химического состава органических веществ. Инертный газ (например, гелий или азот) проходит через находящуюся в термостате хроматографическую колонку, наполняемую анализируемым веществом, проба которого принудительно вводится в нее из производственного потока. На выходе из колонки детектор измеряет в выходящем из колонки газе концентрацию отдельных компонентов анализируемого вещества. Метод измерения может быть различным

(пламенно-фотометрический, термоионный, электрохимический, пламенно-ионизационный и т. п. детекторы), но он измеряет те свойства, которых не имеет используемый в хроматографе инертный газ. По данным, получаемым от детектора, компьютер вычисляет искомый состав анализируемого вещества. Градуировка ряда хроматографов реализуется автоматически. Настройка и диагностика работы хроматографа реализуется с помощью заложенных в компьютер программ. Недостатками поточных хроматографов являются трудоемкость их использования и сравнительно большая длительность анализа пробы.

Инфракрасные (ИК) жидкостные спектрометры

ИК спектрометр на основе преобразования Фурье используется для определения концентрации отдельных составляющих компонентов в жидкостном образце. Поток инфракрасного излучения от его источника передается по оптоволокну в измерительную ячейку, где находится измеряемый образец и проходит сквозь него, частично поглощаясь образцом. Поглощение энергии излучения образцом на каждой частоте спектра строго зависит от свойств образца. Разница энергии излучения до и после ее прохода сквозь образец на каждой частоте пересчитывается в компьютере с помощью Фурье-преобразования в спектр ее поглощения образцом, а спектр обрабатывается калибровочным модулем, который и определяет искомые значения компонентов и качественных показателей в анализируемом образце. Время получения спектра поглощения и его пересчета в искомые значения показателей составляет несколько секунд.

Спектрометры, работающие в среднем диапазоне ИК являются более чувствительными и обладают более высоким разрешением, чем спектрометры, использующие ближний диапазон ИК.

Используются два варианта измерительных ячеек для анализируемых образцов: погружные и проточные. Погружные ячейки располагают внутри трубопровода и анализ проводится без извлечения пробы и без какой-либо пробоподготовки. Проточные ячейки устанавливаются в систему байпас, обеспечивающую подачу пробы к ячейке, и позволяют анализировать продукт при соответствующей системе подготовки пробы, а также при контроле температуры и давления пробы.

Точность измерения показателей в основном определяется правильностью калибровочной модели, разработка которой является наиболее ответственным и трудоемким этапом. Процесс калибровки спектрометра осуществляется его поставщиком и состоит из следующих этапов:

- выбор серии калибровочных образцов;

- стабилизация условий эксперимента и параметров среды;
- регистрация спектра каждого калибровочного образца;
- разработка калибровочной модели.

Беспробоотборные газовые анализаторы

Беспробоотборные газоанализаторы состоят из зонда и измерительного блока и устанавливаются непосредственно в необходимое место технологического процесса. Они применяются в различных производственных средах, независимо от их температуры, влаги, пыли, агрессивности.

В качестве метода измерения газоанализаторы используют различные классы дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии. Источником излучения, например, является полупроводниковый лазер, луч которого проходит через поток анализируемого газа. Поглощение отдельных частот луча излучения газом зависит от его состава. Находящийся по выходе оптический приемник определяет полученный спектр поглощения газом, а вычислитель рассчитывает площадь под отдельными пиками поглощения разных частот, которая переводится в концентрацию искомых компонентов в анализируемом потоке газа.

В зависимости от существующих (измеряемых) компонентов в газовом потоке, имеющих разное поглощение излучения на отдельных частотах, меняется спектр частот источника излучения:

- если измеряются в газовом потоке компоненты SO_2 , NO , NO_2 , NH_3 , то используется ультрафиолетовая (УФ) спектроскопия;
- если измеряются в газовом потоке компоненты CO_2 , CO , H_2O , N_2O , то используется инфракрасная (ИК) спектроскопия;
- если измеряются в газовом потоке компоненты O_2 , NH_3 , HCl , HF , то используется лазерная спектроскопия.

РН-метры

Приборы измеряют РН: активность ионов водорода в жидкой среде. Показатель РН определяет щелочность /РН > 7/, нейтральность /РН = 7/ или кислотность /РН < 7/ анализируемой среды. Они применяются в технологических процессах ряда отраслей промышленности. Принцип действия прибора – измерение ЭДС электродной системы в анализируемой среде, которая пропорциональна активности ионов водорода.

Вискозиметры

Приборы измеряют динамическую или кинематическую вязкость анализируемого вещества. По принципу действия они подразделяются на ряд типов, среди которых:

- ультразвуковые вискозиметры. Помещенный в анализируемую жидкость магнитостриктер генерирует ультразвуковые колебания,

скорость затухания которых зависит от вязкости жидкости;

- вибрационные вискозиметры. Измеряется зависимость между изменением резонансных свойств погруженных в анализируемую среду сенсорных пластинок: одна из них колеблется с фиксированной частотой, а амплитуда второй пластинки зависит от внутренней силы трения анализируемой среды, которая определяется ее вязкостью;

- капиллярные вискозиметры. Подсчитывается время протекания жидкости заданного объема через узкую трубку при заданной разнице давлений;

- ротационные вискозиметры. Анализируемое вещество заполняет объем внутри тела вращения, а изнутри к нему прикасается вписанное в него другое тело вращения. К одному из тел вращения подается крутящий момент, оно начинает вращаться. Стабилизируется его скорость вращения и измеряется крутящий момент, который зависит от вязкости вещества, заполняющего тело вращения;

- вискозиметры с движущимся шариком. Помешенный в жидкость шарик под воздействием своего веса начинает падать. Скорость или время его падения определяется вязкостью жидкости.

5.8. Измерители энергоресурсов

Под энергоресурсами здесь понимаются все их вырабатываемые и потребляемые на предприятиях виды электро- и теплоресурсов.

Датчики электроэнергии

Приборы подразделяются на два класса:

- класс приборов, измеряющих количественные показатели электроэнергии и учет ее потребления;

- класс приборов, измеряющих качественные показатели электроэнергии.

Счетчики электроэнергии

Данный класс приборов соответствует стандарту ГОСТ Р 52320-2005 (аналог международного стандарта IEC 62052-11-2003): «Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока».

К этому классу относятся разнообразные электронные однофазные и трехфазные счетчики электроэнергии измеряющие следующие величины:

- фазные токи и напряжения,
- углы фаз токов и напряжения,
- активные, реактивные и полные мощности,
- коэффициенты мощности,
- частоту сети,
- $\cos\varphi$ по фазам.

Счетчики работают напрямую или через измерительные трансформаторы и выдают данные через цифровой канал, большей частью, по сетевому протоколу RS 485. Период обновления результатов измерения обычно 1 с. Приборы имеют память для хранения данных о потребляемой энергии за каждый заданный интервал времени (например, 15, 30, 60 минут). Распространенные классы точности приборов: 0.2 %, 0.5 % или 1.0 %.

Анализаторы качества электроэнергии

Данный класс приборов соответствует стандарту ГОСТ Р 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Показатели качества, по стандарту, подразделяются на два вида:

1. Продолжительные изменения характеристик напряжения:

- отклонения частоты электроэнергии;
- медленные изменения напряжения;
- колебания напряжения;
- несинусоидальность напряжения;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- длительность провалов напряжения;
- импульсное напряжение.

2. Случайные события:

- прерывание напряжения;
 - провалы напряжения и перенапряжения;
 - импульсные напряжения (например, в результате разрядов молний).
- Выпускаемые фирмами анализаторы качества электроэнергии фиксируют:

- коэффициент искажения синусоидальности (до 50-ти гармоник);
- отклонения частоты по трем каналам напряжения и тока;
- отклонения и колебания напряжения;
- наблюдаемые длительности и глубины провала напряжения;
- длительности временного перенапряжения;
- несимметрия трехфазной системы.

Измерители теплоресурсов

Основные измерители могут быть подразделены на два класса:

- определители количества тепловой энергии, в проходящем по трубопроводу в единицу времени теплоносителе: воде, конденсату, паре разного вида: сухому, влажному, насыщенному;
- измерители теплотворной способности горючих теплоносителей.

Теплосчетчики

Данный класс приборов соответствует стандартам ГОСТ Р EN-1434-

2006 и ГОСТ Р 51649-2000 для водяных систем теплоснабжения.

Теплосчетчики или тепловычислители определяют расходуемую в единицу времени теплоносителем тепловую энергию на основе измерения его массы и разности его температур в подающем участке трубопровода и отводящем (обратном) участке трубопровода. Измерение массы реализуется либо массовым расходомером, либо ее вычислением по измеряемым данным объемного расхода и плотности теплоносителя, а его температуры фиксируются термометрами сопротивления.

Все узлы учета тепловой энергии, обозначаемые именем «Тепловычислители» состоят из следующих вариантов средств:

- единых микропроцессорных приборов с сенсорами массы (или объема и плотности) и температуры;
- специализированных контроллеров-вычислителей с отдельными датчиками массы (или объема и плотности) и температуры;
- универсальных контроллеров, оснащенных типовыми программами учета количества тепловой энергии, и связанных с ними отдельных датчиков массы (или объема и плотности) и температуры.

Расчет тепловой энергии и количества пропущенного через нагреваемый объект теплоносителя (воды или пара) за заданные интервалы времени производится по стандартным методикам, описанных в ряде документов: ГОСТ Р 51649-2000 «Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения. Общие технические требования», ГОСТ Р EN-1434-2006 «Теплосчетчики», МИ 2451-98 ГСИ «Паровые системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии», МИ 2412-97 «Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя» и др.

В тепловычислители, кроме стандартных вычислительных формул расчета тепловой энергии, обычно включены программы контроля и диагностики основных видов нарушений в работе узлов учета:

- обрывов связи сенсоров с преобразователем и датчиков с контроллером;
- неисправности отдельных датчиков, выявляемые выходом их результирующих значений за пределы возможного диапазона изменений измеряемых величин, а также выходом скорости изменений результирующих значений за достоверный для измеряемых величин диапазон.

Выходными данными тепловычислителя являются:

- подсчитанные нарастающим итогом текущие учетные значения тепловой энергии за 30 минут, за 1 час, за смену, за сутки и за месяц;
- среднечасовой расход ресурса;
- среднечасовая температура ресурса;
- общее время простоя каждого датчика узла учета за сутки и месяц

(при нештатных ситуациях).

Измерители теплотворной способности горючих теплоносителей

Расчет тепловой энергии и количества теплоносителя в горючих газах, жидкостях, твердых веществах требует знания их теплотворной способности.

Теплотворной способностью горючих теплоносителей обозначается количество тепла, которое получается от единицы теплоносителя. Типовым способом оценки теплотворной способности является сжигание некоторого количества горючего теплоносителя в определенных условиях (в так называемой калориметрической бомбе) и измерения его теплоты сгорания.

Существует несколько способов поточного измерения теплотворной способности горючих газов:

- газовый хроматограф определяет компонентный состав газа, а по известной теплотворной способности составляющих его компонентов рассчитывается общая теплотворная способность анализируемого газа;

- акустический анализатор измеряет скорость звука в газе, которая зависит от молекулярного веса составляющих его компонентов; последняя по известной зависимости пересчитывается в теплотворную способность, если в газе отсутствуют негорючие компоненты: углекислый газ, азот, сероводород. При наличии этих компонентов требуется специальными газоанализаторами установить их содержание в газе и уже с его учетом оценить искомую теплотворную способность.

5.9. Датчики и измерительные комплексы текущего состояния оборудования

Ниже перечисляются достаточно широко используемые способы оперативной оценки текущего состояния оборудования различных классов, которые реализуются датчиками отдельных показателей оборудования.

Естественно, что износ и текущее состояние единиц оборудования разных классов определяется измерением разных его показателей. Так, например:

- состояние любого вращающегося оборудования (например, двигателей, насосов, компрессоров) характеризуется его вибрацией (виброперемещениями, виброскоростью, виброускорением, пиковыми значениями вибраций) и температурой его подшипников;

- состояние турбины фиксируется давлением и температурой масла или охлаждающей жидкости, виброскоростью и числом ее оборотов;

- состояние шаровой мельницы анализируется составом акустического спектра создаваемого ею шума;

- состояние трансформатора зависит от уровня масла, его температуры, сопротивления изоляции;

- состояние футеровки печей разного типа оценивается измерением температурного поля их обичайки (поверхности кожуха печи);

- состояние металлических резервуаров и труб характеризуется выявлением и развитием локальной и общей коррозии;

- состояния различных перемещающихся механизмов оцениваются изменением расстояния между их отдельными деталями, осевым сдвигом, угловыми перемещениями, люфтом, величиной гистерезиса.

Сейчас имеются разнообразные типы датчиков оценки всех этих и многих других показателей состояния оборудования. Подавляющее большинство этих показателей не определяют конкретно деталь или узел, ответственные за отклонение от нормальной работы данной единицы оборудования, а являются косвенными характеристиками ее износа.

Также косвенными оценками текущего состояния многих классов оборудования являются автоматически определяемые изменения во времени оперативных показателей их работы; например таких, как изменения во времени коэффициента полезного действия, производительности, мощности, расхода энергоресурсов и т. п. величин.

Для отдельных типов оборудования (например, компрессоров) измерительной системой их состояния может оказаться математическая модель их работы: зависимость выходных величин оборудования от его входных потоков и заданного режима работы. Она имитирует работу данной единицы оборудования при нормальном состоянии ее узлов и деталей, а. возникающая в процессе эксплуатации разница между выходными величинами модели и оборудования характеризует степень нарушения его нормального состояния.

Ряд классов оборудования (в том числе многие средства автоматизации) имеют встроенные элементы самодиагностики, работающие в реальном масштабе времени, которые оперативно сигнализируют о приближении данной единицы оборудования к нештатному состоянию. Так, современные датчики могут оперативно информировать о смещении нуля прибора, о потере точности, о неисправности преобразователя, о разрыве цепи измерения.

Все более расширяется выпуск оборудования с уже встроенными в него датчиками для оценки его текущего состояния. Этому способствует появившиеся недавно усовершенствования датчиков, облегчающие и удешевляющие их установку в оборудование и связь с оператором: миниатюризация датчиков, сокращение стоимости встроенных в них микропроцессоров, оснащение их радиомодемами и антеннами для

их беспроводной связи с системой автоматизации. Естественно, что приобретение такого оборудования непосредственно решает задачу наблюдения за его состоянием.

Следует отметить, что для придания измеряемым величинам необходимой информативности, т.е. превращения их в показатели текущего состояния оборудования, они должны подвергнуться определенной программной обработке. Наиболее частой обработкой является:

- предварительная фильтрация измеряемой величины от высокочастотных помех, если показателем текущего состояния оборудования выступает само значение измеряемой величины;

- усреднение измеряемой величины за определенное время, если показателем текущего состояния оборудования считается среднее значение измеряемой величины;

- оценка дисперсии измеряемой величины за определенный интервал времени, если показателем текущего состояния оборудования считается дисперсия случайных колебаний измеряемой величины.

В ряде случаев показателями текущего состояния оборудования являются не сами указанные выше характеристики, а разности текущих и полученных в определенный прошлый момент времени аналогичных характеристик.

Следует подчеркнуть, что здесь под изменением любого показателя состояния оборудования во времени понимается изменение значений этого показателя не по календарному времени, а по времени наработки соответствующей единицы оборудования.

Ниже рассматриваются несколько из перечисленных выше перспективных измерителей текущего состояния оборудования.

Измеритель волн напряжения вращающегося оборудования

Технология анализатора волн напряжения (Stress Wave Technology) основана на обработке показателей ультразвуковых колебаний в диапазоне 30-40 кГц, которые порождаются при трении движущихся частей механизма. Волны напряжения (ультразвуковые импульсы давления) всегда существуют в движущихся частях механизма и при полном отсутствии дефектов, и при их развитии, и при его работе в состоянии, близком к полному отказу; однако они различаются уровнем энергии, формами волн напряжения, спектральным составом волн, их стабильностью во времени. При помощи мониторинга волн напряжений определяется наличие условий напряжения в объекте наблюдения до того, как они перерастут в фактический (реальный) дефект. Трение на объекте будет возрастать с ростом износа, при этом развиваются первичные стадии возникновения неисправностей.

На таких первичных стадиях происходит увеличение энергии волн напряжений и изменение ряда их характеристик, и эти изменения будут усиливаться по мере развития дефектов. При распространении износа, кроме волн напряжения, начинаются вибрации движущихся элементов и всего механизма; они наблюдаются в частотном диапазоне от нескольких до десятка кГц. Для мониторинга состояния механизма в начальной стадии износа (еще до возникновения существенных вибраций) необходимо отделить наблюдаемое увеличение энергии волн напряжения, возникающее от износа механизма, от причин увеличения энергии волн, связанных с изменением режима работы механизма; например, с увеличением его нагрузки или повышением скорости, что должно фиксироваться соответствующими датчиками оценки режима работы анализируемого механизма.

На более поздней стадии, когда объект достигает конца срока службы, происходит увеличение (рост) неисправности и энергия волн напряжений становится нестабильной.

Измерителем волн напряжения является пьезодатчики специальной конструкции, работающие в диапазоне 30-40 кГц, установленные непосредственно на поверхности механизма и реагирующие на высокочастотные колебания. Пьезодатчики монтируются в компрессор, насос, двигатель или любое другое вращающееся оборудование. Сигналы пьезодатчиков проходят через фильтр, выделяющий энергию в полосе частот 30-40 кГц (убирающий энергию возможной вибрации) и далее в вычислительном преобразователе по энергии импульсов волн напряжения производится расчет средней энергии волн напряжения и ее пиковых значений. Тенденция изменений этих показателей во времени, при учете работы механизма в разных режимах, позволяет судить о развитии ранних стадий износа механизма.

Следует отметить также, что поскольку энергия волн напряжения повышается с увеличением нагрузки движущегося механизма, на способе анализа энергии волн напряжения может быть также основано нормативное ограничение его нагрузки.

Анализаторы коррозии резервуаров и труб

Коррозия является следствием электрохимических процессов, возникающих при соприкосновении металла с электропроводящей средой (кислотным раствором). Измерение коррозионной активности среды в металлических трубах и резервуарах позволяет отслеживать общие потери металла (утончение стенок) и частные коррозионные дефекты в отдельных местах оболочек. Есть разные по принципу действия коррозионные датчики, которые в режиме реального времени определяют интенсивность общей и точечной коррозии

металла. Часть датчиков измеряет изменения во времени толщины оболочки контролируемого объекта, другая часть датчиков оценивает коррозионную активность среды по отношению к металлу оболочки контролируемого объекта. Некоторые примеры конкретных типов датчиков приведены ниже.

1. Датчик измерения тенденции изменения во времени электрического сопротивления металла оболочки контролируемого объекта. Сенсором датчика является тонкостенный стержень из контролируемого металла, помещенный в исследуемую среду. Периодически, с заданным циклом, датчик измеряет электрическое сопротивление сенсора. Из-за непрерывно протекающей коррозии происходит потеря металла сенсора и изменяется его сопротивление. Сопоставление текущего значения сопротивления сенсора с начальным значением сопротивления при его установке в исследуемую среду является мерой коррозии сенсора и, следовательно, мерой коррозии оболочки среды, которая фиксируется датчиком.

2. Датчик оценки точечной коррозии металла вблизи его установки. Сенсор измеряет электрохимический шум: спонтанные флуктуации, возникающие в коррозионном слое между металлом и средой. Их интенсивность возрастает при наличии и развитии локальной коррозии, что и оценивает датчик.

3. Датчик измерения интенсивности коррозии. Сенсор представляет собою три измерительных электрода из контролируемого металла, помещенных в исследуемую среду. Один из электродов играет роль образца, а на два других подается низкое напряжение и измеряется возникающий между ними ток, являющийся следствием коррозионного процесса. При высокой интенсивности коррозии ионы металла электродов легко переходят в окружающую их среду, что вызывает значительный ток между ними; при низкой интенсивности коррозии ток становится незначительным. Таким образом, значение тока пропорционально интенсивности коррозии, которая фиксируется выходным значением датчика.

5.10. Датчики безопасности

Под датчиками безопасности понимаются датчики, сигнализирующие о ситуациях в производственных помещениях и на открытом воздухе, а также в потенциально взрывоопасной атмосфере, требующих немедленного вмешательства производственного персонала.

Достаточно обширный класс стационарных и переносных газоанализаторов оценивает содержание токсичных, горючих и взрывоопасных газов в окружающей среде и сигнализирует о

превышении предельно допустимых концентраций токсичных и горючих газов и концентраций взрывоопасных газов, превышающих нижний порог взрываемости.

Широко распространены электрохимические, каталитические, инфракрасные, термокаталитические и фотоионизационные датчики, детекторы пламени.

Отметим один из стационарных датчиков анализа широкого набора токсичных и взрывоопасных газов в окружающей среде - спектрофотометрический лазерный анализатор, измеряющий поглощение инфракрасного излучения при его распространении от излучателя до отражателя и обратно с поворотом луча излучения на 360 градусов для обследования всех направлений окружающей прибор среды. Результирующее поглощение излучения зависит от состава среды и прибор настраивается на оценку определенных компонентов взрывоопасных и токсичных газов, которые могут содержаться в данной анализируемой среде.

Важным датчиком безопасности работы котлов и печей является прибор контроля пламени горелки, который преобразует световое излучение факела горелки в электрический сигнал и определяет момент погасания пламени (фиксирует наличие или отсутствие факела). Для того, чтобы сигнал датчика четко реагировал на пламя определенной горелки и не зависел от других рядом расположенных горелок он должен иметь достаточно узкий угол зрения. Сенсором такого датчика может являться полупроводниковый фотодатчик, определяющий интенсивность свечения и настраиваемый на разные виды топлива и на различные условия его горения.

Глава 6. Исполнительные комплексы

Командные сигналы на реализацию определенного управляющего воздействия в АСУТП поступают от контроллера или оператора на исполнительный комплекс, состоящий из исполнительного механизма и регулирующего органа. Исполнительный механизм преобразует поступившую команду в силовое воздействие, которое передается на регулирующий орган. В литературе исполнительный механизм часто обозначается термином «Позиционер». Под этим термином понимается или любой преобразователь команды управления в усилие привода, или более узко как электропневматический исполнительный механизм, т.е. электрический исполнительный механизм, оснащенный электропневматическим преобразователем. Регулирующим органом называется средство, которое непосредственно изменением материального или энергетического потока производит заданное

управляющее воздействие. Зачастую исполнительный механизм и регулирующий орган в виде клапана обозначают термином «Арматура».

Исполнительные механизмы обычно являются компонентами АСУТП, в то время как регулирующие органы в зависимости от типа оборудования производственного объекта могут входить как в состав АСУТП, так и в состав оборудования объекта.

6.1. Классификация исполнительных комплексов

Исполнительными механизмами являются электрические, гидравлические, пневматические и смешанные (электропневматические, электрогидравлические и пневмогидравлические) силовые устройства, изменяющие положения или скорости регулирующих органов. По виду результирующего воздействия исполнительные механизмы подразделяются на вращательные и на прямоходные (в последнем случае, обычно, они имеют механический преобразователь вращательного движения в возвратно-поступательное).

Регулирующими органами, в зависимости от типа и свойств регулируемого потока, являются различные дросселирующие и дозирующие устройства. К дросселирующим устройствам, которые изменяют сопротивление в подающем материальный или энергетический поток, относятся краны, задвижки, клапаны трубопроводов жидких и газообразных потоков, заслонки и задвижки тарельчатых питателей и конвейеров для кусковых материалов и т. п.. К дозирующим устройствам, которые изменяют подачу материала или энергии путем изменения производительности определенных средств, относятся транспортеры и конвейеры для кусковых материалов, насосы и компрессоры для жидкостей и газов, различного типа питатели для сыпучих веществ и т. п..

Рассматриваемые ниже современные исполнительные механизмы не только по прямой связи преобразуют команды в воздействия на регулирующие органы, но имеют обратную связь для передачи данных в вышестоящую систему управления (в вырабатывающий команды контроллер) и информирования оператора о всех перемещениях, состояниях и событиях, связанных с текущим исполнением выданных исполнителю команд.

Электрическими исполнительными механизмами являются электродвигатели (электропривода) и электромагнитные устройства, работающие, обычно, на базе электромагнитов и электромагнитных муфт. Электродвигателями постоянного тока являются коллекторные и бесконтактные двигатели, электродвигателями переменного тока являются асинхронные и синхронные двигатели. Отдельным классом

синхронных двигателей малой мощности являются шаговые двигатели, которые преобразуют команду, заданную в виде серии импульсов, в соответствующий угол поворота вала.

Под пневматическими исполнительными механизмами понимают устройства, изменяющие положение мембраны, штока или поршня давлением сжатого воздуха.

Гидравлические исполнительные механизмы энергией жидкости под давлением перемещают мембрану или поршень в цилиндре. Это перемещение преобразуется с помощью шатуна и кривошипа в угол поворота выходного вала. Гидравлические исполнительные механизмы обладают большой мощностью и высоким быстродействием; часть из них имеет гидромфту.

Все виды исполнительных механизмов воздействуют на скорость или положение регулирующих органов. В последнем случае они подразделяются на вращательные (неполнооборотные, однооборотные и многооборотные) и прямоходные (возвратно-поступательные). Следует отделить также управляемый заданной программой исполнительный механизм от следящего исполнительного механизма, который перемещает регулирующий орган по произвольно меняющемуся входному сигналу, и от позиционного исполнительного механизма, который работает только на два положения регулирующего органа: открытие и закрытие.

При поставке оборудования технологических агрегатов нередко случаи комплектно поставляемых и уже конструктивно взаимосвязанных исполнительных механизмов с регулирующими органами (например, комплект: электропривод – насос).

Последние годы все более широкое распространение получают электрические исполнительные механизмы и, соответственно, сокращается использование пневматических и гидравлических исполнительных механизмов.

6.2. Основные типы исполнительных механизмов

Ниже кратко рассмотрены наиболее распространенные варианты исполнительных механизмов.

Асинхронный электропривод

Трехфазные асинхронные двигатели и однофазные асинхронные микродвигатели являются широко применяемыми исполнительными механизмами из-за их сравнительной дешевизны, высокой надежности, отсутствия щеточных коммутаторов, простоты конструкции.

Если двигатель соединен с насосом или компрессором, дозирующим

расход жидкого или газообразного потока, то изменение расхода связано с изменением скорости двигателя. Асинхронные двигатели имеют постоянную скорость вращения, но в последние годы к ним присоединяют полупроводниковые преобразователи частоты напряжения, с которыми они становятся электроприводами с плавно регулируемой в широких пределах скоростью. Преобразователи частоты в настоящее время охватывают широкий диапазон мощности асинхронных двигателей от долей кВт до сотен кВт. Большей частью преобразователи частоты имеют следующую структуру: переменное напряжение питающей сети выпрямляется, фильтруется, подается на инвертор, который преобразует постоянное напряжение в переменное с регулируемой управляющим воздействием частотой. В этом случае управляющая команда на исполнительный механизм задает скорость вращения двигателя.

Если двигатель соединен с задвижкой или клапаном, дросселирующим расход материального потока, то изменение расхода определяется изменением положения дросселирующего органа. В этом случае асинхронный двигатель непосредственно или через червячную передачу передвигает дросселирующий орган до положения, соответствующего заданному управляющему сигналу. При этом электропривод может быть неполнооборотным, когда угол его поворота порядка 90° , а время поворота до десятка секунд; однооборотным, когда угол его поворота 360° ; многооборотным, когда он совершает сотни и более оборотов в минуту. Отключение привода при этом производится при достижении дросселирующего органа заданного положения.

Обратная связь от электропривода к контроллеру позволяет фиксировать любые нарушения в работе преобразователя частоты и двигателя.

Электропривод постоянного тока

Двигатели постоянного тока любой мощности имеют широкий диапазон изменения скорости и высокое быстродействие. Наиболее распространены коллекторные двигатели постоянного тока, т. е. двигатели с механическим коммутатором. Регулирование скорости двигателя обычно реализуется изменением напряжения на обмотке ротора двигателя. Однако использование коллектора ограничивает частоту вращения двигателя. Существуют бесколлекторные двигатели постоянного тока, у которых ротор выполнен в виде постоянного магнита, а коммутация реализуется электронным переключением токов статора. В микродвигателях постоянного тока получил широкое распространение широтно-импульсный способ управления: к двигателю подводятся импульсы неизменного по амплитуде напряжения, в результате чего его поведение во времени состоит из чередующихся

периодов разгона и торможения. Скорость двигателя растет при увеличении продолжительности импульсов. Широтно-импульсные преобразователи выполняются на тиристорах и питаются от сети постоянного тока. Правильность работы электропривода определяется путем введения обратной связи от датчиков, контролирующих его функционирование.

Шаговый двигатель

Синхронные шаговые двигатели (обычно микродвигатели) преобразуют команду, заданную в виде последовательности импульсов, в фиксированный угол поворота вала. Каждый входной импульс вызывает определенное изменение угла поворота ротора двигателя. Шаговые двигатели работают совместно с полупроводниковыми коммутаторами, которые переключают обмотки управления двигателя с последовательностью и частотой, которые задаются управляющим воздействием. Шаговые двигатели подразделяются на вращательные и линейные; последние преобразуют импульсную команду непосредственно в линейное перемещение. Преимущества шаговых двигателей заключаются в высокой точности управления (при точном соответствии числа управляющих импульсов и изменения положения ротора двигателя) и отсутствия механических коммутаторов. Однако у них меньше, чем у двигателей непрерывного типа, вращающий момент и скорость отработки управляющей команды. Кроме того, при работе шагового двигателя в определенных режимах возможен пропуск двигателем отдельных управляющих импульсов, что сказывается на точности реализации заданного перемещения. Компенсировать этот недостаток призвана обратная связь, которая позволяет контроллеру компенсировать полученную ошибку. Шаговые двигатели получили широкое распространение в качестве следящих исполнительных механизмов.

Электромагнитный исполнительный механизм

Тяговые электромагниты постоянного и переменного тока совершают возвратно-поступательные перемещения на маленькие расстояния и с значительным усилием, что позволяет им перемещать в конечные положения регулирующие органы типа выключателей, заслонок, клапанов. При подаче тока якорь электромагнита переместится к магнитопроводу, а при его отсутствии возвратная пружина вернет его на прежнее место. Поскольку якорь связан с регулирующим органом, то его движение переводит регулирующий орган в крайние положения.

Позиционер

В узком смысле термин «Позиционер» применяется не к любому исполнительному механизму, а к комплекту, состоящему из электродвигателя и привода. Электродвигатель изменяет степень

открытия пневматического привода, а он управляет положением поворотного или линейного клапана. Командное воздействие на позиционер указывает необходимое положение клапана, а пневматический привод реализует это положение.

Обратную связь выполнения управляющих воздействий реализуют следующие датчики: датчик текущего положения штока привода и клапана, датчик давления воздуха в пневмоприводе, датчик силы трения на протяжении хода клапана, датчик перепада давления на клапане, фиксаторы конечных положений клапана.

Аналогичным по составу и реализуемым функциям является позиционер, состоящий из электродвигателя и гидравлического привода

Рядом фирм выпускается единая конструкция, объединяющая позиционер с клапаном.

6.3. Основные типы регулирующих органов

Дросселирующие регулирующие органы

Варианты дросселирующих регулирующих органов ниже рассмотрены на примере клапанов, как наиболее широко используемых для изменения объема и массы передачи жидких и газообразных потоков в объектах управления. Применяемые для сыпучих и кусковых материалов заслонки и задвижки тарельчатых питателей и конвейеров по основным, важным для пользователей классам и характеристикам мало отличаются от клапанов.

Клапаны обычно классифицируются по различным признакам.

Классификация клапанов по занимаемым ими положениям. Клапаны подразделяются на запорные (отсечные), имеющие два состояния «открыто/закрыто», и регулирующие, которые могут занимать любые состояния между полным закрытием и полным открытием. Примерное соотношение этих клапанов на предприятиях: 15-20% составляют регулирующие клапаны, остальное – запорные клапаны.

Классификация запорных клапанов по начальному состоянию. Запорными клапанами большей частью являются электромагнитные: клапаны, которые при подаче напряжения на электромагнит переходят в состояние «открыто/закрыто». Они разделяются на два типа:

- запорные, нормально закрытые при отсутствии исполнительного воздействия клапаны. Срабатывание клапанов при подаче воздействия на них происходит обычно в течение 1 сек;

- запорные, нормально открытые при отсутствии исполнительного воздействия клапаны, имеющие ту же скорость срабатывания;

Классификация клапанов по способу действия. Данная классификация клапанов подразделяет их по особенностям построения и формам

дросселирования:

- регулирующие клапаны, снабженные концевыми выключателями, с близкой к линейной характеристике регулирования жидкости, газа, пара;

- отсечные клапаны с встроенным электромагнитным приводом;

- запорные клапаны прямого действия (открытие/ закрытие) за счет энергии электромагнитного привода;

- пилотные клапаны, у которых есть вспомогательный затвор, открывающий/закрывающий клапан за счет перепада давления между входом и выходом клапана;

- двухпроходные клапаны, которые представляют собою два нормально закрытых клапана с разными проходами. Они управляются отдельными электромагнитными приводами. Суммарный пропускаемый ими поток изменяется подачей соответствующего воздействия на первый или второй клапан, или на оба клапана. Клапаны могут быть как отсечными, так и регулирующими.

Классификация клапанов по использованию на производстве. По месту установки на производстве можно выделить отдельные классы клапанов:

- наиболее распространенный вариант - клапаны, используемые для подачи жидких и газообразных продуктов в технологические установки и резервуары;

- клапаны, передающие сырьевые продукты с высокой степенью загрязнения и требующие более внимательного контроля их положения,

- дренажные клапаны, в которых (также как в клапанах сырьевых продуктов) достаточно часто могут происходить заклинивания;

- уровневые клапаны, сливающие продукт по его превышению определенного уровня, требующие особого внимания к их текущему положению;

- клапаны, открываемые для взятия из резервуара или трубопровода технологической пробы продукта, требующие контроля по моменту и интервалу времени их открытия;

- предохранительные клапаны, выпускающие жидкость или газ в окружающую среду при их предаварийном состоянии (например, закипанием жидкости или резким повышением давления газа в резервуаре), нуждающиеся в сигнализации о возникновении предаварийной ситуации и об открытии клапана.

Основные характеристики клапанов:

- зона нечувствительности. В двухпроходных клапанах часто один большой клапан грубо обеспечивает заданный расход, а параллельно установленный малый клапан с необходимой чувствительностью

доводит заданный расход до необходимой точности;

- линейность по прямоходному и поворотному ходу. Преимущественно важен профиль клапана, который обеспечивает линейную (или близкую к линейной) зависимость между степенью открытия клапана и расходом управляемого им потока. При близкой к линейной зависимости в цепи: клапан, управляемый процесс, датчик - качество управления заметно улучшается. В ряде случаев предпочтительней может оказаться не линейная, а равнопроцентная пропускная характеристика;

- гистерезис. Распространенный недостаток клапанов заключается в прилипании клапана вблизи его конечных положений. Существуют специальные устройства управления клапаном с большим коэффициентом усиления, которые помогают точно позиционировать заданное положение клапана в любом его положении и, тем самым, снизить гистерезис;

- воспроизводимость. Повышение воспроизводимости работы клапана существенно определяется мерами, призванными уменьшить и исключить образование люфтов,

- рабочие условия функционирования выпускаемых клапанов формируются для различных свойств производственной среды. Они учитывают необходимость взрывозащиты, искробезопасности, защиту от высоких температур и влажности.

Дросселирующие устройства не могут резервироваться; в то же время они достаточно сильно подвержены износу, отложениям в проточной части, недостаточно полному закрытию. Ввиду этого большое значение имеет текущее наблюдение за их работой, хранение в микропроцессоре исполнительного механизма (например, в микропроцессоре позиционера) характеристик работы за разные отрезки времени, сопоставление их рабочих характеристик с аналогичными характеристиками в прошлые интервалы времени, своевременная диагностика их работы. В частности, важна реализация следующего оперативного наблюдения за работой клапанов всех видов:

- учет циклов работы запорных клапанов с момента их последнего обслуживания;

- контроль текущего положения регулирующих клапанов;

- проверка времени полного хода дросселирующего устройства;

- контроль полноты срабатывания клапана на конечных позициях;

- проведение тестового анализа работы дросселирующего устройства, находящегося в рабочем режиме, путем подачи на него малых воздействий (порядка 0.1% от полного хода) вблизи текущего его положения; что позволяет оценить его текущую работоспособность.

Для более точного определения момента времени проведения тестового анализа, необходимого планово-предупредительного или текущего ремонта дросселирующего устройства целесообразно в микропроцессоре исполнительного комплекса накапливать информацию по числу отработанных циклов дросселирующего устройства, по общему времени его нахождения в конечных положениях, по его суммарному ходу со времени последнего ремонта.

При выборе регулирующего клапана для конкретного объекта следует внимательно обосновать его требуемые характеристики, чтобы предотвратить его не рациональную, а иногда и невозможную эксплуатацию. Наиболее рациональным является выбор размера клапана, у которого при почти всех режимах работы объекта диапазон открытия клапана лежал бы в пределах 30-60% от его полностью открытого положения. Если клапан завышен по размеру, то он будет работать в положениях вблизи полного закрытия. Если клапан занижен по размеру, то он может не пропустить требуемый объем проходящего потока.

Дозирующие регулирующие органы

Дозирующие регулирующие органы могут подразделяться по числу дозируемых потоков: дозирование одного или нескольких потоков газа, жидкости, сыпучих, кусковых материалов. При одновременном дозировании нескольких дозируемых потоков они, обычно, реализуют заданное соотношение дозируемых компонентов. Есть дозирующие регулирующие органы, реализующие расход материальных потоков в заданной временной или логической последовательности (программные дозаторы). Дозирующие органы непрерывного действия поставляют в объект заданную дозу продукта непрерывно во времени. Дозирующие органы циклического действия поставляют в объект заданные по весу или объему порции продукта.

Во всех дозирующих органах непрерывного действия изменение подаваемого в объект продукта реализуется изменением скорости работы дозирующего органа. Заданный контроллером расход продукта пересчитывается микропроцессором исполнительного механизма в скорость дозирующего органа и поддерживается на нужном уровне, например, асинхронным электродвигателем с частотным преобразователем, который управляет скоростью вращения или движения этого дозирующего органа.

Выделяются следующие виды непрерывных дозирующих органов.

Насосы и компрессоры для газообразных и жидких потоков. Они большей частью дозируют объем подаваемого в объект потока, задавая скорость дозирующего органа по показаниям объемного расходомера. Поскольку подаваемый объем зависит от температуры потока, а для

газов еще и от их давления, то точность дозирования по заданному объемному расходу, выполняемая согласно показаниям объемного расходомера без учета значений температуры и давления потока, не может быть высокой. Существенно точнее можно дозировать либо объем потока, приведенный к нормированным условиям по температуре и давлению; либо массу подаваемого потока. Для этого следует использовать либо пересчет текущего объемного расхода к его нормированному виду, либо применять массовые расходомеры, либо пересчитывать измеряемый объемный расход в массу с учетом температуры и плотности дозируемого потока;

Конвейеры, транспортеры, подающие шнеки и разнообразные по конструкции питатели для сыпучих и кусковых материалов.

Они большей частью дозируют массу или вес подаваемого в объект материала. В последнем случае дозируемый материал проходит через весоизмерительное устройство (например, весоизмерительный транспортер, лоток на тензометрическом датчике или платформенные весы) и по значениям его измерений устанавливается скорость дозирующего органа. При этом толщина слоя материала на питателе или транспортирующей ленте, естественно, должна быть постоянной.

Широкое применение имеют дозирующие органы циклического действия. Они формируют заданные по объему, массе или весу дозы продукта и выдают последовательно отмеренные дозы в принимающую систему. Преимущественно дозаторы жидкости работают по задаваемому объему порции, дозаторы сыпучих материалов – по задаваемому весу порции, дозаторы кусковых материалов – по задаваемой массе порции.

6.4. Свойства современных исполнительных комплексов

Современное поколение исполнительных механизмов и регулирующих органов обладает рядом свойств, значительно совершенствующих их работу.

В первую очередь следует подчеркнуть внедрение в них элементов обратной связи, которая позволяет определять текущее состояние исполнительного механизма и положение дросселирующего регулирующего органа или скорость дозирующего регулирующего органа. Для этого исполнительный механизм комплектуется датчиками перемещения и скорости, а дросселирующий регулирующий орган датчиками положения и указателями достижения конечных значений (полностью открыто и полностью закрыто). Встроенный в исполнительный механизм универсальный микропроцессор обрабатывает сигналы датчиков и передает их по сети в вышестоящее средство системы управления (обычно, в контроллер). Последнее время

стала распространяться беспроводная связь между исполнительным механизмом и контроллером.

Прикладное программное обеспечение микропроцессора исполнительного механизма может быть расширено для выполнение ряда добавочных функций:

- самодиагностики исполнительного механизма и регулирующего органа (в частности, сигнализации об отсутствии фазы у исполнительного механизма, об отклонении установленного положения или скорости регулирующего органа от заданного управляющей командой значения);

- перевода регулирующего органа в безопасное положение при определяемых микропроцессором нештатных ситуациях,

- реализации различных задаваемых законов перемещения регулирующего органа,

- выполнения функций ПИД регулятора при подаче на микропроцессор исполнительного механизма выходного сигнала соответствующего датчика и т. п..

При построении современных электрических исполнительных механизмов все шире используется их сборка из типовых вариантов модулей. Так сборка исполнительного механизма для его работы с дросселирующим регулирующим органом состоит из следующих компонентов:

- универсального микропроцессора,

- силового преобразователя команды в источник электрической энергии,

- преобразователя частоты для асинхронных двигателей, работающих с дозирующими регулирующими органами;

- двигателя, преобразующего электрическую энергию в механическую,

- редуктора или муфты для соединения вала двигателя с регулирующим органом,

- датчиков текущего состояния компонентов исполнительного механизма.

Следует отметить усовершенствования в конструкциях и структуре современных исполнительных механизмов, которые приобретают новые качества:

- высокие скорости перемещения регулирующих органов,

- более точно соответствующие командам перемещения или скорости регулирующих органов,

- уменьшение масс и габаритов исполнительных механизмов,

- повышение надежности их работы.

Особенности поведения и качества совместной работы конкретных вариантов исполнительного механизма и регулирующего органа фиксируются рядом характеристик. Так, при соединении электропривода или позиционера с регулирующим органом (например, с клапаном) должны быть указаны следующие основные характеристики конкретного комплекта:

- зона нечувствительности комплекта;
- воспроизводимость воздействий в % от шкалы хода органа;
- гистерезис органа в % от шкалы его хода;
- линейность или равнопроцентность зависимости изменения расхода управляемого потока от хода органа.

Прямая и обратная связь исполнительного механизма с контроллером или сервером, передающим ему управляющие команды, реализуется в большинстве случаев проводными и беспроводными промышленными сетями по типовым протоколам Profibus DP и PA, Foundation Fieldbus H1, Modbus, HART-протокол и т. п..

Раздел III.

Средства автоматизации промышленного уровня (Промышленные контроллеры)

Общие положения

Основной компонент любого современного АСУТП – промышленный, микропроцессорный контроллер. В литературе также используется термин «Программируемый логический контроллер» или сокращенно «ПЛК». Десятки отечественных и зарубежных производителей предлагают свои контроллеры на российском рынке. При этом рынок контроллеров изменяется и модифицируется параллельно с развитием микропроцессоров: через каждые несколько лет обновляются варианты контроллеров ведущих производителей, на рынке появляются все новые типы контроллеров, устаревают и перестают производиться еще недавно широко распространяемые варианты и модификации контроллеров. Основное направление развития – повышение мощности, быстродействия, различных видов памяти, открытости, надежности контроллеров. Это приводит к возможности реализации в них все более объемных и сложных программ, а, следовательно, к все более полной и совершенной автоматизации технологических процессов.

Любой потенциальный заказчик микропроцессорных контроллеров стоит перед нелегким выбором, поскольку из всего многообразия имеющихся на рынке предложений он должен выбрать такой контроллер (или такой комплект контроллеров), который удовлетворяет следующим требованиям:

- точно соответствует конкретным техническим требованиям,
- является достаточно современным и перспективным,
- имеет достаточно устоявшуюся репутацию по надежности, открытости, защищенности от промышленных помех,
- и, в тоже время, по стоимости не превосходит цен на контроллеры такого же класса других производителей.

Чтобы ориентироваться в разнообразии предлагаемой продукции, объединенной общим названием «микропроцессорные контроллеры» следует знать их классификационные подразделения, достаточно хорошо разбираться в отличиях и важных для потребителей характеристиках и особенностях отдельных классов контроллеров, учитывать при выборе средств автоматизации для конкретных объектов рациональные области использования разных классов контроллеров. Важным является анализ программного обеспечения контроллеров, поскольку это существенно влияет на сложность разработки реализуемых в них алгоритмов контроля и управления конкретным объектом.

В данном разделе выделяются и описываются все те показатели и характеристики технических и программных свойств отдельных классов микропроцессорных промышленных контроллеров, которые должны позволить потенциальным заказчикам контроллеров грамотно ориентироваться на рынке продукции рассматриваемого вида.

Глава 7. Виды промышленных контроллеров

Название «Промышленный, микропроцессорный контроллер» объединяет разнообразные универсальные и специализированные микропроцессорные средства контроля и управления, ориентированные на использование в производственных условиях. В последние годы основное развитие промышленных контроллеров основывалось на вновь появляющихся возможностях используемых в них микропроцессоров, на широкой международной стандартизации отдельных программных и технических компонентов контроллеров, на все увеличивающихся и усложняющихся запросах предприятий к более полной и совершенной автоматизации производства.

Существующее в настоящее время огромное разнообразие типов промышленных контроллеров можно упорядочить их классификацией по признакам, определяющим их отдельные, важные для заказчиков свойства. Выделение для каждого контроллера его классификационных особенностей фактически указывает его место среди множества прочих типов контроллеров, обозначает его отличия от них и выделяет группы контроллеров разных производителей, совпадающих по большинству классифицируемых признаков.

7.1. Варианты контроллеров по их основным показателям

Варианты мощности контроллеров

Под этим обобщенным наименованием интегрируются вычислительная мощность, быстродействие, объемы разных видов памяти центрального процессора контроллера. Обычно приближенным показателем, косвенно характеризующим функциональные возможности контроллера и, одновременно, являющимся одним из важнейших его характеристик, является максимальное число его входных/выходных каналов, так называемых «входов/выходов» (как аналоговых, так и дискретных), которые могут быть подсоединены к центральному процессору контроллера. По этому показателю контроллеры подразделяются на ряд классов, часто обозначаемых следующими терминами:

- наноконтроллеры, имеющие до нескольких десятков входов/выходов;

- микроконтроллеры, рассчитанные примерно до сотни входов/выходов;
- малые контроллеры, включающие примерно несколько сотен входов/выходов;
- средние контроллеры, использующие примерно до нескольких тысяч входов/выходов;
- большие контроллеры, обладающие несколькими тысяч и более входов/выходов.

Требования автоматизируемого объекта всегда достаточно четко фиксируют необходимое число входных/выходных каналов контроллера, что позволяет достаточно точно указать класс контроллеров по мощности, среди которого следует производить отбор искомого контроллера, чтобы не допустить излишних затрат и удовлетворить заданным требованиям.

Варианты наличия серии контроллеров

Этот признак контроллеров выделяет важные для заказчиков сведения о том, какой из контроллеров выпускается производителем как автономное средство, а какой является одной из модификаций семейства (серии) контроллеров, выпускаемых определенным производителем. Модификации контроллеров такого семейства различаются мощностью, они могут быть нацелены на разные области применения; но, обычно, имеют общие варианты блоков ввода/вывода, программные средства, язык программирования, варианты интерфейсов и портов. Если АСУТП должна состоять из ряда контроллеров, различающихся по числу входов/выходов и по остальным характеристикам мощности, то для ее построения целесообразно и технически, и экономически отбирать модификации контроллеров одного семейства, поскольку это значительно облегчает разработку функционального обеспечения АСУТП и обслуживание ее технических средств. Многие производители выпускают до десятка и более модификаций контроллеров одного семейства.

Варианты реализуемых контроллером функций

Наибольшее распространение имеют универсальные промышленные контроллеры, в которые могут быть запрограммированы любые заданные заказчиком функции в пределах имеющейся мощности центрального процессора, числа и наименования каналов входа/выхода. К ним относится большинство контроллеров средней и большой мощности. Иногда для усиления их вычислительных свойств они снабжаются еще и математическим сопроцессором.

Все более широкое распространение получают специализированные контроллеры, реализующие определенный класс функций и имеющие

для этого заранее встроенное прикладное программное обеспечение. Большинство вариантов нано- и микроконтроллеров относятся к этому классу. Они имеют прошитые в их памяти определенные программы работы, а изменению при эксплуатации подлежат только параметры этих программ. Число и набор блоков ввода/вывода таких контроллеров определяется реализуемыми ими функциями.

Ниже приведен перечень наиболее распространенных типов специализированных по выполняемым функциям контроллеров:

- контроллеры, выполняющие алгоритмы различных вариантов ПИ- и ПИД-регулирования;
- контроллеры, реализующие алгоритмы адаптивных и самонастраивающихся ПИД регуляторов;
- контроллеры, управляющие на основе алгоритмов нечеткой логики;
- контроллеры, исполняющие логические блокировки взаимосвязанных механизмов (программное управление: включение/выключение, переключения группы совместно работающих механизмов);
- контроллеры, выполняющие функции тепловычислителей (расчет количества тепловой энергии в проходящих по трубопроводам в единицу времени теплоносителях: воде, конденсату, паре разного вида: сухому, влажному, насыщенному);
- контроллеры, вычисляющие расходы газов и жидкостей (учет приведенного к стандартным условиям по температуре и давлению расхода газа и жидкости, проходящих по трубопроводам);
- контроллеры, реализующие непрерывное и дискретное, одно- и многокомпонентное дозирование сыпучих и жидких компонентов.

В последние годы начали развиваться классы функционально специализированных контроллеров большой мощности:

- контроллеры, реализующие контроль и управление многосвязанными объектами на основе алгоритмов нейросети;
- контроллеры, реализующие контроль и управление с использованием прогнозирующей модели объекта - предикт-контроллеры (см. далее главу 30).

Варианты области применения контроллеров

Существуют специализированные контроллеры, универсальные по реализуемым функциям, но специализируемые по области их применения. К ним, например, относятся:

- контроллеры, предназначенные для систем противоаварийной защиты. Они отличаются высокой готовностью и отказоустойчивостью, имеют особые варианты диагностики и резервирования, сертифицированы по стандартам IEC 61508 и IEC 61511, подтверждающих

безопасность их работы в цепях противоаварийной защиты;

- телемеханические контроллеры, предназначенные для распределенных на значительные расстояния систем автоматизации. Они отличаются особой проработкой программных и технических компонентов передачи информации на большие расстояния беспроводными линиями связи: УКВ-радиоканалами с обычными или транковыми радиостанциями.

7.2. Варианты контроллеров по их техническому оформлению

Конструктивное построение контроллеров

Все многообразие технического оформления промышленных контроллеров можно подразделить на отдельные классы.

1. Варианты конструктивного размещения компонентов контроллера: моноблочная структура или распределенная структура.

У контроллера моноблочной структуры все компоненты, включая блоки ввода/вывода, находятся в одном корпусе. Такие промышленные контроллеры, обычно, применяются для малых, сосредоточенных объектов.

У контроллера распределенной структуры часть или все блоки ввода/вывода конструктивно отделены от центральной части контроллера, вынесены в цеха на различные расстояния и соединены с ней последовательной шиной или полевой сетью.

В последнее время получают распространение модификации распределенных по производству блоков ввода/вывода, имеющие микропроцессор для решения простейших задач контроля и управления (например, ПИД-регулирования), что снижает нагрузку на связывающую их с центральной частью контроллера сеть и на центральный процессор контроллера, повышает реактивность управляющих воздействий, упрощает программирование работы контроллера.

2. Варианты корпусов контроллера: встраиваемые бескорпусные контроллеры или автономные контроллеры в самостоятельных корпусах.

Встраиваемые в промышленное оборудование контроллеры являются бескорпусными. Они выпускаются на раме без специального корпуса, поскольку они монтируются в общий кожух оборудования (агрегат, машину, прибор) и являются его неотъемлемой частью.

Автономные контроллеры помещаются в защитные корпуса, рассчитанные на разные условия окружающей промышленной среды: температуру, пыль, влагу, вибрацию, электромагнитные помехи и пр.. Формы исполнения корпусов могут быть любыми: стойка, рама, башня, настольное исполнение, шкаф. При распределенной структуре

контроллеров, когда их выносные блоки ввода/вывода размещаются непосредственно в производственных цехах, корпуса этих блоков часто рассчитываются на более жесткие условия окружающей среды, чем корпус центрального блока контроллера, поскольку последний располагается в помещении с более комфортной по ряду условий средой.

Конструктивы отдельных компонентов контроллера могут быть как собственной разработки производителя контроллеров (что наблюдается все реже), так и стандартными (обычно, стандарт Евромеханика). Стандартные конструктивы плат компонентов контроллера имеют широкий диапазон вариантов исполнения. Используются следующие размеры плат Евромеханики: платы одинарной высоты 3U- 100x160 мм, платы двойной высоты 6U – 233X160 мм, для особо сложных систем используются платы 9U – 367,7x400 мм.

3. Варианты конструктивной взаимосвязи контроллера с рабочей станцией оператора: отделенные от рабочей станции корпусные контроллеры и совмещенные с ней панельные контроллеры.

Корпусные контроллеры реализуют функции контроля и управления и через физические порты и интерфейсы по сети связываются с другими средствами автоматизации, в частности, с серверами и рабочими станциями операторов. Входные и выходные сигналы никак не отображаются для персонала в самом корпусе контроллера.

Панельные контроллеры имеют встроенную в корпус контроллера рабочую станцию оператора (обычно, упрощенные монитор и клавиатуру), оснащенную соответствующим программным обеспечением. Практически, панельный контроллер совмещает в себе промышленный контроллер и рабочую станцию оператора. Такая структура контроллера, объединяющая в одном корпусе весь программно-технический комплекс автоматизации, востребована для автоматизации малых компактных объектов. Наиболее распространен вариант панельного контроллера, который имеет монитор в виде текстового дисплея и клавиатуру в виде ряда управляющих кнопок с ограниченными возможностями программирования или даже только для настройки параметров заранее прошитой в памяти контроллера программы.

Структура контроллеров

Контроллеры производятся либо с жесткой (не изменяемой) структурой, либо с модульной (варьируемой) структурой.

В контроллерах жесткой структуры не могут варьироваться их компоненты при приобретении или эксплуатации (за исключением вариации отдельных блоков ввода/вывода).

Контроллеры с модульной, наращиваемой и модифицируемой структурой объединяют отдельные конструктивно оформленные модули, взаимосвязанные шиной, в единый моноблок. Такими конструктивными модулями являются центральный процессор (центральных процессоров может быть несколько), модуль питания, модули портов и интерфейсов, разнообразные модули ввода/вывода. Такая модульная структура контроллера является достаточно гибкой и требует минимум затрат при необходимости модифицировать отдельные характеристики контроллера в процессе его эксплуатации, поскольку состоит из замены только некоторых его модулей. Этот вариант, кстати, позволяет компоновать контроллер по заданным заказчиком требованиям из существующего набора модулей, объединяемых стандартной шиной.

7.3. Варианты выполнения технических компонентов (модулей) контроллеров

Особенности технических компонентов (модулей) контроллеров

Технические компоненты контроллера могут быть как оригинальной разработки его производителя, так и закупленными или произведенными по имеющимся стандартам.

При построении контроллера из фирменных, оригинальных компонентов, разработанных его производителем, структурные изменения (модификации) контроллера возможны обычно заменой только другими компонентами этого производителя. Сами возможные изменения контроллера достаточно ограничены и заранее оговорены производителем.

При сборке контроллера из типовых компонентов магистрально-модульной структуры, имеющей определенный стандартный интерфейс связи центрального процессора с другими компонентами контроллера, ситуация кардинально меняется:

- открытость и широкая доступность стандарта на шину, соединяющую компоненты разного назначения, дает возможность выпускать в данном стандарте любые компоненты контроллера разным производителям, а разработчикам контроллеров дает возможность компоновать их из компонентов разных фирм;

- любая модификация и перекомпоновка контроллеров становится возможной путем замены в них отдельных компонентов, что удешевляет эксплуатацию контроллеров;

- сборка контроллеров из множества типовых компонентов позволяет точнее учитывать конкретные технические требования заказчиков и не иметь в контроллерах лишних блоков, не нужных для данного

конкретного применения;

- широкая кооперация разных производителей, поддерживающих определенный стандарт на шину, соединяющую компоненты контроллера, позволяет собирать контроллеры без привязки к конкретному поставщику компонентов и иметь их широкий выбор для необходимой модификации контроллера.

7.3.1. Стандарт VMEbus[2]

VMEbus (Versa Module Eurocardbus)— стандарт на компьютерную шину. Шина VMEbus была стандартизирована МЭК и рядом международных и региональных организаций в 1987 г.

Основные особенности шины VMEbus:

- шина VMEbus объединяет модули (технические компоненты), размещенные в одном каркасе;
- в каждом каркасе может размещаться до 21 модуля VMEbus;
- модули, поддерживающие стандарт, процессорно и технологически независимы;
- используются 32/64-х разрядные архитектуры;
- скорость шины при передаче 64-х разрядных блоков до 130 Мбит/с;
- конструктивно стандарт VMEbus опирается на широко распространенный механический стандарт – “Евромеханика”;
- в одном каркасе может работать несколько различных процессоров, образуя многопроцессорные системы;
- при создании систем, состоящих из многих каркасов VMEbus, для объединения этих каркасов (удлинения шины VMEbus) используется стандартная шина VICbus (VMEbus Inter Connect). Эта шина позволяет объединить до 15 каркасов на расстоянии 100 м. Скорость передачи данных на VICbus – до 10 Мбайт/с. Процессорный модуль может быть только один в любом из каркасов, а остальные каркасы могут содержать пассивные модули ввода/вывода.

Средства VMEbus поддерживают практически все распространенные программные продукты: операционные системы, языки программирования, базы данных, сетевые интерфейсы и т. д..

Конструктивные особенности VMEbus:

- в системе может использоваться любое число каркасов стандарта – “Евромеханика”, в которых находятся модули VMEbus с объединяющей их магистралью VMEbus и источником питания;
- конструктивное исполнение каркасов любое (стойка, рама, башня, настольное исполнение, шкаф);
- стандартные конструктивы имеют широкий диапазон вариантов исполнения на разные условия окружающей среды: температуру, пыль,

владу, вибрацию, электромагнитные помехи и пр.;

- модули VMEbus выпускаются в типоразмерах плат Евромеханики: платы одинарной высоты 3U- 100x160 мм, платы двойной высоты 6U – 233X160 мм, для особо сложных систем используются платы 9U – 367,7x400 мм.

Номенклатура плат составляет более 3000 наименований:

- центральные процессоры разных типов, архитектуры и разных производителей;
- сетевые контроллеры практически ко всем распространенным информационным и промышленным сетям;
- блоки памяти всевозможных видов и объемов;
- различные типы модулей вводов/выводов;
- одно- и многоканальные аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи,
- адаптеры шин персональных компьютеров;
- генераторы импульсов и функциональные генераторы и т. п..

Органичным дополнением к шине VMEbus является стандартная локальная шина PCI [3], используемая для внутриплатных соединений. Она позволяет использовать расширяющуюся номенклатуру микросистемных внутриплатных PCI-компонентов, повышая производительность и гибкость создаваемых VME средств. Электрическая спецификация PCI в промышленном формате “Евромеханика” носит название CompactPCI.

Основные характеристики шины PCI:

- скорость – 132 Мбита/с при 32-х разрядных передачах и - 264 Мбита/с при 64-х разрядных передачах;
- время доступа из ведущего к ведомому при операции записи – 60 нс;
- в одной системе совмещаются 32-х и 64-х разрядные компоненты.

7.3.2. Мезонинные модули

Рядом фирм выпускаются так называемые мезонинные модули блоков ввода/вывода для использования их в самых разных контроллерах.

Это малые по размерам модули, устанавливаемые на основной плате (плате-носителе). Обычно на плате-носителе помещаются четыре мезонинных модуля. Мезонинные модули представляют собою уровень модульности, более низкий, чем уровень модульности архитектуры VMEbus. Мезонинный модуль имеет небольшие габариты, примерно 45x99 мм (размер кредитной карты) и два разъема: разъем стандартизированной локальной шины платы-носителя и разъем, атрибуты которого определяются реализуемой в модуле функцией.

Типовая плата-носитель, выполненная в стандарте “Евромеханика” формата 6U (размер 233x160 мм), несет на себе 4 мезонинных модуля.

Стандартизация мезонинов производится международной организацией VITA. Стандартизируются:

- габариты мезонинного модуля,
- его присоединительные разъемы,
- дисциплины обмена между платой-носителем и мезонинным модулем.

Благодаря этой стандартизации мезонинный модуль может работать на разных платах-носителях и не зависит от ее устройства и свойств.

На сегодня большое распространение получили две стандартные технологии мезонинных модулей: Industry Pack и MODPACK [4]. Ниже приведена основная номенклатура мезонинных модулей:

- модули аналогового ввода/вывода на разные типовые сигналы датчиков и исполнительных механизмов, с различными видами гальванической развязки;
- модули цифрового ввода/вывода на разные токи и напряжения, с различными видами гальванической развязки;
- аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи с различными видами гальванической развязки;
- модули различных интерфейсов и портов к промышленным и полевым сетям: одно- и многоканальные;
- дополнительные микропроцессоры;
- модули памяти разного объема;
- счетчики и таймеры;
- модули обработки изображений (например, от видеокамер) и многие др..

В дополнение к этому ряд фирм стали выпускать типовые мезонинные модули с колодками, в которые можно вставить микросхемы разных типов. Например, в мезонинные модули памяти можно вставить микросхемы памяти разных видов и объемов, а в мезонинные модули ввода/вывода можно установить определенное число мезонинных (съемных) каналов ввода/вывода; причем каждый такой канал может быть любого типа и на любые нужные параметры.

7.4. Варианты операционных систем контроллеров

Все промышленные контроллеры по близости их системного программного обеспечения к персональным компьютерам (PC) могут быть подразделены на два класса: PC-совместимые и PC-несовместимые контроллеры.

Основные отличия этих классов контроллеров.

PC-совместимые контроллеры (часто обозначаемые «Промышленные компьютеры»):

- имеют архитектуру IBM PC;
- базируются на той же, что и PC, компонентной базе;
- работают под одной из операционных систем PC;
- взаимодействуют со всем, наработанным для PC программным обеспечением и реализуют его по мере необходимости и при наличии соответствующей мощности в контроллере;
- программируются на любых языках, используемых для программирования PC;
- в основном, ориентированы на информационный обмен с другими средствами, как и PC, через сеть Ethernet.

PC-несовместимые контроллеры:

- имеют специфические операционные системы реального времени, точно отслеживающие требования наиболее динамичных промышленных объектов;
- они почти не пользуются стандартами операционных систем Windows в части программного обеспечения и не могут применять наработанные для PC программы;
- в сетевых взаимосвязях они в основном ориентированы на стандартные промышленные и полевые сети.

Характер приведенных структур программных свойств рассматриваемых классов контроллеров определяет сравнительные достоинства и недостатки каждого класса:

- PC-совместимые контроллеры по сравнению с PC-несовместимыми контроллерами в целом обладают большей мощностью, легче стыкуются с различными SCADA-программами и СУБД, открыты для большинства стандартов в областях коммуникаций и программирования, они в среднем дешевле, проще обслуживаются и ремонтируются;
- PC-несовместимые контроллеры по сравнению с PC-совместимыми контроллерами гораздо лучше учитывают требования промышленной автоматики; их операционные системы полностью соответствуют ряду требований реального времени; они имеют все наработанные в промышленности способы диагностики и горячего резервирования, обеспечивающие повышенную надежность работы контроллеров; в них широко используются связи с промышленными и полевыми сетями.

Приведенное выше краткое перечисление программных особенностей этих двух классов контроллеров обобщенно определяет рациональные области применения каждого из них:

- PC-несовместимые контроллеры целесообразнее применять на нижних иерархических уровнях автоматизации отдельных

производственных объектов. На этих уровнях наблюдаются особенно строгие специфически промышленные требования к средствам автоматизации, а необходимость открытости к стандартам программирования и к СУБД, требования больших вычислительных ресурсов почти или совсем отсутствуют;

- РС-совместимые контроллеры целесообразнее применять на верхних иерархических уровнях автоматизации агрегатов, участков, цехов. Здесь слабеет строгость требуемой промышленной специфики вычислительных средств автоматизации и усиливаются требования к информационной совместимости контроллеров с информационными сетями и к использованию наработанного для РС программного обеспечения.

7.5. Развитие промышленных контроллеров

При выборе конкретных контроллеров заказчику важно знать общие тенденции их развития, чтобы не приобрести морально устаревшие средства. Действительно, если даже выбранные контроллеры удовлетворяют всем сегодняшним требованиям по автоматизации конкретного объекта, но они недостаточно современны, то это может в дальнейшем при их эксплуатации (а срок службы приобретаемых средств ≥ 10 лет) привести к нежелательным последствиям:

- затруднения при их модернизациях, коммуникациях с другими приборами и системами, которые могут приобретаться в будущем;
- недостатком их возможностей при необходимости внедрения в дальнейшем более совершенных алгоритмов;
- повышенными затратами на обслуживание при будущей эксплуатации контроллеров.

Ввиду этого необходимо при оценке разных контроллеров иметь четкие представления о современности предлагаемых вариантов, а значит учитывать существующие мировые тенденции их развития.

Анализируя происходящие в последние годы изменения в структуре, характеристиках и параметрах контроллеров можно проследить следующие тенденции их развития:

- освоение контроллерами беспроводных промышленных и полевых сетей, что существенно расширяет открытость контроллеров и упрощает их внедрение;
- оснащение контроллеров интерфейсами с сетями Ethernet, портами USB;
- включение в состав выносных блоков ввода/вывода контроллеров микропроцессоров, что позволяет ряд простейших типовых функций контроля и управления перенести из центрального процессора контроллера в эти блоки. При этом происходит распределение отдельных

типовых функций контроля и управления по ряду периферийных микропроцессоров контроллера и они могут реализовывать эти функции автономно от центрального процессора, со своим циклом обработки данных;

- построение универсальных блоков ввода/вывода в контроллерах, которые конфигурируются на различные аналоговые и дискретные каналы отдельной программой. Это позволяет сократить число блоков в конкретной системе и запасных частей для них более, чем на 30%;

- развитие рынка нано- и микроконтроллеров ввиду их все более существенной вычислительной мощности, обусловленной использованием современных, достаточно мощных процессоров; а также их дешевизной и малыми габаритами Их включение в систему контроля и управления позволяет наиболее точно учесть требования к системе со стороны отдельных небольших блоков и механизмов автоматизируемого объекта (требования к динамике, надежности, числу входов и выходов); максимально приблизить контроллеры к датчикам и исполнительным механизмам; рассредоточить реализацию алгоритмов контроля и управления, что повышает надежность работы всей системы;

- сближение технологий построения контроллеров и PC, поскольку в операционных системах общего назначения для PC типа WindowsNT, QNX, UNIX, Linux стали включаться ядра мягкого реального времени, что позволяет учесть при их работе динамические требования производственных сообщений. Это позволяет учитывать промышленную специфику функционирования контроллеров и использовать в них наработанное для PC программное обеспечение;

- намечается тенденция реализации в контроллерах средней и большой мощности достаточно сложных и объемных, усовершенствованных алгоритмов контроля и управления. К таким алгоритмам относятся, например, диагностические алгоритмы, алгоритмы адаптивного регулирования, многосвязного регулирования, качественного нечеткого регулирования, субоптимального регулирования на базе предикт-контроллеров, оптимального управления. Использование этих алгоритмов позволяет существенно повысить эффективность автоматизации.

Практическая реализация рассматриваемых тенденций приводит к тому, что простейшие типовые функции контроля и управления отходят к его периферийным блокам ввода/вывода и к полевым приборам, оснащенных микропроцессорами, а контроллер средней и большой мощности переходит на реализацию усовершенствованных функций контроля и управления, и коррекций работы его периферийных модулей и полевых приборов в части выполняемых ими типовых функций контроля и управления.

Глава 8. Характеристики промышленных контроллеров

Если выделить важнейшие для пользователей параметры промышленных контроллеров, то это будут характеристики центрального процессора контроллера, вариант операционной системы контроллера, имеющееся прикладное программное обеспечение контроллера, параметры его различных блоков ввода/вывода, открытость контроллера, характеристики надежности, ограничения по свойствам окружающей среды. Все эти характеристики значительно отличаются друг от друга у различных промышленных контроллеров.

Знание вышеуказанных характеристик позволяет наилучшим образом согласовать требования к системе автоматизации с возможностями отдельных контроллеров; не допустить как применения излишне мощной аппаратуры (а, следовательно, и более дорогой), так и применения контроллеров, которые по некоторым показателям не будут полностью удовлетворять заданным условиям работы.

Ниже рассмотрены конкретные варианты важных для заказчиков характеристик современных промышленных контроллеров.

8.1. Характеристики центральных процессоров контроллеров

Вычислительные и динамические характеристики контроллера определяются параметрами центрального процессора контроллера и используемой в контроллере операционной системы.

В современных контроллерах средней и большой мощности часто используется одно- или двухядерный центральный процессор со следующими параметрами: разрядность - 16, 32 или 64 разряда, частота - 500, 600 МГц, ОЗУ - примерно до 100 Мбайт и даже до 1 Гбайта, флеш-память - до 1000 Мбайт. Наличие многоядерного процессора позволяет распараллеливать данные (одна операция одновременно выполняется в разных ядрах с разными файлами данных) и программы (программа разделяется на подпрограммы, выполняемые одновременно разными ядрами).

Память подразделяется на постоянную (с электрическим и/или программным стиранием) для хранения программ и долговременно хранимой информации и энергонезависимую, оперативную память для хранения оперативных данных. Объемы разных видов памяти лежат в диапазоне от десятков килобайт до сотен мегабайт. Применяются сменные накопители памяти объемом несколько Гбайт.

Ряд контроллеров имеют встроенные часы.

В контроллере могут использоваться несколько центральных процессорных устройств с разными микропроцессорами, выполняющими разные функции: либо одни из них выполняют

математические, а другие – логические функции, либо одни реализуют функции типового контроля и регулирования, а другие являются математическими сопроцессорами.

Динамика работы контроллера характеризуется рядом показателей:

- время выполнения тысячи булевых команд – от 0,01 до 3 мс;
- время выполнения тысячи операций с плавающей точкой – от 100 мкс;
- время опроса одного канала: дискретного – порядка 10 мс и аналогового – порядка 50 мс;
- время реакции на аварийное событие - от нескольких десятков до сотни мс;
- время выполнения прикладной программы до 20 мс;
- скорость передачи данных по сетям – десятки Мбит/с по информационной сети Ethernet и сотни Кбит/с по промышленным и полевым сетям.

Следует отметить наличие контроллеров, минимизирующих энергопотребление за счет организации спящих режимов по отдельным задачам и функциям, которые исключаются в текущем интервале времени.

8.2. Характеристики операционной системы контроллеров

В качестве операционных систем контроллеров большинство фирм использует открытые многозадачные операционные системы реального времени (ОСРВ). Ряд контроллеров может работать с ОСРВ разных производителей. ОСРВ контроллеров должны реагировать в заданные временные интервалы на непредсказуемый поток внешних событий. Это определяет особенности операционных систем реального времени и их отличия от обычных многопользовательских операционных систем общего назначения (ОС):

- ОС общего назначения ориентирована на распределение ресурсов средства между задачами (система разделения времени); а ОСРВ ориентирована на своевременную реакцию средства на поступающие в него внешние события, которая не должна превышать заданных значений. Отсутствие реакции в заданное время считается ошибкой;

- ОС общего назначения имеет готовый набор приложений и позволяет пользователям решать разнообразие задачи, во многих случаях не прибегая к конкретному программированию; а ОСРВ есть инструмент для создания системы реального времени, нацеленный на программиста, создающего конкретную систему, знакомого с событиями, которые могут поступить в систему, и знающего критические сроки обслуживания каждого из этих событий.

ОСРВ, которые не допускают отступления от заданного временного интервала реакций на поступающие события, даже если два или более событий происходят почти одновременно, часто носят название ОСРВ жесткого реального времени, в отличие от ОСРВ мягкого реального времени, для которых задержка реакции допустима, хотя она не желательна и может привести к определенным потерям. В контроллерах, управляющих критичными к авариям производственными процессами, практически почти всегда надо иметь ОСРВ жесткого реального времени.

На рынке имеется большое число специально разработанных разнообразных ОСРВ, работающих на разных аппаратных средствах и поэтому являющихся достаточно открытыми для применения в контроллерах разных фирм.

ОСРВ подразделяется на систему разработки и систему исполнения.

Система разработки – набор средств для создания и отладки приложений реального времени (компиляторы, отладчики и т. п.). Она работает обычно под распространенными ОС общего назначения. Иногда ОСРВ имеют резидентные средства разработки, реализуемые в среде самой ОСРВ. Часто средства разработки имеют элементы удаленной отладки; эмуляции процессора, на котором будет работать система исполнения; средства моделирования.

Система исполнения – набор средств, обеспечивающих функционирование приложений реального времени (ядро, драйверы, исполняемые модули). Важной характеристикой систем исполнения является занимаемый ими объем памяти в контроллере. Для минимально необходимого для работы системного набора ОСРВ требуется примерно несколько десятков Кбайт памяти.

Важные для пользователей свойства ОСРВ перечислены ниже:

- очень малое время реакции системы – время от возникновения запроса на прерывание до выполнения первой инструкции по его обработке. В распространенных ОСРВ это время составляет 4-7 мкс;

- небольшое время переключения контекста – время, которое тратит ОСРВ на передачу управления от одной задачи к другой. В распространенных ОСРВ это время составляет 90-160 мкс;

- возможность исполнения ОСРВ из постоянной памяти (ПЗУ), что позволяет создавать ОСРВ повышенной надежности, без внешних накопителей;

- развитые средства работы с таймерами: задание и измерение разных промежутков времени от 1 мкс и выше; генерация прерываний по истечении заданных временных интервалов; создание разовых и циклических будильников; работа со сторожевыми таймерами (Watch-Dog);

- возможность такого планирования работы ОСПВ, при котором четко выполняется имеющаяся система фиксированных или изменяющихся со временем приоритетов реализации задач; т. е. планирования, позволяющего в заданный момент времени исполнять именно ту задачу, которая необходима.

В некоторых модификациях мощных контроллеров используются ОС общего назначения (в так называемых РС-совместимых контроллерах). Однако, следует подчеркнуть, что ОС общего назначения занимают большую память, не обеспечивают (даже при наличии специального ядра ОСПВ) режим жесткого реального времени и по динамике обычно уступают специальным ОСПВ мягкого реального времени.

8.3. Характеристики блоков ввода/вывода контроллеров

Блоки ввода/вывода либо встроены в корпус контроллера, либо частично или полностью выносятся к датчикам и исполнительным механизмам и соединяются с контроллером полевой сетью. Расстояние между корпусом контроллера и выносными блоками ввода/вывода может достигать до десятков км. Ряд контроллеров могут использовать блоки ввода/вывода посторонних производителей, если они поддерживают одну и ту же полевую сеть. В отдельных контроллерах предусмотрена возможность иметь связь только с частью имеющихся в блоках входных каналов, тогда как оставшиеся входные каналы блоков подсоединены к другим контроллерам. Число блоков ввода/вывода у одного контроллера может достигать до 60-ти и более, а число входных/выходных каналов – до 2 000 и более.

В первую очередь, важно оценивать имеющееся разнообразие блоков ввода/вывода в части числа сигналов, опрашиваемых одним блоком, и параметров коммутируемых ими сигналов. Ниже перечислены существенные свойства отдельных блоков ввода/вывода:

- число входных/выходных каналов в блоке (например, от одного до 32-х каналов);
- разрядность и точность аналоговых преобразователей блока (например, разрядность 12-16 бит и погрешность аналогового ввода составляет менее 0,1% от диапазона датчика);
- частота выдачи дискретных сигналов блоком (например, от 10 до 100 герц);
- варианты и параметры гальванической развязки блока: гальваническая развязка блоков делается индивидуальная и/или групповая между каналами и между каналами и землей. Она имеет варианты от 500 до 2000 В;
- наличие искробезопасных блоков;

- оснащение блоков микроконтроллерами, реализующими вычислительную обработку поступающих сигналов (линеаризацию, фильтрацию, усреднение, термокомпенсацию холодных спаев термопар и т. д.);
- возможность в блоках обнаружения обрыва и короткого замыкания измерительных цепей;
- наличие инициативных дискретных сигналов ввода (сообщений) с поддержкой метки времени наносекундного разрешения.

Блоки ввода/вывода рассчитаны на типовой ряд входных аналоговых сигналов:

- на сигналы от термопар, термометров сопротивления и тензодатчиков: ± 15 мВ, ± 50 мВ, ± 100 мВ, ± 500 мВ, ± 1 В;
- на типовые сигналы по току/напряжению: 0-5 ма, 0-20 ма, 4-20 ма, ± 20 ма и ± 1 В, ± 5 В, ± 10 В;
- на входные число-импульсные сигналы;
- на различные дискретные сигналы;
- на счетчики;
- на срабатывание сухих контактов;
- на сигналы ШИМ и т. д..

Существуют универсальные блоки ввода/вывода, настраиваемые по месту на любые входные и выходные сигналы; есть блоки ввода/вывода с резервированием и без него. По защите от воздействий окружающей среды имеются блоки ввода/вывода, работающие в диапазоне температур -40 – $+70$ С, при наличии влаги и пыли в окружающей среде по коду IP66 (см. далее 16.2).

Некоторые контроллеры имеют специализированные блоки ввода/вывода для отдельных классов производственных объектов: турбин, компрессоров и т. д..

В ряде контроллеров предусмотрены блоки ввода видеосигнала.

Существуют блоки ввода/вывода, в которые встроены цифровые индикаторы, на которых высвечивается значение вводимой в них величины.

Замена блоков ввода/вывода происходит без выключения питания контроллера.

При анализе предлагаемых блоков ввода/вывода контроллера следует точно согласовывать их с имеющимся и проектируемым набором датчиков и исполнительных механизмов автоматизируемого производственного объекта. Так, по выходным каналам дискретных сигналов для многих исполнительных механизмов требуется сигнал в (2-3)а при напряжении 220В и лучше обеспечить его без добавочных релейных преобразователей. Для объектов пожаро- и взрывоопасных необходимо наличие искробезопасных блоков. В зависимости от

особенностей заземления датчиков и от наличия электромагнитных помех может потребоваться тот или иной тип гальванической развязки. Наконец, почти всегда важно знать метрологическую точность преобразования измеряемых аналоговых сигналов в блоках ввода.

8.4. Характеристики открытости контроллеров

Существенно отличает контроллеры друг от друга степень их открытости к другим программным и техническим средствам автоматизации. Открытость контроллеров определяется наличием у них интерфейсов к программным средствам, к типовым информационным, промышленным и полевым сетям; а также имеющимися у них портами последовательной связи с внешними устройствами. Чем большее число таких интерфейсов и стандартных портов имеет контроллер, тем более открытым он является. По степени открытости к программным и техническим средствам разных производителей контроллеры имеют ряд градаций:

- от контроллеров максимальной открытости, которая заключается в наличии в контроллере следующих компонентов: OPC-сервера; встроенного WEB-сервера; GSM-связи с технологией SMS; портов последовательной передачи данных RS-232/422/485; интерфейса к информационной сети Ethernet; интерфейсов к ряду типовых промышленных и полевых, проводных и беспроводных сетей (например, к проводным сетям ProfibusDP и Profinet, Foundation Fieldbus и Foundation Fieldbus HSE, Industrial Ethernet, ModbusRTU, HART, DeviceNet, AS-i; к беспроводным сетям стандарта ISA 100.11a, WirelesHART). Ряд контроллеров снабжается отдельными коммуникационными блоками или платами - конверторами, которые переводят один интерфейс в другой; например, RS-232 в RS-485.

- до контроллеров полной закрытости, когда в контроллере не предусмотрены связи к посторонним средствам и сетям; он рассчитан на специфически фирменное программное обеспечение и имеет только порт последовательной передачи информации.

Следует отметить, что сейчас идеология открытости средств автоматизации начинает воплощаться в контроллерах еще одним путем: реализацией глобальной беспроводной связи, позволяющей любым пользователям (клиентам) через сеть Интернет собирать информацию с контроллеров по Web-технологии простейшим гипертекстовым общением. При этом информация представляется в виде отдельных документов, которые описываются с помощью языка разметки гипертекста XML и по протоколу передачи гипертекста HTTP пересылаются по сети Интернет. Контроллер оснащается специальным

Web-сервером, который запускает указанную в запросе клиента подпрограмму, передает ей присланные в запросе параметры, реализует выполнение подпрограммы, возвращает клиенту результаты в виде документа. Важно подчеркнуть, что наличие такой связи позволяет руководящему персоналу и заинтересованным сотрудникам различных подразделений завода всегда иметь оперативную производственную информацию в форме общепринятых документов на языке XML непосредственно от контроллеров, минуя передаточные и переводные устройства и независимо от места нахождения получателей информации. С целью защиты информации в контроллерах от несанкционированных вторжений есть контроллеры, оснащенные встроенными межсетевыми экранами.

Для контроллеров удаленных от рабочих станций оператора на десятки и более километров (например, установленных в необслуживаемых труднодоступных узлах информации на газо- и нефтескважинах) реализуется передача информации различных классов (измеряемые данные, различные сообщения, удаленное видеонаблюдение) через спутниковые каналы по технологии VSAT. Технология VSAT реализуется через малогабаритный спутниковый терминал со скоростью до 4 Мбод.

Ряд контроллеров получает сигнал точного времени от GPS приемника и синхронизирует отметки времени на всех блоках ввода/вывода.

8.5. Характеристики надежности контроллеров

Надежность работы контроллеров обеспечивается развитыми средствами диагностики, применением корректирующих кодов, наличием и разнообразными вариантами резервирования, качеством производства самого контроллера и составляющих его компонентов.

Неисправность рабочего состояния типа «зависания» контроллера фиксируется использованием встроенного в него сторожевого таймера (WatchDog). В некоторых контроллерах сторожевой таймер (WatchDog) устанавливается и на отдельных блоках ввода/вывода.

Внутренняя диагностика производится, большей частью, с точностью до отдельной платы и до отдельной схемы памяти. Иногда диагностируется исправность источника бесперебойного питания; контролируется доступ к техническим блокам контроллера. Зачастую при обнаружении неисправности вводится запрет на выдачу ошибочных данных или выпуск во внешнюю среду управляющего сигнала допускается только при нормальной работе всех элементов цепи управления.

Производится контроль передаваемой и обрабатываемой информации. Для этого в контроллерах используются коды, определяющие и корректирующие ошибки при передаче и записи данных в память. Данные могут передаваться циклическим избыточным кодом (Cyclic Redundancy Check) и кодом коррекции ошибок (Error Correcting Code), позволяющими определять ошибки передачи и в определенных случаях ее исправлять. Применяется также контроль четности при передаче данных.

Дублирование в виде горячего резервирования контроллеров имеется как вариант у большинства современных контроллеров; при этом время безударного переключения с основного на резервный контроллер занимает примерно несколько десятков мс. Обычно это резервирование отдельных или всех модулей контроллера. Употребляется их дублирование или троирование, или даже работа центрального процессора в режиме “пара и резерв”, когда пара процессоров работает параллельно, а вторая пара находится в горячем резерве и, если у первой пары в какой-то момент выходные сигналы начинают несовпадать, то работа безударно переключается на вторую пару, а первая тестируется на предмет выявления неисправности в одном из процессоров.

Отдельно проводятся мероприятия по резервированию питания контроллера; они заключаются в использовании, кроме основного источника, резервного питания от другого фидера и/или резервного питания от аккумуляторных батарей. Организуется также параллельная работа двух контроллеров с взаимным тестированием.

Иногда по способам и полноте дублирования контроллеров выделяют:

- резервированные контроллеры;
- контроллеры высокой готовности;
- отказоустойчивые контроллеры.

Резервированные контроллеры предусматривают:

- наличие основного и резервного контроллеров с одинаковым аппаратным и программным обеспечением;
- опрос распределенных блоков ввода/вывода основным контроллером;
- модули синхронизации работы контроллеров, которые объединяются высокоскоростной магистралью;
- возможность резервирования блоков питания и коммуникационных шин;
- возможность модификации в режиме online программы основного контроллера и передачи ее в резервный контроллер.

Контроллеры высокой готовности добавляют к резервированным контроллерам следующие функции:

- идентификация и компенсация неисправных элементов;
- восстановление ошибок программы без прерывания работы контроллеров.

Отказоустойчивые контроллеры добавляют к контроллерам высокой готовности избыточность всех элементов, включая процессоры, блоки питания, коммуникационные интерфейсы, шины связи с удаленными блоками ввода/вывода, программные средства. Примером отказоустойчивого контроллера является контроллер тройного резервирования с мажоритарным голосованием 2 из 3-х при выполнении управляющих воздействий.

8.6. Характеристики работы контроллеров во внешней среде

Важным свойством контроллеров являются возможности их работы в разных промышленных средах, которые существенно определяются отраслевой принадлежностью предприятия. Обычно контроллеры имеют варианты исполнения на разные диапазоны климатических свойств; разные степени влажности, загрязнения, взрывоопасности и агрессивности окружающей среды; разные уровни промышленных помех, соответствующие определенным классам международных стандартов защиты промышленной аппаратуры. Многие характеристики их работы в окружающей среде фиксируются не конкретными значениями, а названиями или аббревиатурой стандартов и классами соответствия им, рассмотренными далее в нижеследующем разделе VI.

В документации каждого контроллера указываются рабочие диапазоны различных свойств окружающей среды и помехи, которые компенсируются его защитой. Проверка соответствия имеющейся на объекте внедрения промышленной среды с возможностями контроллера работать в ней должна играть важнейшую роль при анализе рынка контроллеров.

Ниже перечислены наименования необходимых защитных характеристик контроллера по основным свойствам окружающей среды, по промышленным помехам, по кибербезопасности:

- диапазон температуры окружающей среды для самого контроллера и отдельно для имеющихся у него выносных блоков ввода/вывода; (их температурный диапазон обычно более широкий; например от -40 до +85 С);
- ограничения по относительной влажности воздуха при условии отсутствия конденсата;
- допустимая вибрация в диапазоне частот примерно 10-150 гц и/

или 10-500 гц (например, с ускорением до 5 g);

- защита от одиночных ударов (например, до пиковых ускорений порядка 50 g);

- защита от пыли и влаги в окружающей среде, которая определяется конструкцией корпуса контроллера;

- защита от химически активных газов в промышленной среде;

- защита от взрывоопасной среды;

- защита от электромагнитных помех;

- защита от колебаний напряжения и частоты питания переменным током;

- защита информации в контроллере от несанкционированного доступа.

Глава 9. Программное обеспечение промышленных контроллеров

Практически во всех современных контроллерах основное программирование функций контроля и управления ведется на специализированных, так называемых, технологических языках. Однако существенным являются ниже перечисленные отличия в инструментальных средствах программирования, которые сказываются на простоте и скорости разработки и тестирования программ, на использовании в них эффективных типовых алгоритмов, на возможности переноса разработанных программ на другие технические средства.

Применяемые технологические языки и способы реализации программ, как в отдельных, так и в нескольких алгоритмически взаимосвязанных контроллерах можно подразделить на два класса:

- специализированные языки и способы программирования для определенной серии (класса) контроллеров, разработанные производителем этих контроллеров,

- типовые (стандартные) языки и способы программирования, используемые в контроллерах различных производителей.

Важным для эффективной реализации задач контроля и управления является также объем прилагаемой к языкам программирования библиотеки типовых программных функциональных блоков (модулей) и инструкций.

9.1. Стандарты среды программирования контроллеров

9.1.1. Стандарт МЭК 61131-3

Стандарт технологических языков программирования контроллера МЭК 61131-3 определяет структуру пяти технологических языков, их

синтаксис и семантику:

- LD (Ladder Diagram) – графический язык лестничных диаграмм, являющийся вариантом традиционного языка релейно-контактных схем. Он является программной реализацией электрических схем на базе электромагнитных реле и описывает блокировки механизмов, их взаимозависимый пуск и останов. Программа работает аналогично логике работы релейной схемы, с включенными в нее элементами запирания, счетчиками, таймерами. Язык ориентирован на работу с битовыми переменными и ограничен по сложности программируемого алгоритма. Преобладающие задачи использования языка – управление взаимосвязанной группой механизмов;

- FBD (Function Block Diagram) – графический язык функциональных блоковых диаграмм, соединяющий отдельные программные функциональные блоки (модули) между собой из имеющегося набора (библиотеки) этих блоков. Функциональный блок является определенной подпрограммой. Каждый функциональный блок имеет входы и выходы. Программа создается путем соединения множества функциональных блоков. По форме он близок языку LD, но вместо логического соединения отдельных программных модулей типа реле, формирует логические связи между программными функциональными блоками. Сами функциональные блоки являются не просто частью языка FBD, они применяются также для моделирования и проектирования систем автоматизации; они также могут быть использованы для поддержания всего жизненного цикла системы автоматизации, включая ее проектирование, изготовление, функционирование, валидацию и обслуживание. Язык FBD работает как с дискретными, так и с аналоговыми переменными;

- SFC (Sequential Function Chart) – графический высокоуровневый язык последовательных функциональных блоков, реализующий алгоритмы последовательного управления в виде набора пар: шаг - переход. Шаг является заданной группой операций над данными, а переход определяет логические условия передачи управления следующей паре шага-перехода или нескольким парам путем распараллеливания алгоритма. Реализация последовательных шагов и переходов между ними близка построению сетей Петри;

- ST (Structured Text) - текстовый язык общего назначения, который по синтаксису близок языку Pascal. Он поддерживает структурное программирование и используется совместно с языком SFC;

- IL (Instruction List) - текстовый язык инструкций низкого уровня типа Ассемблера, но без ориентации на конкретную микропроцессорную архитектуру. Он также используется совместно с языком SFC.

Два стандартизированных языка: LD и FBD являются основными (принципиально они соответствуют специализированным языкам типа релейно-контактных схем и графических конфигураторов), а остальные языки служат дополнениями к ним.

Третья редакция стандарта вышла в 2016 г.

Следует отметить особенности применения стандарта в практических реализациях программирования контроллеров:

- программирование конкретного класса контроллеров может реализовываться как только на языках стандарта МЭК 61131-3, так и частично (по отдельным задачам) на языках этого стандарта, а частично (по другим задачам) на любых других языках по выбору разработчика-программиста;

- конкретные системы технологических языков программирования контроллеров, построенные по стандарту МЭК 61131-3, могут, кроме стандартных, содержать и некоторые другие языки, выходящие за рамки стандарта;

- любой специальный набор технологических языков, разработанный производителем определенных контроллеров и используемый для программирования только этих контроллеров, может содержать отдельные языки стандарта МЭК 61131-3;

- стандарт МЭК 61131-3 не касается привязки программ к определенным интерфейсам, которые сопутствуют большинству реализованных программ контроля и управления в контроллерах;

- стандарт не рассматривает реализацию алгоритмов в ряде взаимосвязанных сетями контроллеров или в ряде любых других технических средств. Стандарт относится к программированию отдельного контроллера.

Системы программирования, основанные на стандарте МЭК 61131-3, характеризуются следующими показателями:

- надежностью создаваемого программного обеспечения, которая обеспечивается специально используемой средой разработки, включающей необходимые средства для написания, тестирования и отладки программ с помощью эмуляторов и реальных контроллеров;

- возможностью простой модификации программы и наращивания ее функциональности;

- переносимостью разработанных программ с одного контроллера на другой;

- возможностью многократного использования разработанных программ;

- простотой языка программирования.

9.1.2. Стандарты МЭК 61499 и МЭК 61804

Описанию и применению функциональных блоков посвящены, помимо стандарта МЭК 61131-3, еще и стандарты МЭК 61499 и МЭК 61804.

Стандарт МЭК 61499, состоящий из четырех частей, был опубликован в 2005 г. Он формирует методику программирования распределенных технических средств (в частности, контроллеров), определяет требования к созданию программ, которые реализуют отдельные части алгоритма в различных, связанных цифровыми сетями технических средствах (в распределенных системах управления).

В нем устанавливается обобщенная архитектура функциональных блоков и предоставляется руководство для их применения в распределенных системах промышленной автоматизации. В таких системах программное обеспечение распределено между несколькими контроллерами и несколькими функциональными блоками, а промышленная сеть рассматривается как составная часть системы автоматизации.

Особенностью функциональных блоков в МЭК 61499 является возможность управления событиями и большая степень обобщения функциональных блоков. Стандарт МЭК 61499 может использоваться совместно с МЭК 61131-3 как средство описания базовых типов функциональных блоков для программирования контроллеров.

Одной из существенных особенностей стандарта МЭК 61499 является ориентация на системы автоматизации, в которых функциональные блоки управляются событиями, в то время как обычно системы автоматизации строятся на базе управления по временному расписанию. Управление событиями в распределенных АСУТП является более общим. Любая система с управлением по временному расписанию может быть представлена в виде системы с управлением событиями, но обратное представление не всегда возможно.

Стандарт базируется на технологии программирования стандарта МЭК 61131-3, распространяя выполнение отдельных, взаимосвязанных, программных функциональных блоков, преимущественно (но не обязательно) созданных по стандарту МЭК 61131-3, в различные контроллеры или другие средства и описывая их сетевые связи. Он определяет требования к разработке и реализации функциональных блоков в различных средствах и их интеграции в единый алгоритм через сетевые связи средств. Стандарт фиксирует следующие правила формирования функциональных блоков и построения из них программ:

- описание функциональных блоков;
- выполнение событий в функциональных блоках;

- использование функциональных блоков в распределенной системе технических средств;

- взаимодействие функциональных блоков через сетевую структуру, объединяющую технические средства.

В стандарте МЭК 61131-3 функциональный блок задается входными переменными, выполняемым над ними алгоритмом и полученными выходными переменными. Кроме имеющегося набора типовых функциональных блоков каждый разработчик может создать свой функциональный блок на одном из языков стандарта МЭК 1131-3. В стандарте МЭК 61499, в отличие от стандарта МЭК 61131-3, функциональный блок принимает и генерирует события. В нем функциональный блок задается входными и выходными переменными, входными и выходными событиями, алгоритмом работы блока, диаграммой управления выполнением алгоритма (последняя задает реакции блока на поступившие входные события и указывает генерируемые блоком выходные события). Алгоритм работы блока записывается на одном из языков стандарта МЭК 61131-3. Диаграммы управления удобно составлять на языке SFC – графическом языке последовательных функциональных блоков.

Процесс выполнения функционального блока в стандарте МЭК 61499 происходит в соответствии с диаграммой управления выполнением алгоритма. Вначале выполняется проверка появления события, затем реализуется алгоритм работы блока и в заключении производится генерация выходного события (если оно предусмотрено в диаграмме).

Стандарт МЭК 61499 определяет 18 типов функциональных блоков. Все описания функциональных блоков по стандарту МЭК 61499 кодируются и сохраняются в типовом формате XML, что позволяет описать любой тип данных в текстовом виде для хранения, транспортировки, передачи другим средствам, где они будут одинаково интерпретированы.

Третьим стандартом, развивающим представление о функциональных блоках, является стандарт МЭК 61804. Он содержит спецификацию (детализацию) требований к распределенным системам управления, построенным на основе функциональных блоков. МЭК 61804 конкретизирует абстрактные определения, данные в стандарте МЭК 61499. Он добавляет в МЭК 61499 описания параметров и функций, выполняемых функциональными блоками, которые могут быть реализованы в технических средствах. Стандарт определяет минимальный набор функциональных блоков, который необходим для промышленных приложений. Набор состоит из двух частей:

сложные функциональные блоки (ПИД-регулятор, селектор для схем голосования, сумматор, таймер, интегратор) и простые функциональные блоки (тригонометрические функции, суммирование, усреднение, арифметические операции, булевы функции и т. п.).

9.2. Конкретные реализации среды программирования контроллеров

Программирование контроллеров на описанных выше в стандарте МЭК 61131-3 технологических языках реализуется средой программирования, которое разрабатывается фирмами, специализирующимися на создании программного обеспечения для систем автоматизации. Под средой программирования понимается среда разработки программ, которая предполагает использование определенных языков программирования. Среда программирования состоит из редактора, в котором записывается текст программы; компилятора, который транслирует текст программы в машинный код; отладчика, который тестирует разработанную программу.

Практически в большинстве контроллеров любых производителей используются среды программирования CODESYS фирмы 3S-Smart Software Solutions или ISaGRAF фирмы ICS Triplex, реализующие технологические языки по приведенным выше стандартам. Учитывая повсеместное распространение этих продуктов, в качестве исключения, хотя в книге не рассматриваются разработки средств и систем автоматизации определенных фирм (см. предисловие), здесь целесообразно привести описания основных свойств сред программирования, разработанных этими фирмами.

9.2.1. Среда программирования CODESYS

CoDeSys (Controller Development System) представляет собой комплекс программ для проектирования прикладного программного обеспечения, отладки в режиме эмуляции и загрузки программы в контроллер. Основными частями комплекса являются среда разработки программы и среда ее исполнения, которая находится в контроллере.

Среда разработки программы CoDeSys работает на персональном компьютере (может быть реализована и на контроллере, если у него достаточный объем памяти). Она содержит инструментальную отладку программ, конфигураторы, редакторы, и прочие средства; поддерживает типовые промышленные сети.

Программируемое техническое средство соединяется с компьютером, на котором находится среда разработки CoDeSys, через вспомогательный программный компонент – шлюз связи, который использует

протокол TCP/IP.

Для того, чтобы контроллер можно было программировать с помощью CoDeSys, в нем должна быть установлена система исполнения. Ее установку выполняет изготовитель контроллера, а проектант может сосредоточиться на разработке только прикладной программы.

В контроллере устанавливается система исполнения, которая функционирует под любой операционной системой или вообще без нее, и организует работу контроллера: функционирование программ контроля и управления, опрос блоков ввода/вывода, хранение данных, сетевой обмен и т. д.. Собственное ядро реального времени может устанавливать контроллерный цикл с точностью до нескольких микросекунд. Прикладная программа остается работоспособной даже при зависании операционной системы.

В комплекс CoDeSys входят редакторы для всех пяти языков стандарта МЭК 61131-3. Кроме того, в среде CoDeSys 2.3.9 для непрерывных технологических процессов предлагается развитие языка FBD языком CFC (Continuous Function Chart), который в качестве функциональных блоков имеет не только математические операции, но и сложные алгоритмы контроля и управления технологическими узлами (например, насосами, транспортерами и т. п.). Комплекс полностью реализует требования стандарта и дополнительно вводит ряд расширений, в том числе объектно-ориентированное программирование. В версии CoDeSysV3 объекты (любые программные модули) взаимодействуют друг с другом путем передачи сообщений – запросов на выполнение определенных действий с передачей исходных данных для реализации этих действий. При этом можно подключать к программным функциональным блокам собственные независимо компилируемые программные модули типа логики, математических операций, счетчиков, таймеров и т. д..

В одном проекте может быть использовано несколько контроллеров разных производителей. Каждый из них может программироваться как независимое устройство или с учетом их взаимодействия в промышленной сети. Разработанные программы компилируются в машинный код и загружаются в контроллер; при этом микропроцессор контроллера может иметь от 16 до 64 разрядов. Компилятор выдает диагностические сообщения, как на этапе компиляции, так и на этапе ввода операторов языка.

После загрузки машинного кода в контроллер разработчик имеет возможность использовать широкий набор функций для быстрой и эффективной отладки приложения. При отсутствии реального контроллера отладку программы можно выполнять с помощью встроенного

программного эмулятора. При изменении программы во время отладки перекомпилируются только измененные части программы. Их можно подгружать в контроллер без остановки выполнения прикладной программы. Эта возможность системы называется “горячим обновлением” кода.

Пользователь комплекса может самостоятельно расширять возможность CoDeSys путем создания библиотек программных модулей. Например, он может реализовать поддержку нестандартных интерфейсов.

Комплекс CoDeSys содержит значительное число вариантов и отдельных программных модулей, нацеленных на различные классы контроллеров и различные реализуемые в них функции:

- CoDeSys Redundancy – среда программирования и набор программных модулей, выполняющих синхронизацию, диагностику, переключение основного и дублирующего контроллеров;

- CoDeSys Safety – среда программирования и система исполнения для контроллера системы ПАЗ, работающего по стандарту IEC 61508, уровень- SIL 3. Имеется библиотека функциональных блоков PLCopen Safety, система исполнения для оборудования с дублированием и специализированное расширение среды программирования. Обеспечивает безопасный компилятор и безопасную систему исполнения. Содержит методику тестирования и сертификации. При внезапном отключении питания CoDeSys автоматически сохраняет значения переменных во флеш-памяти или в ОЗУ с батарейным питанием. Загрузочный код вводится в контроллер, затем скачивается обратно, декомпилируется и сравнивается с исходным текстом;

- CoDeSys Professional Developer Edition – среда программирования для совместного создания крупных проектов рядом исполнителей. Реализовано управление версиями проектов и графических редакторов;

- CoDeSys Application Composer – вариант языка для программирования ряда однотипных проектов на основе подготовленных программных модулей. Проекты собираются из набора таких модулей на языках IEC 61131.3, которые автоматически компилируются в контроллеры;

- CoDeSys HMI – отдельный раздел языка, реализующий графический интерфейс с операторами на нескольких рабочих станциях (в упрощенном варианте работы операторов без связи с базой данных, без ведения архива, без использования типового интерфейса OPC), что позволяет обеспечить управление малыми производственными компонентами типа кранов, погрузчиков и т. п. объектов. Имеется встроенный программный инструментальный визуализации для оператора, которым

можно реализовать тренды, графики, таблицы и другие изображения данных;

- CoDeSysTargetVesu – самостоятельный компонент языка для системы исполнения панельного контроллера;

- CoDeSysSPRTE – система исполнения с собственным ядром жесткой операционной системы реального времени под общей операционной системой Windows, гарантирующим время реакции на сообщение в микросекундном диапазоне.

9.2.2. Среда программирования ISaGRAF

Комплекс ISaGRAF поддерживает все пять языков МЭК 61131-3 и использует стандарт МЭК 61499 для программирования распределенных систем управления. Он также состоит из среды разработки и среды исполнения.

Среда разработки (все пять языков МЭК 61131-3 и функциональные блоки МЭК 61499) имеет средства для редактирования, компиляции, документирования, управления библиотеками, архивирования, моделирования системы при отсутствии реального контроллера и отладки с подключенным контроллером. У нее знакомый по Windows-приложениям интерфейс с подсказками, панелями инструментов, окнами, с функциями вставки и замены и т. п.. Среда разработки может также транслировать пользовательскую программу, написанную на языках стандартов МЭК, в текст на языке Си.

Среда исполнения может функционировать практически на любой операционной системе и любой аппаратной платформе, включая персональный компьютер, если на них предварительно установлена среда исполнения. Она создается и загружается в контроллер производителем контроллера и является независимой от исполняемой в ней программы пользователя.

При компиляции программы генерируется машино-независимый код, который загружается в контроллер, снабженный интерпретатором этого кода. ISaGRAF позволяет провести симуляцию разработанной программы в режиме off-line, тестирование и отладку программы, а затем мониторинг ее реализации в контроллере.

Комплекс ISaGRAF содержит ряд вариантов и отдельных программных модулей, нацеленных на различные классы систем, контроллеров и разные реализуемые в них функции:

- в ISaGRAF, кроме пяти языков стандарта МЭК 61131.3 включены языки FlowChart, ANIC, потоковая диаграмма, блок-схема;

- ISaGRAF реализует исполнительную систему ведения архивов ISaArchTarget. Она сохраняет данные в памяти контроллера, а

ISaArchServer собирает данные от отдельных контроллеров в общую базу данных системы управления;

- на базе языка ISaGRAF разработана платформа FlexiSafe для систем ПАЗ SIL (уровень) 3, которая соответствует стандартам по безопасности МЭК 61508 ;

- в варианте системы ISaGRAF 5, объединяющего стандарты МЭК 61131.3 и МЭК 61499, проведена поддержка функциональных блоков, разработанных по стандарту МЭК 61499 и реализована возможность создавать прикладное программное обеспечение для распределенных систем управления с автоматическим регулированием итераций между средствами и синхронизацией работы средств. В многозадачной распределенной системе ISaGRAF может иметь несколько сред исполнения с различными циклами опроса; при этом данными в распределенной системе обмениваются контроллеры и тогда, когда они работают под разными операционными системами;

- в варианте системы ISaGRAF 6 переработана среда разработки. Она поддерживает еще язык SAMA (Scientific Apparatus Makers-Manufactures Association) – язык специального вида функциональных диаграмм управления, реализованный на базе технологического языка FBD, который имеет новые наборы функциональных блоков, в том числе блок человеко-машинного интерфейса.

9.3. Библиотека типовых программных модулей контроллеров

Состав библиотеки типовых программных модулей, закладываемых производителем в контроллер (вне зависимости от использования в нем технологических языков стандарта МЭК 61131-3) значительно различается у разных контроллеров. В универсальных больших контроллерах библиотека состоит примерно из следующего набора:

- основные логические операции исчисления высказываний и предикатов. В частности: отрицание «не», конъюнкция «и», дизъюнкция «или», импликация «если, то»; а также необходимые для управления группой механизмов временные задержки, таймеры, счетчики, генераторы, шаговые программы;

- основные математические операции. В частности: сложение, вычитание, умножение, деление, возведение в степень, извлечение корня, разные виды интер- и экстраполяции и аппроксимации последовательных во времени значений измеряемых величин;

- основные операции первичной обработки измеряемых величин: сравнение измеренного значения с заданными нормативами (контроль границ), масштабирование, фильтрация величины, усреднение значения величины за заданное время и скользящее усреднение,

экспоненциальное сглаживание, интегрирование (суммирование) величины за заданное время, компенсация холодного спая термопары и т.п.;

- основные операции статистической обработки измеряемых величин и вычисляемых показателей. В частности, вычисление средней квадратичной погрешности определения величины, расчет автокорреляционной функции и взаимных корреляционных функций случайных процессов, которыми являются временные тренды измеряемых величин, вычисление функции распределения случайного процесса - тренда измеряемой величины;

- основные операции расчета ключевых, технико-экономических показателей работы технологических агрегатов. В частности, расчет сменных и суточных показателей: производительности, удельных расходов отдельных энергоресурсов, времени работы агрегата в различных режимах;

- основные операции регулирования технологических агрегатов: алгоритмы двухпозиционного управления; П, И, ПИ, ПИД регуляторов и каскадных ПИД регуляторов; самонастройки ПИД-регуляторов, адаптивных ПИД-регуляторов и др.;

- основные формулы вычисления по стандартам ГОСТ 8.586-2005, ГОСТ Р 52649-2000 по приведению к нормальным условиям расходов газа и жидкости, и учета теплоты в протекающих по трубам газах и жидкостях;

- отчеты, протоколы, документы типовых форм по измеряемым и вычисляемым данным и их архивирование.

Раздел IV.

Средства автоматизации информационного уровня (SCADA-программы)

Общие положения

Рабочие станции операторов технологических агрегатов реализуют человеко-машинный интерфейс операторов с автоматическими средствами контроля и управления этих агрегатов. Через них операторы получают от средств автоматизации информацию о текущем режиме технологического процесса, о состоянии оборудования агрегата и средств его автоматизации, о производительности агрегата, о качестве выпускаемой им продукции, об энергопотреблении и т. д.. Через рабочие станции операторы пересылают управляющие воздействия на отдельные средства автоматизации, изменяющие режим работы агрегата.

Прикладное программное обеспечение рабочих станций операторов и поддерживающих их серверов, реализующее указанные функции системы автоматизации производственного объекта любого типа, получило в литературе наименование «SCADA-программа» (аббревиатура «SCADA» означает «Supervisory Control and Data Acquisition» - «сбор данных, наблюдение и управление»).

Последние десятилетия под влиянием заказчиков SCADA-программы выделились в самостоятельный программный продукт (ранее для каждого комплекса автоматизации разрабатывалась своя закрытая SCADA-программа, работающая только с заданным набором технических средств). SCADA-программы, предназначенные для применения в разных программно-технических средах, являются открытыми SCADA-программами.

С середины 80-х годов ряд фирм-разработчиков программных систем приступили к разработке и выпуску универсальных и открытых SCADA-программ, предназначенных не для конкретной системы контроля и управления, но для применения в разных программно-технических и сетевых средах. В настоящее время открытость SCADA-программ обеспечивается наличием ряда их свойств:

- возможности их использования в технических средствах с распространенными для систем автоматизации операционными системами;
- применением стандартного интерфейса OPC: OPC-клиента для связи с контроллерами и получения данных от различных программных приложений, OPC-сервера для выдачи информации другим программным средствам;

- использования ряда распространенных типовых протоколов, интерфейсов и драйверов, позволяющих использовать SCADA-программу с различными классами промышленных контроллеров, программных пакетов, СУБД и сетей передачи данных;

- включения в SCADA-программу средств разработки новых (не предусмотренных разработчиком) драйверов для различных технических средств автоматизации;

- возможности расширять заложенные разработчиком функции SCADA-программы, в соответствии с техническими заданиями на конкретные проекты, путем подключения к ней программ пользователя.

Специализация фирм-разработчиков SCADA-программ позволяет им обеспечить высокий уровень программного продукта, повсеместное использование принципов открытости делает SCADA-программы функционально гибкими и непрерывно расширяет возможности их применения и упрощает их конкретизацию под заданную систему автоматизации.

Потребность в анализе рынка SCADA-программ диктуется рядом причин, в том числе:

- большим числом и разнообразием конкурирующих открытых SCADA-программ;

- проблемами отбора SCADA-программы для качественной, экономичной, достаточно комфортной для проектанта разработки прикладного программного обеспечения средств верхнего уровня АСУТП, а также для ее надежной эксплуатации и простотой модернизации;

- заинтересованностью в объективной сопоставительной информации о распространяемых SCADA-программах со стороны как фирм - разработчиков систем автоматизации производства, так и предприятий, эксплуатирующих и реконструирующих автоматизированные системы управления технологическими процессами.

Каждая SCADA-программа содержит в своем составе, явно или неявно, две базовые подсистемы:

- инструментальный комплекс (система разработки) - среда разработки прикладного программного обеспечения, действующего в составе операторских станций и поддерживающих их серверов;

- исполнительский комплекс (система исполнения) – среда работы операторских станций и поддерживающих их серверов в реальном времени.

Инструментальный комплекс применяется при разработке программ операторских станций. Каждый экземпляр инструментального

комплекса может многократно использоваться для разработки операторских станций в разных проектах. Он применяется также персоналом, эксплуатирующим SCADA-программы, для коррекций и модернизаций программного обеспечения рабочих станций оператора.

Исполнительский комплекс реализует, как правило, работу прикладного программного обеспечения отдельной станции оператора.

Инструментальный комплекс технически, обычно, также может поддерживать работу операторской станции в реальном времени и может быть применен в качестве исполнительского на одном компьютере. В некоторых SCADA-программах инструментальный и исполнительный комплексы не разделены и представляют собой единое целое.

В данном разделе рассматриваются с позиций пользователей свойства и характеристики SCADA-программ.

Глава 10. Свойства SCADA программ

10.1. Структуры SCADA-программ

Ниже приводятся те структурные особенности отдельных SCADA-программ, которые отличают их друг от друга и которые должны быть учтены при их анализе заказчиком, поскольку являются основополагающими при выборе для конкретного использования.

SCADA-программы обычно имеют 32-х разрядную арифметику и большей частью работают в клиент-серверной сетевой архитектуре. Контроллеры по промышленной сети связаны с серверами, а клиенты (рабочие станции операторов) взаимодействуют по информационной сети с серверами. Такая архитектура для малых систем может быть локальной, тогда и сервер, и клиент размещаются на одном компьютере рабочей станции оператора; а для больших систем – распределенной, тогда клиенты и серверы распределены по разным узлам информационной сети. Обычно, в больших системах при наличии многих серверов каждый клиент может информационно взаимодействовать с рядом серверов. При этом возможны два варианта связи серверов с клиентами: либо каждый клиент связан с определенной группой серверов, либо любой клиент может общаться с любым сервером (мультиклиент).

Максимальное число серверов в каждой данной SCADA-программе и число связанных с каждым сервером рабочих станций обычно либо жестко фиксировано, либо указано неограниченным.

Существует вариант реализации клиент-серверной структуры средствами Интернет. В качестве web-клиентских станций (тонких клиентов) могут быть применены удаленные рабочие станции и переносные компьютеры со стандартным интернет-браузером.

Как вариант, используется распределенная клиент–серверная структура, когда сами серверы и рабочие станции операторов (а не только средства полевого и промышленного уровней АСУТП) распределены по производству.

Широко используется резервирование серверов и информационной сети, объединяющей серверы и рабочие станции. Рабочие станции могут взаимно резервировать друг друга.

10.2. Функции SCADA-программ

Ниже приведен основной типовой набор функций, обеспечиваемый практически любой SCADA-программой:

- сбор текущей технологической информации от контроллеров и/или других приборов и технических средств, связанных непосредственно или через сервер с рабочей станцией оператора;

- вычислительная и логическая обработка получаемой информации, реализуемая в сервере или в станции оператора;

- расчет ключевых контрольных и учетных показателей работы агрегата, сопоставление текущих ключевых сменных и суточных показателей работы с аналогичными показателями за заданные прошлые интервалы времени и сравнение основных учетных показателей с плановыми: фиксация «план-факт»;

- представление и печать сменных, суточных и месячных сводок, отчетов, рапортов о работе агрегата и протоколов в задаваемых пользователем формах по времени, по наступлению определенных событий, по запросу оператора;

- обработка сообщений, сигналов о нарушениях и тревогах. Классификация их по отношению к режиму работы агрегата, к работе отдельных единиц оборудования, к качеству входных и выходных материальных потоков, Распределение их по приоритетам важности и необходимой скорости реагирования;

- регистрация нарушений, тревог и аварийных ситуаций, моментов их возникновения и вывод сообщений о них на экран монитора рабочей станции и/или на внешние устройства;

- фиксация времени простоя отдельных единиц оборудования, классификация и причины простоя;

- автоматический вывод нарушений и тревог на пейджеры и удаленные рабочие станции в виде сигналов и речевых сообщений;

- реализация на экране монитора рабочей станции векторной графики с любыми динамизируемыми элементами и создание изображений с возможностями мультимедиа;

- формирование широкого набора трендов и графиков зависимостей

одной измеряемой величины от другой с возможностями их модификаций и изменениями масштаба оператором в реальном времени;

- использование встроенного языка программирования: типового или оригинального;

- организация шаблонов документов, в которых наименования измеряемых и вычисляемых величин и время их фиксации задается оператором;

- реализация связи с средствами автоматизации через Интернет (WEB- браузер);

- архивация текущей информации, ее переработка и хранение в заданных форматах в течение заданных интервалов времени;

- совместное представление текущей и исторической (архивной) информации на экране монитора рабочей станции (в формах цифровых и текстовых сообщений, мнемосхем, гистограмм, диаграмм, анимационных изображений, таблиц, трендов, аварийных сигналов и т. д.);

- импорт различных графических изображений из ряда графических редакторов;

- импорт и экспорт растровых изображений в ряде типовых форматов;

- сохранение и тиражирование созданных программных модулей и экранных образов;

- ввод команд и сообщений оператора, их отработка и/или передача в контроллеры и другие устройства;

- подключение и организация взаимодействия прикладных программ с измеряемыми величинами и командами оператора;

- информационные сетевые взаимодействия между рабочей станцией оператора, средствами ПТК и внешними средствами и системами.

Для эффективного безошибочного внедрения SCADA-программ в них заложены специальные средства тестирования разработанных программ рабочих станций операторов с возможностью эмуляции конкретного объекта и средств автоматизации.

Кроме перечисленных типовых функций SCADA-программы, которые с тем или иным качеством реализуются во всех SCADA-программах, отдельные SCADA-программы предлагают заказчикам дополнительные программные модули, выходящие за рамки типовых. Далеко не все предлагаемые дополнительные модули имеют важное значение для большинства заказчиков, но некоторые из них, находящиеся в разных SCADA-программах, представляют достаточно широкий интерес:

- вывод на экран монитора телевизионных изображений и видеозапись текущего состояния наблюдаемого объекта;

- вывод на экран монитора мест загазованности с привязкой к карте местности или генплану предприятия;
- метрологическая поверка каналов передачи данных;
- статистический анализ совокупности взаимосвязанных измеряемых величин.

В SCADA-программах предусматривается защита используемых измеряемых, вычисляемых и сохраняемых в архивах данных; а также используется управление доступом к данным: предусматривается идентификация пользователей и возможность разграничения доступа определенных групп пользователей к отдельным данным и реализуемым SCADA-программами функциям.

10.3. Состав SCADA-программ

Поскольку каждая SCADA-программа имеет (явно или неявно) инструментальный комплекс (систему разработки) и исполнительский комплекс (систему реализации программы), то это требует их отдельного рассмотрения.

10.3.1. Особенности инструментальных комплексов SCADA-программ

Общим для инструментальных комплексов разных SCADA-программ является то, что в своей основе они являются графическими конфигураторами, собирающими конкретные программы из имеющихся у них заготовок. Ввиду этого проектирование всех типовых процедур конкретного исполнительного комплекса может, в подавляющем большинстве случаев, производиться специалистом по автоматике без участия программистов.

При построении конкретных экземпляров SCADA-программ в качестве базовых, подлежащих настройке и динамизации имеющихся заготовок используются:

- совокупности графических примитивов, разнообразных элементов отображения промышленных объектов и их отдельных узлов;
- наборы различных типов зависимостей измеряемых и вычисляемых величин друг от друга и от времени;
- библиотеки типовых программных модулей контроля и управления.

Чем больше в инструментальном комплексе данной SCADA-программы объем этих совокупностей, наборов и библиотек; чем шире и разнообразнее объем этих примитивов, элементов, программных модулей охватывает реальные требования, предъявляемые к исполнительному комплексу конкретной SCADA-программы, тем проще использование инструментального комплекса, тем конкретнее и глубже фиксируются с его помощью реальные ситуации в

контролируемом объекте.

Инструментальные комплексы имеют следующие варианты исполнения:

- общий конфигуратор для создания и редактирования исполнительного программного обеспечения;
- разделение инструментального комплекса на блоки в соответствии с объектно-модульной структурой данной SCADA-программы;
- клиент-серверная структура самого инструментального комплекса, позволяющая производить одновременную, многопользовательскую разработку проекта.

Многие инструментальные комплексы используют объектно-ориентированный подход к проектированию исполнительского комплекса, который базируется на использовании различных готовых шаблонов типовых промышленных объектов. Под ними понимаются готовые шаблоны элементов автоматизации с их всевозможными атрибутами: входами и выходами, параметрами настройки, алгоритмами работы, характером поведения, возможными нарушениями, видами их изображения на экране монитора, отчетами о функционировании и т. п.. Возможно использование иерархии подобных объектов. В универсальных SCADA-программах имеются библиотеки типовых промышленных объектов разных отраслей промышленности с имеющимися у них атрибутами. Наличие объектно-ориентированного проектирования значительно упрощает и ускоряет создание исполнительского комплекса. Проводится наследование объектов для их копирования и тиражирования в разных АСУТП. Возможна параллельная разработка одного проекта рядом проектировщиков.

Важным отличием инструментальных комплексов друг от друга является разнообразие имеющихся у них специальных тестирующих программ, проверяющих правильность созданного программного обеспечения. От состава этих программ, от близости тестов в них к реальной работе исполнительного комплекса, от полноты и точности проверки проекта, которую они обеспечивают, зависит безошибочность разработанного комплекса SCADA-программы.

10.3.2. Особенности исполнительских комплексов SCADA-программ

Почти все исполнительные комплексы SCADA-программ построены по модульному принципу. Комплексы отдельных SCADA-программ имеют структуру типа ядра с привлекаемыми периферийными модулями. Некоторые исполнительные комплексы SCADA-программ подразделяются на отдельные программные модули,

каждый из которых выполняет свой набор функций. Эти модули могут работать как отдельно, так и во взаимосвязи друг с другом. Иногда это взаимодействие реализуется через специальное ядро SCADA-программы, но чаще модули взаимодействуют непосредственно, используя типовую технологию COM/DCOM и объекты ActiveX (они рассмотрены в следующей главе).

К примеру возможен нижеследующий набор модулей:

- графический векторный редактор с библиотеками графических примитивов и динамизируемыми изображениями типовых производственных объектов;
- серверная станция с СУБД реального времени и архивом;
- модуль обработки событий и тревог;
- генератор отчетов;
- модуль конфигурирования и реализации трендов;
- модуль математических и логических операций (конфигуратор с библиотекой типовых программных модулей контроля и управления);
- модуль статистической обработки данных;
- модуль взаимосвязи в реальном времени между клиентом и сервером;
- модуль обмена данными с приложениями и другими системами;
- и т. д..

подавляющее большинство SCADA-программ выпускает исполнительные комплексы в виде отдельных вариантов разных классов:

- масштабные варианты исполнительных комплексов, рассчитанные на разное число входов/выходов. Число таких вариантов у разных SCADA-программ лежит в диапазоне от 3 до 10 и их масштабные различия находятся в пределах от нескольких десятков входов/выходов (при одномашинном варианте) до неограниченного числа входов/выходов (например, перечень вариантов: 50, 75, 150, 300, 700, 1500, 35000, любое число входов/выходов). При этом функциональный состав подобных вариантов примерно одинаков;
- масштабные варианты серверов исполнительных комплексов, затрагивающих не комплексы в целом, а только их серверы, и рассчитанные на разное число подключаемых к серверам входов/выходов. При этом клиентские станции работают без ограничений на число входов/выходов;
- функциональные варианты исполнительных комплексов, рассчитанные на разное число реализуемых функций от достаточно ограниченного набора функций (например, только мониторинг процесса) до полного набора, обеспечивающего все потребности оператора. Число

таких вариантов у отдельных SCADA-программ лежит в диапазоне от 2 до 5;

- число рабочих станций операторов, обслуживаемых SCADA-программой, может доходить до нескольких десятков.

10.4. Взаимодействие SCADA-программ с внешними программными средствами

1. Большинство SCADA-программ работает под операционными системами Windows, что позволяет им использовать все богатство приложений, пакетов программ, типовых технологий и интерфейсов, работающих под Windows. Часть SCADA-программ работает под операционной системой реального времени QNX или под операционной системой Linux. Есть многооперационные SCADA-программы, работающие под различными операционными средами; это дает пользователю наиболее широкий диапазон их возможного использования.

2. SCADA-программе необходимо иметь базовое СУБД для сохранения текущих значений измеряемых величин и событий и для создания архива исторических данных. Различные SCADA-программы по-разному реализуют эту необходимость:

- ряд SCADA-программ имеют собственные специальные СУБД;
- другие SCADA-программы используют в качестве своей СУБД одну из распространенных реляционных СУБД (например, Microsoft SQLServer);

- есть SCADA-программы, которые поддерживают ряд распространенных СУБД (например, Microsoft SQLServer, Access, Oracle) и заказчик может выбрать одну из них для использования в своей SCADA-программе..

3. Для связи SCADA-программы с контроллерами, кроме повсеместно используемого интерфейса OPC к современным контроллерам и инструментального средства разработки драйвера к контроллерам, не имеющим OPC-сервера, есть еще у большинства SCADA-программ достаточно большой набор готовых драйверов к отдельным распространенным типам контроллеров. Несмотря на наличие у SCADA-программы интерфейса OPC, такой имеющийся драйвер к конкретным, работающим на объекте контроллерам может быть важным для потенциального заказчика по одной из двух причин: либо у данных контроллеров нет OPC-сервера, либо есть необходимость ускорить обмен данными между контроллерами и SCADA-программой (поскольку обмен информацией по интерфейсу OPC заметно медленнее, чем по драйверу). По набору имеющихся готовых драйверов SCADA-программы резко различаются друг от друга как числом таких драйверов в наборе

(от нескольких единиц до многих сотен единиц), так и типами контроллеров, на которых рассчитаны драйверы (от наиболее распространенных в мире контроллеров ведущих мировых производителей до российских контроллеров разных фирм и разных годов выпуска, используемых на российских предприятиях).

4. Для связи с посторонними средствами, непосредственно не входящими в разрабатываемую систему контроля и управления, кроме обычных стандартных и типовых сетевых связей отдельные SCADA-программы имеют специальные возможности:

- выделенный web-сервер, реализующий связь через Интернет;
- связь через выделенный или коммутируемый телефонный канал;
- связь через отдельный радиоканал;
- связь через существующую на предприятии сотовую сеть;
- связь через систему телеметрии.

10.5. Качество работы SCADA-программ

Под качеством работы SCADA-программы обычно понимается совокупность наименее формализуемых ее характеристик:

- простота разработки исполнительского комплекса SCADA-программы,
- отработанность программного обеспечения,
- необходимое разнообразие и наглядность информационных средств представления информации,
- привычность и наглядность ввода оператором управляющих воздействий.

Все эти характеристики отличают разные SCADA-программы друг от друга, они имеют значительный интерес для потенциальных заказчиков, но их качественные оценки нельзя получить ни ознакомлением с рекламными материалами, ни даже просмотром документации соответствующей SCADA-программы. Их получение требует определенного труда потенциального заказчика, поэтому целесообразно проводить эти оценки только тогда, когда в результате анализа по всем предыдущим свойствам и отличиям у потенциального заказчика останется 2-3 претендента на конкретный заказ SCADA-программы и оценки и сопоставления качества работы только этих претендентов следует провести.

Простота разработки исполнительного комплекса SCADA-программы должна быть просмотрена и оценена разработкой с помощью инструментального комплекса некоего демонстрационного прототипа SCADA-программы, близкого требуемому реальному программному обеспечению оператора в проектируемой системе,

Практически это не вызывает организационных затруднений, поскольку ряд производителей SCADA-программ предлагают инструментальный комплекс бесплатно, другие бесплатно выдают его во временное пользование.

Отработанность программного обеспечения SCADA-программы косвенно характеризуется числом внедрений последней версии SCADA-программы и может быть оценена по соответствующему референц-листу.

Разнообразие и наглядность информационных средств представления информации, привычность и простота ввода оператором управляющих воздействий определяется изучением демо-пакетов, рассмотрением и сопоставлением состава наборов примитивов, элементов оборудования, модулей контроля и управления, придаваемых к программному обеспечению каждой SCADA-программы. Полезным является также общение с персоналом предприятий данной отрасли, обслуживающим рассматриваемые SCADA-программы, на предметы простоты их модификаций и удобства их использования операторами.

Повышение надежности работы SCADA-программы достигается диагностированием неисправностей и резервированием серверов, сетей, рабочих станций или отдельных исполняемых ими функций.

SCADA-программа обычно диагностирует обрывы сетей, соединяющих сервер с контроллерами и рабочих станций с сервером.

Горячее резервирование сервера ввода/вывода (сервера, связанного с контроллерами), чтобы не удваивать нагрузку на сеть, связывающую сервер с контроллерами, часто организуют следующим образом: резервный сервер каждый цикл получает все текущие данные от основного сервера, но если в очередной цикл данные от него не поступают (неисправность основного сервера), то резервный сервер сам подключается к этой сети и работает с ней до тех пор, пока он снова не начнет получать данные от основного сервера. Повышение надежности решения разных задач в сервере достигается также разделением функций сервера и разделением баз данных на отдельные группы задач: сервер работы с текущими сигналами ввода/вывода, сервер обработки графической информации, сервер поддержки отчетов, сервер обслуживания текущих событий и тревог.

Резервирование сетей, соединяющих рабочие станции с сервером и сервер с контроллерами, имеет ряд вариантов: возможно полное резервирование всех элементов сетей; возможно резервирование только физической среды передачи данных или только аппаратуры сети: сетевых контроллеров и повторителей; возможно резервирование связи сервера с контроллерами через дополнительные связи, например,

связями типа «точка к точке».

Резервирование рабочих станций достигается назначением для дублированных рабочих станций одних и тех же уровней доступа к информации и реализацией на них одних и тех же исполнительных комплексов SCADA-программы. Следует отметить, что поскольку все рабочие станции взаимозаменяемы, специальное их дублирование при наличии ряда рабочих станций, каждая из которых выполняет отдельные функции, не обязательно; при выходе из строя одной из рабочих станций ее функции передаются на одну из работающих, временно повышая ее нагрузку.

Безопасная эксплуатация SCADA-программ достигается исключением несанкционированного доступа к ним путем введения разнообразных по возможностям уровней доступа к информации SCADA-программы и к возможным воздействиям через нее на автоматизируемый объект, а на каждом уровне доступа введением многочисленных паролей, идентифицирующих конкретных пользователей SCADA-программы.

Глава 11. Взаимодействия прикладных программных компонентов, используемых SCADA-программой

В SCADA-программах широко используется свойство открытости различных программных компонентов, которое позволяет им взаимодействовать друг с другом; оно реализуется через универсальные технологии и типовые программные интерфейсы, которыми оснащаются программные компоненты разных фирм. Наиболее распространенные виды таких типовых взаимосвязей программ, используемых SCADA-программами, приводятся ниже.

11.1. Технология общения программ – OLE

OLE – Object Linking and Embedding (связывание и внедрение объектов). Данная, разработанная Microsoft технология, позволяет в среде Windows обмениваться объектами (программами) между программой-поставщиком (сервером OLE) и программой-получателем (клиентом OLE). Она определяет три вида обмена:

- копирование объекта – одномоментное действие, при котором объект теряет связь с сервером и переходит к клиенту;
- внедрение объекта (Embedding) - действие, при котором объект переходит к клиенту, а последний запоминает сервер и, при необходимости редактировать объект, он обращается к серверу для проведения этого действия;
- связывание объекта (Linking) - действие, при котором объект не

переходит к клиенту, а последний хранит о нем визуальное представление и его адрес в сервере. Если в сервере объект изменился, то и клиент будет его иметь в измененном виде.

Действия внедрения и связывания позволяют клиенту обрабатывать объект не у себя, а в сервере; при этом связывание экономит память у клиента, поскольку он хранит не сам объект, а только его адрес в сервере.

11.2. Компонентная объектная технология - COM/DCOM

Развитием технологии OLE является объектная технология COM/DCOM –Component Object Model/Distributed Component Object Model (компонентная объектная модель, локальная и распределенная). Она была разработана Microsoft для среды Windows, но постепенно была перенесена на другие распространенные операционные системы. По этой технологии программа строится из взаимодействующих между собою отдельных объектов-компонентов. Каждый компонент является самостоятельной, скомпилированной программой, готовой к использованию. При наличии библиотеки различных компонентов, можно из них собирать требуемые программы. Стандарт COM/DCOM определяет технологию создания программ из отдельных объектов, разработанных по определенным правилам. Он также устанавливает правила, которым должны следовать все компоненты, чтобы обеспечить их совместную работу. Распределенная компонентная архитектура DCOM поддерживает множество распространенных сетевых протоколов: TCP/IP, UDP, IPX/SPX, NetBIOS и др., поэтому программы, использующие технологию DCOM, могут работать в различных типах сетей.

Основные свойства компонентов:

- компонент является скомпилированной, готовой к реализации программой;
- компонент состоит из функциональной программы и интерфейса. Любая модификация функции, реализуемой компонентом, не затрагивает интерфейса, благодаря этому любое изменение компонента не нарушает его связи с другими компонентами;
- компонент может быть написан на любом языке программирования, это не сказывается на его связях с другими компонентами;
- компоненты могут находиться на одном компьютере или на компьютерах разных узлов сети, это никак не сказывается на их взаимодействии.

Для организации межкомпонентного взаимодействия используется механизм локального вызова процедуры, если компоненты находятся

на одном компьютере, и механизм удаленного вызова процедуры, если они находятся на разных компьютерах. При вызове одним компонентом другого он передает ему необходимые исходные данные для реализации заложенной в компоненте функции; если компоненты находятся на разных машинах, то эти данные преобразуются операционной системой в формат, учитывающий межмашинные различия. Для самих компонентов взаимодействие внутри одного компьютера или между разными компьютерами на отдельных узлах сети не отличаются, все связи и преобразования автоматически осуществляются технологией COM/DCOM.

11.3. Компонентная объектная архитектура – CORBA

Конкурентом модели COM/DCOM, также использующим компонентную сборку программ, является архитектура CORBA - Common Object Request Broker Architecture (общая архитектура брокеров объектных запросов), разработанная консорциумом OMG. Она определяет свой стандарт промежуточного уровня программного обеспечения связи компонентов. Архитектура промежуточного уровня базируется на следующих базовых принципах:

- компоненты программ могут находиться в разных исполняемых файлах, размещаться в разных технических средствах;

- компоненты могут быть написаны на разных языках программирования и выполняться под разными операционными системами.

Реализация указанных принципов в модели CORBA сходна с их реализацией в модели DCOM; однако существует ряд программных различий. Перечислим некоторые из них, имеющие отношение к сферам использования этих моделей:

- COM/DCOM разрабатывалась под операционные системы Microsoft (Windows) и затем уже расширяется на другие операционные системы, тогда как CORBA с самого начала нацелена на разнообразные операционные системы;

- COM/DCOM по сравнению с CORBA более ограничена в разнообразной языковой поддержке компонентов, тогда как CORBA с самого начала нацелена на гетерогенную среду.

В клиент-серверных системах масштаба отдельного предприятия с типовой операционной системой Windows и с преимущественно настольными системами более широкое использование получила модель DCOM.

В крупных холдингах и целых отраслях с программной и аппаратной многоплатформенностью, при необходимости интеграции с унаследованными приложениями на мейнфреймах наибольшее число

приложений получила модель CORBA.

Ряд компаний разработали взаимодействие между моделями DCOM и CORBA, что позволяет сосуществовать в системе объектам как той, так и другой модели.

11.4. Взаимодействие программ на базе архитектуры ActiveX

На технологиях OLE и COM/DCOM развилась архитектура ActiveX. Она позволяет в среде Windows одному программному компоненту (так называемому, управляющему элементу ActiveX или объекту ActiveX) взаимодействовать с другими программными компонентами.

Объекты ActiveX реализуются в двух основных формах: как встроенные в программу серверы и как серверы, реализуемые отдельно от программы. В первом случае программные компоненты могут строиться как ActiveX контейнеры (клиенты), в которые встраиваются серверы - управляющие элементы ActiveX (практически, строительные блоки программ). Во втором случае объекты ActiveX являются основой создания распределенных программ. При реализации объекта ActiveX как встраиваемого сервера достигается максимальная производительность, при реализации объекта ActiveX вне пространства программы уменьшается производительность и увеличиваются накладные расходы.

Объекты ActiveX позволяют программе:

- получать запрашиваемую информацию с разных программ и узлов сети;
- загружать и запускать программы на разных узлах сети;
- выполнять заданные функции в сетевой среде;
- получать извещения о происшедших событиях на разных узлах сети.

Объекты ActiveX используются в программах, написанных на разных языках.

11.5. Интерфейс взаимодействия программ в промышленных системах автоматизации - OPC

Стандарт OPC (OLE for Process Control – стандарт OLE для промышленного управления) сыграл очень важную роль в достижении открытости различных средств автоматизации. Он определяет, в частности, механизм доступа к данным контроллера из любого программного приложения. Наличие в открытых SCADA-программах стандартного интерфейса OPC позволяет непосредственно информационно соединять их с контроллерами разных фирм, у которых имеется интерфейс OPC, без разработки специальных драйверов.

Стандарт OPC разработан независимой международной организацией OPC Foundation, членами которой являются более 400 фирм. Он базируется на технологии OLE и работает при различных операционных системах. Стандарт OPC обеспечивает совместимость и взаимозаменяемость средств автоматизации от разных производителей. Через интерфейсы OPC одни программы могут читать и записывать данные в другие программы, передавать различные сообщения друг другу; все это происходит независимо от расположения программ на различных узлах сети и независимо от производителей аппаратуры и самих находящихся в ней программ.

Взаимодействие по интерфейсу OPC основано на клиент-серверной схеме. SCADA-программы и различные прикладные пакеты программ выполняют роль клиента при обмене данными с любым устройством (контроллером, блоком ввода/вывода, прибором), у которого есть OPC-сервер. При этом реализуются как прямые вызовы от клиента к серверу, так и обратные – от сервера к клиенту. Таким образом, любое техническое средство, у которого имеется OPC-сервер, может без каких-либо специальных драйверов взаимодействовать с любой открытой SCADA-программой.

Следует отметить, что хотя OPC не обеспечивает работу в жестком реальном времени, имеющаяся частота передачи данных порядка 50 мс обычно удовлетворяет требованиям большинства конкретных промышленных объектов.

Стандарт OPC состоит из десяти спецификаций; из них пять ниже следующих используются наиболее часто:

- OPC DataAccess(D&A) -доступ к данным реального времени (в частности, обмен текущими значениями между контроллерами и SCADA-программой),

- OPC AlarmsandEvents(A&E)– уведомление клиента (в частности, SCADA-программу) о тревогах и событиях,

- OPC HistoricalDataAccess(H&A) – доступ к историческим данным с помощью технологии COM/DCOM,

- OPC Batch – обмен информацией о состоянии оборудования,

- OPC Security – авторизация доступа к данным.

Доступ к данным реального времени (OPC DataAccess) имеет основное понятие – элемент данных. Каждый элемент данных (измеряемая величина) состоит из значения, которое может быть любой информацией скалярного типа; времени последнего обновления, которое предоставляется с 100-наносекундной точностью; признака качества - кода, который определяет достоверность значения.

Метка времени либо формируется и передается контроллером, либо

вносится компьютером, получающим данные.

Метка качества определяет качество данных и может принимать значения: хорошо, неопределенно, плохо. Если качество плохое или неопределенное, то получившее эти данные приложение имеет, обычно, доступ к полям диагностики, где метка качества расшифровывается. Она может конкретизироваться одним из ряда причин:

- отсутствие связи,
- сбой устройства,
- ошибка конфигурации,
- отказ датчика,
- данные заблокированы,
- причины неизвестны.

По требованию клиента OPC-сервер создает группу данных, которую он обновляет и передает клиенту с заданной ему клиентом частотой. Клиент может создавать для себя на сервере несколько групп данных, различающихся требуемой частотой обновления.

Обработка тревог и событий производится OPC-сервером тревог (OPC AlarmsandEvents); он формирует определенные логические параметры (события), посылает их клиентам, а последние подтверждают получение этих сообщений.

Доступ к историческим данным производится через OPC-сервер исторических данных (OPC HistoricalDataAccess), который полученные в реальном времени значения величин архивирует и предоставляет их по запросам клиентов.

Обмен данными между клиентом и сервером может проходить в синхронном режиме (клиент инициирует периодический обмен) и асинхронном режиме (сервер оповещает клиента об изменившихся значениях величин, интересующих клиента, что обеспечивает минимальное время обнаружения разных событий).

OPC-сервер часто является переводчиком с какого-то протокола на OPC, что значительно расширяет круг программ, работающих с данным средством.

В SCADA-программах интерфейс OPC может быть включен либо как один из интерфейсов взаимодействия с внешними программами; либо являться основой структуры SCADA-программы. В последнем случае все компоненты SCADA-программы взаимодействуют между собой через OPC, являясь, в зависимости от ситуации клиентами или серверами, или теми и другими одновременно.

Инструментальные средства для разработки OPC-компонентов могут либо поставяться разработчиками SCADA программ, либо независимыми производителями программных средств. Использование специализированных инструментальных средств создания OPC-

серверов и OPC-клиентов значительно упрощает разработку OPC-компонентов, поскольку предлагает готовую реализацию OPC-интерфейса.

Практика использования OPC-интерфейса выявила ряд его недостатков. В частности:

- он доступен только на операционных системах семейства Microsoft Windows;
- зависимость от технологии DCOM делает его недостаточно надежным, не позволяет обмениваться данными через Интернет, ограничивает информационную безопасность.

В связи с этим в 2006 году организация OPC Foundation предложила новую стандартную спецификацию для обмена данными в системах промышленной автоматизации - OPC Unified Architecture (OPC UA) - OPC с унифицированной архитектурой. Спецификация OPC UA совмещает все преимущества предыдущих спецификаций и не имеет приведенных выше недостатков.

Основным отличием спецификации OPC UA от ранее сформированных спецификаций стандарта OPC является отказ от технологии COM/DCOM. OPC UA устанавливает методы обмена сообщениями между OPC сервером и клиентом, которые обладают следующими важными свойствами:

- независимость от аппаратно-программной платформы, языков программирования, от типа взаимодействующих систем и сетей;
- обеспечение надежной и безопасной коммуникации, противодействующей вирусным атакам и гарантирующей идентичность информации клиента и сервера,
- наличие механизма быстрого обнаружения ошибок коммуникации и восстановления данных,
- возможность организации передачи информации через интернет.

11.6. Язык запросов к реляционным СУБД – SQL

SQL – Structured Query Language (язык структурированных запросов к реляционным базам данных). Он является международным стандартом ISO, первая версия которого была утверждена в 1987 г.. В настоящее время он поддерживается подавляющим большинством реляционных СУБД, которые имеют для этого компилятор запросов языка SQL.

Язык SQL является универсальным средством общения пользователей и их прикладных программ с СУБД.

Язык SQL строится как логическое условие выборки определенных данных из одной или ряда таблиц (файлов) СУБД; он базируется на широком использовании различных предикатов и кванторов.

Язык SQL обеспечивает авторизацию доступа к СУБД: каждый

пользователь имеет свои, доступные ему объекты базы данных и он, в частности, может с помощью SQL передать свои права на эти объекты другому пользователю.

Основные категории команд языка SQL:

- команды определения данных позволяют создавать и изменять структуру объектов базы данных; например, создавать и удалять таблицы;

- команды манипулирования данными используются для манипулирования информацией внутри объектов реляционной базы данных;

- команда запросов используется для формирования запросов к реляционной базе данных;

- команды управления данными позволяют управлять доступом к информации, находящейся внутри базы данных и служат для контроля над распределением привилегий между пользователями;

- команды администрирования данных осуществляют контроль за выполняемыми действиями.

Главные достоинства языка SQL:

- независимость от конкретных СУБД;

- возможность переноса языка с одной вычислительной системы на другую;

- простота его изучения пользователями;

- работа в интерактивном режиме, когда можно получить результат запроса за очень короткое время без написания сложной программы;

- поддержка архитектуры клиент-сервер, поскольку он служит связующим звеном между взаимодействующей с пользователем клиентской системой и серверной системой, управляющей базой данных;

- наличие средств динамической компиляции запросов: возможно построение эффективных диалоговых систем с типовыми наборами запросов.

11.7. Обмен программ с СУБД на базе драйвера ODBC

Для реализации унифицированного доступа клиентов к различным СУБД введено понятие типового драйвера ODBC – Open Data Base Connectivity (открытый интерфейс взаимодействия с базой данных). ODBC позволяет взаимодействовать приложениям (программам), работающим в среде Windows (а с помощью сторонней разработки и в среде Unix) посредством операторов языка SQL с СУБД, функционирующими под различными операционными системами. Фактически, ODBC это интерфейс, обеспечивающий взаимную совместимость серверных и клиентских компонентов доступа пользователя к данным; он изолирует клиента от особенностей реализации источника данных, предоставив ему стандартный интерфейс доступа. Иначе, он позволяет создавать

приложения, способные работать со многими СУБД, при условии, что эти СУБД тоже поддерживают этот стандарт. При этом, со стороны клиента совершенно не обязательно знать с какой СУБД он работает в данный момент.

Драйвер ODBC состоит из клиентской и серверной частей. В клиентской части находятся менеджер драйверов и ODBC-драйверы. Менеджер драйверов, получив запрос на функции ODBC по выполнению SQL-инструкций, загружает соответствующий определенной СУБД ODBC-драйвер. ODBC-драйвер обрабатывает функции ODBC, передает операторы SQL в СУБД и возвращает результат отправителю запроса (пользователю или прикладной программе). В серверной части, находящейся на стороне источника данных - СУБД, имеются детали сетевого интерфейса, расположение и имя СУБД и другие необходимые для общения с клиентской частью элементы.

Достоинства использования драйвера ODBC:

- независимость клиентского приложения от деталей реализации источника запрашиваемых данных;
- легкий переход приложения к различным СУБД;
- возможность работы клиентского приложения с несколькими серверами баз данных;
- поддержка драйвера ODBC со стороны большого числа разработчиков СУБД.

Глава 12. Направления развития SCADA-программ

Важно отметить все усиливающуюся последние годы тенденцию включения SCADA-программы в более общий набор взаимосвязанных, повсеместно используемых программных пакетов, имеющих единые информационные базы данных (текущего времени и исторические) и совместно реализующие функции контроля и управления разных объектов и на разных иерархических уровнях производства.

Если типовая задача SCADA-программы заключается в обработке информации от средств системы автоматизации технологического агрегата и реализации взаимодействия операторов с этой системой автоматизации, то ее развитие захватывает задачи следующих областей:

- добавление функций по автоматизации обслуживания входящих в АСУТП контроллеров. В частности, многие SCADA-программы используют пакет программирования контроллеров – SoftLogic;
- включение функций обработки информации в системах автоматизации других классов производственных объектов и реализация взаимодействия персонала определенных производственных служб с этими системами. В частности, в системах автоматизации уровня

всего производства используются единые, интегрированные с АСУТП SCADA-программы, имеющие расширенный функциональный состав. Их применение упрощает разработку и взаимодействие между серверами и рабочими станциями отдельных служб управления производством.

Если первая задача включает в функции SCADA-программы обслуживание более низкого, промышленного уровня АСУТП; то вторая задача обогащает SCADA-программы новыми функциями, относящимися к обработке данных систем автоматизации разных классов производственных объектов в составе всего производства.

Примерный набор функций, реализуемых отдельными программными пакетами, в таких интегрированных SCADA-программах включает в себя:

- сбор, вычислительную и логическую обработку, архивирование измеряемых данных;
- создание различных форм взаимодействия средств и систем автоматизации с операторами и инженерным персоналом производства;
- использование технологических языков программирования контроллеров;
- работу с библиотеками программ регулирования и логического управления непрерывными и периодическими технологическими процессами;
- поддержку мониторинга и обслуживания оборудования производства;
- контроль и учет текущей работы всего производства, включающий вычисление ключевых показателей эффективности производства и отдельных его подразделений;
- обработка данных по работам производственного персонала: расчет стоимости, фиксация качества, оценка сроков выполнения отдельных работ и статистический анализ частоты и параметров выполнения отдельных классов работ;
- обмен производственной информацией (текущими значениями измеряемых величин, возникающими событиями, ключевыми учетными показателями, архивными данными) между рабочими станциями персонала производства и их с пультами руководящего персонала предприятия.

12.1. Развитие SCADA-программы по обслуживанию контроллеров АСУТП

Ряд SCADA-программ включил в свой состав средство программирования контроллеров – SoftLogic, использующее технологические языки стандарта МЭК 61131-3. Благодаря этому в SCADA-программе образуется единая система программирования

и тестирования всех компонентов ПТК: контроллеров, серверов и рабочих станций.

Варианты SoftLogic, которые используются в отдельных SCADA-программах, различаются по многим свойствам:

- SoftLogic могут охватывать, как все пять языков стандарта МЭК 61131-3, так и наиболее востребованные для контроллеров АСУТП языки LD и FBD. Иногда разработчики SCADA-программы добавляют в SoftLogic нестандартный язык собственной разработки;

- среда программирования в SoftLogic может быть заимствованной: типа CoDeSys или ISaGRAF. Иногда разработчики SCADA-программы используют собственную разработку среды программирования контроллеров;

- включенное в SCADA-программу SoftLogic либо является универсальным для любых контроллеров, либо ограничивается отдельными типами контроллеров или классом контроллеров, работающих под определенной операционной системой.

Если в библиотеке SCADA-программы имеется достаточно полный набор готовых программных блоков типовой вычислительной обработки значений измеряемых величин, различных вариантов регулирования, формул логического управления, блокировочных зависимостей взаимосвязанных механизмов, то программирование контроллеров может производиться путем конфигурирования программы их работы имеющимися программными блоками.

Отладка программ работы контроллеров в SCADA-программе проводится либо в контроллерах реального ПТК, либо режимом эмуляции в компьютере, если в нем заложен имитатор работы контроллера в реальном времени.

В отдельные SCADA-программы включаются и функции слежения за работой контроллеров и корректировки их работы:

- вычисление текущей точности поддержания каждым контуром регулирования заданного значения регулируемой величины;

- программы самонастройки и/или адаптивной корректировки параметров контуров регулирования.

12.2. Развитие SCADA-программы по обслуживанию оборудования (ЕАМ)

В ряд SCADA-программ включаются функции автоматизации текущего обслуживания оборудования производственных объектов:

- электронная паспортизация оборудования: создание базы данных документации оборудования, в которой ведется вся история эксплуатации и ремонтов отдельных единиц оборудования: их перемещения по производственным объектам, перечень их ремонтов с временем их

проведения и составом проведенных ремонтных работ, их наработкой между последовательными ремонтами, частотой возникновения дефектов отдельных видов;

- вычислительная обработка текущих данных измерительных средств автоматического мониторинга состояния основного динамического и статического оборудования;

- фильтрация измеряемых величин от высокочастотных помех, если показателями текущего состояния оборудования выступают сами значения измеряемых величин;

- усреднение измеряемых величин за определенное время, если показателями текущего состояния оборудования считаются средние значения измеряемых величин;

- расчет дисперсий измеряемых величин за определенный интервал времени, если показателями текущего состояния оборудования считаются текущие дисперсии измеряемых величин;

- прогноз значений измеряемых величин, показывающий развитие во времени дефектов оборудования (его износа), фиксируемых измеряемыми величинами;

- вычисление разности текущих и полученных в определенный прошлый момент (интервал) времени аналогичных характеристик измеряемых величин, указывающее на скорость развития дефекта во времени.

В целом это обеспечивает непрерывное автоматическое слежение за качеством работы оборудования и позволяет своевременно выявлять возникающие дефекты оборудования, которые могут привести к его отказу, и прогнозировать их развитие.

Следует подчеркнуть, что здесь под изменением любого показателя состояния оборудования во времени понимается изменение значений этого показателя не по календарному времени, а по времени наработки соответствующей единицы оборудования.

12.3. Развитие SCADA-программы по обслуживанию службы диспетчеризации производства

Обслуживание диспетчерской службы или единой операторной производства приводит к необходимости работать данной SCADA-программе с различными СУБД серверов отдельных АСУТП: принимать от них информацию, проверять ее достоверность, преобразовывать в единый формат, обрабатывать, хранить, выдавать пользователям.

Имена измеряемых величин, по разному сформированных в СУБД различных АСУТП, приводятся к единой системе имен всех вводимых в диспетчерскую систему величин и заменяются на наиболее понятные для пользователей обозначения; например, на имя производственного

объекта и наименование измеряемой в нем величины.

Отдельные SCADA-программы, при их развитие на обслуживание единой операторной производства, реализуют следующие функции контроля и учета работы производства:

- сбор данных от средств и систем всех производственных объектов разных производителей путем использования многих различных интерфейсов;

- перекодирование, интеграция, сжатие и архивация введенных данных;

- централизованная диагностика поступления и хранения данных;

- расчет текущего ресурса различного оборудования производства;

- оценка производительности отдельных агрегатов и цехов;

- оценка энергопотребления отдельными агрегатами;

- контроль и учет различных материальных и энергетических потоков;

- контроль и учет качества выпускаемых агрегатами полуфабрикатов и выпускаемой производством готовой продукции;

- создание и выдача различным руководящим подразделениям предприятия отчетных документов заданных форм.

Особенности обслуживания диспетчерской службы касаются формирования следующих характеристик работы производства:

- учета поступления на предприятие сырьевых компонентов и отгрузки готовой продукции;

- количественных показателей выработки и качественных характеристик полуфабрикатов и готовых продуктов по отдельным хранилищам, цехам и технологическим агрегатам;

- регистрации маршрутов движения материальных потоков сырья, полуфабрикатов, готовой продукции и их перемещения по транспортным линиям;

- расчета масс сырья, полуфабрикатов, готовой продукции в разных хранилищах и регистрации остатков в них после загрузок и отбора;

- контроля и учета компаундирования полуфабрикатов;

- вычисления ключевых показателей эффективности работы производств за заданные интервалы времени: массы (или объемы) приема, выработки, перемещений, смешений, отгрузки, остатков материальных потоков, энергопотребления.

Вторая часть

Особенности построения современных систем автоматизации производственных объектов

Раздел V.

Структуры и функции систем автоматизации разных классов производственных объектов

Общие положения

В данном разделе рассматривается класс систем автоматизации любых производственных объектов предприятий технологических отраслей, поскольку описываемые основные свойства систем автоматизации резервуарных парков и хранилищ сыпучих материалов, систем компаундирования жидких и твердых продуктов, систем управления котельными, насосными, компрессорами и т. п. по рассматриваемым основным свойствам мало отличаются от систем автоматизации технологических агрегатов (от АСУТП).

Как ранее уже указано, каждая из систем этого класса иерархически подразделяется на три уровня: полевой, промышленный и информационный. Повторим состав технических компонентов каждого из уровней этих систем:

- **средства полевого уровня:** датчики и исполнительные комплексы, состоящие из исполнительных механизмов и регулирующих органов;
- **средства промышленного уровня:** контроллеры с встроенными в них или распределенными по производству блоками ввода/вывода;
- **средства информационного уровня:** серверы, обрабатывающие и хранящие контрольную, учетную и управляющую информацию, рабочие станции операторов и администратора системы.

Все эти средства взаимодействуют через объединяющие их полевые, промышленные и информационные сети.

Обобщенно, рассматриваемые системы часто подразделяют на средства полевого уровня и программно-технические комплексы (ПТК), состоящие из средств промышленного уровня (контроллеров с входящими в их состав блоками ввода/вывода), и средств информационного уровня (серверов, рабочих станций операторов и администратора сети). Основной сетевой уровень ПТК - промышленная сеть, соединяющая между собою контроллеры с серверами и/или с рабочими станциями. Кроме того, ПТК большей частью имеет информационную сеть, соединяющую сервер и рабочие станции между собою, и полевую сеть, которая связывает отдельные контроллеры с их блоками ввода/вывода, если они выделены в отдельные конструктивы и вынесены к местам расположения датчиков и исполнительных механизмов. Кроме того, полевые сети соединяют блоки ввода/вывода контроллеров с средствами полевого уровня.

На практике наибольшее распространение получили территориально

распределенные ПТК, в которых контроллеры или их блоки ввода/вывода (что чаще) вынесены на производство к местам расположения датчиков и исполнительных механизмов и соединены сетью с центральной частью ПТК. Такой ПТК имеет наименование «Распределенная система управления (PCY)» или в англоязычных материалах «Distributed Control System (DCS)».

Важно отметить, что отдельно рассматриваемые ПТК или PCY не являются полномасштабной системой автоматизации производственного объекта (как это большей частью принимается на предприятиях), поскольку в них не входят средства полевого уровня. Это чисто терминологическое несоответствие приводит к существенным конкретным потерям на практике: внедрение современного ПТК или PCY на производственном объекте без необходимой модернизации, замены и расширения средств полевого уровня (что не редко наблюдается на предприятиях разных отраслей) фактически равносильно построению здания без надлежащего фундамента и, естественно, не может способствовать достижению возможной эффективности от функционирования новейших ПТК или PCY.

Основные технические и программные средства систем контроля и управления производственными объектами описаны в первой части книги, поэтому данный раздел направлен на рассмотрение существующих вариантов их объединения в единые системы автоматизации; на анализ свойств и характеристик таких систем, ориентированных на разные классы производственных объектов; на перспективы развития этих систем, определяемых направлением развития всех составляющих их компонентов.

Ниже основное внимание уделяется тем свойствам систем автоматизации любых производственных объектов, которые отличают их с точки зрения использования, позволяют потенциальным пользователям лучше понять разницу между отдельными средствами и системами, связать определенные свойства объекта и требования к системе его автоматизации с характеристиками и параметрами конкретных технических и программных средств.

Глава 13. Системы контроля и управления рабочими режимами производственных объектов

Используемые на предприятиях разновидности систем автоматизации любых производственных объектов, состоящие из средств полевого уровня (датчиков и исполнительных комплексов) и ПТК, определяются следующими факторами:

- классом производственных объектов, в которых они используются;
- функциями контроля и управления, которые они реализуют;
- особенностями сопряжения отдельных компонентов систем; в частности, способом взаимосвязей ПТК с имеющимися средствами полевого уровня;
- вариантом обмена информацией с внешними информационными системами;
- условиями работы технических компонентов систем в существующих производственных средах.

Свойства любой конкретной системы зависят от возможного числа различных сочетаний в ней вариантов отдельных компонентов и от их показателей:

- числа и характеристик отдельных технических средств системы,
- вида и разнообразия реализуемых в ней программ,
- сетевой топологии системы и характеристик цифровых сетей,
- имеющихся интерфейсов и разновидностей физической среды передачи информации между техническими средствами системы.

Сами ПТК и средства полевого уровня различных производителей, естественно, отличаются друг от друга отдельными свойствами и характеристиками, но, обобщая имеющиеся современные разработки ведущих производителей основных компонентов систем автоматизации, можно отметить общие черты современных систем автоматизации производственных объектов, присущие их любым разновидностям:

- датчики, измеряющие различные физические величины, оснащены микропроцессорами, что позволяет включить в них ряд вычислительных алгоритмов и проводить самодиагностику их работы;
- в исполнительные комплексы включены компоненты обратной связи, передающие в контроллеры данные об исполнении заданных им управляющих воздействий;
- основные компоненты ПТК: контроллеры и рабочие станции взаимодействуют между собой либо через серверы, либо непосредственно; причем в последнем случае в самих рабочих станциях происходит архивирование и вычислительная обработка данных, полученных от контроллеров, от средств полевого уровня и от различных внешних для ПТК информационных систем предприятия;
- наиболее распространенные ПТК достаточно масштабных производственных объектов имеют в своем составе различные по мощности и параметрам модификации контроллеров, выбор которых определяется конкретными свойствами автоматизируемого объекта;
- рабочие станции ПТК, реализуемые на персональных компьютерах, могут иметь до четырех мониторов, на которых одновременно

выдаются различные группы текущих данных о протекании автоматизируемого производственного процесса;

- повсеместно используются мобильные станции операторов, которые по беспроводной связи реализуют позволенные им контрольные и управляющие функции;

- кроме (или вместо) типовой клавиатуры рабочей станции в ряде ПТК применяется специальная клавиатура или сенсорная панель, функции которых конфигурируются специально под оператора;

- производятся ПТК, имеющие в максимальной модификации до 50-ти и более рабочих станций и до 100 и более контроллеров;

- в отдельных ПТК реализована связь с телевизионными камерами, которые позволяют оператору следить через монитор рабочей станции за внешним состоянием производственного объекта, дистанционно менять наведение камер, проводить видеозаписи при возникновении событий, которые подлежат дальнейшему анализу;

- в зависимости от конкретных технических требований большинство систем поставляется с различными вариантами резервирования технических средств, вплоть до полного резервирования всех их основных компонентов:

- горячего резервирования контроллеров;

- взаимного резервирования рабочих станций;

- резервирования всех сетей, связывающих средства ПТК между собою и ПТК со средствами полевого уровня;

- резервирования технических компонентов сетей (коммутаторов, антенн, сетевых плат в отдельных средствах и т. п.);

- резервирования отдельных датчиков;

- резервирования фидеров питания и использование блоков бесперебойного питания;

- обеспечивается диагностика работы основных компонентов системы, причем глубина диагностики в ряде систем обеспечивает контроль работы отдельных модулей контроллеров, датчиков и исполнительных комплексов; она достигает каждого канала, соединяющего контроллер с отдельным средством полевого уровня;

- устойчивая работа систем обеспечивается следующими факторами:

- введение в систему новых контроллеров, новых блоков ввода/вывода, новых рабочих станций, новых средств полевого уровня производится при функционирующей системе без ее отключения;

- отказ любого технического средства системы не изменяет работоспособность других средств системы;

- замена любого технического модуля контроллера может производиться без отключения питания контроллера и без отключения

большинства реализуемых им функций контроля и управления;

- отказ модуля вывода управляющего сигнала на исполнительный механизм переводит последний в безопасное положение;

- ПТК рассчитаны на связь с любыми средствами полевого уровня, выдающих в контроллеры типовые аналоговые, дискретные и цифровые данные, причем подсоединение к ним возможно различными путями: отдельными линиями или различными типовыми цифровыми, проводными или беспроводными сетями.

В данной главе выделяются особенности вариантов систем автоматизации, которые применяются для различных классов производственных объектов предприятий технологического типа.

13.1. Системы автоматизации технологических объектов

13.1.1. Системы автоматизации малых технологических объектов

Системы автоматизации малых технологических объектов, имеющих порядка нескольких десятков контролируемых и управляемых величин, обычно имеют местные посты управления. Они преимущественно оснащаются ПТК, конструктивно состоящими из одного универсального панельного контроллера с блоками ввода/вывода и встроенной в корпус контроллера рабочей станции оператора с монитором и клавиатурой. Контролируемые и управляемые средства полевого уровня могут быть самыми разнообразными, зависимыми от реализуемого в объекте технологического процесса.

Простейшим вариантом такой системы является панельный контроллер с текстовым дисплеем и рядом управляющих кнопок, имеющий ограниченные возможности программирования или даже только настройку параметров заранее прошитой в памяти панельного контроллера программы. Ряд средств полевого уровня разного назначения связаны с контроллером аналоговыми линиями связи, а имеющиеся исполнительные комплексы, зачастую уже встроены в автоматизируемый объект.

13.1.2. Системы автоматизации технологических агрегатов любого объема

Системы автоматизации наиболее распространенных технологических агрегатов со средним и большим числом контролируемых и управляемых величин (до нескольких сотен, тысяч и более) имеют принципиально иную структуру ПТК и другой набор его средств. Предпочтительное распространение получили структуры системы, формируемые из распределенного по производству ПТК, состоящего из ряда универсальных контроллеров разных модификаций одной

серии, объединенных с сервером (или серверами) ПТК промышленной сетью. Имеющиеся рабочие станции ПТК, связаны между собою и с сервером информационной сетью. Блоки ввода/вывода контроллеров вынесены на производство к датчикам и исполнительным механизмам и связаны с контроллерами полевыми сетями. Сами контроллеры вместе с рабочими станциями и серверами чаще размещаются в отдельном помещении – операторной агрегата, реже - контроллеры тоже распределяются по производству. Современные средства полевого уровня разнообразного типа взаимодействуют с контроллерами, в основном, через цифровые проводные или беспроводные полевые сети. Распространенными типами датчиков являются измерители давления, температуры, расходов материальных и энергетических потоков. Все более широкое применение приобретают также датчики оценки текущего состояния основного оборудования производственных объектов.

В типовой набор алгоритмов и программ управления, реализуемых системой, входят ПИД регулирование и логические, блокировочные зависимости управлением пуском, остановом и изменениями режима работы технологического агрегата.

13.2. Системы автоматизации производственных хранилищ

13.2.1. Системы автоматизации резервуарных парков жидких продуктов

Резервуарные парки состоят из ряда компактно размещенных резервуаров, обязанных продуктопроводами между собою и с внешними подразделениями производства, пульта управления с контроллером, сервером и цифровой сети связи пульта с датчиками резервуаров. Сами резервуары могут быть разных видов по конструкции (вертикальные, горизонтальные, цилиндрические, сферические) и по способу хранения (под давлением или без избыточного давления). Основные функции контроля и управления не зависят от вида резервуаров. Ими являются:

- контроль и учет объема и массы продукта в резервуаре (масса продукта вычисляется по измеряемым в каждом резервуаре величинам: уровню жидкости, ее температуре, плотности, а объем продукта вычисляется по уровню заполнения резервуара с использованием его калибровочной таблицы);
- оценка свободного объема резервуаров для приема продуктов;
- прогноз времени заполнения/опорожнения резервуара при его подключении к продуктопроводам;
- расчетное выявление утечек по показаниям уровнемера и приведению объема продукта к эталонной температуре;

- управление заполнением и опорожнением резервуара внутри парковочными и внешними перекачками продуктов.

Особенности структур систем, автоматизирующих резервуарные парки жидких продуктов, обусловлены спецификой выполняемых функций и типов измеряемых величин, достаточно компактным расположением резервуаров парка и небольшим числом однотипных датчиков для каждого резервуара.

Контроллер вместе с рабочей станцией обычно размещаются в операторной резервуарного парка и проводной или беспроводной сетью соединяются с датчиками каждого резервуара и с исполнительными комплексами перекачки продуктов.

В типовой набор датчиков, опрашиваемых ПТК, входят уровнемеры, многозонные датчики температуры, датчики давления, плотномеры (или лабораторные анализаторы плотности), расходомеры и массомеры.

Типовыми алгоритмами и программами, реализуемыми в системе, являются:

- контроль текущего уровня заполнения резервуаров;
- расчет объема продукта в резервуарах по их калибровочным таблицам;
- расчет массы продукта в резервуарах по занимаемому им объему, его плотности и температуре;
- расчет свободного объема резервуаров для приема продукта;
- расчет объема и массы перекачиваемого продукта,
- управление работой перекачивающих продукты насосов и задвижек трубопроводов.

13.2.2. Системы автоматизации складов сыпучих материалов

Основными функциями систем являются контроль и учет объема и массы материалов в бункерах, силосах или навалом в складе, а также оценка свободного объема хранилищ для приема материалов; управление ограничивается заполнением и опорожнением хранилищ.

Структурные особенности систем определяются свойствами склада и его оборудованием:

- хранением материала в бункерах, силосах, навалом в складе;
- дозированием материала из бункера (силоса) с помощью винтового шнека, шнека с ворошителем для исключения слеживания материала, «живого пола» - подвижного дна бункера для доставки материала на транспортер;
- перемещением материала внутри склада и за его пределы с помощью транспортера, грузовых транспортных средств;
- контролем и учетом хранимого и перемещаемого материала

уровнемерами в бункерах и силосах, весами при его транспортировке, лазерными датчиками расчета объема пустого пространства склада, заполняемого материалом навалом.

Местный пост управления складом в зависимости от числа отдельных хранилищ: бункеров, силосов - может формироваться ПТК, состоящим из одного панельного контроллера либо из контроллера вместе с рабочей станцией. Он обычно размещается непосредственно в помещении склада. Средства полевого уровня полностью определяются существующим оборудованием склада. Они соединяются с контроллером проводной или беспроводной сетью.

В типовой набор алгоритмов и программ, реализуемых в ПТК, входят:

- контроль уровня материала в бункерах и силосах;
- расчет массы материала в отдельном хранилище по его уровню, удельному весу и калибровочной таблице хранилища;
- расчет свободного объема хранилища для приема материала;
- расчет массы перемещаемого материала;
- управление работой механизмов перемещающих материал.

13.3. Системы автоматизации узлов поточного смешения компонентов

13.3.1. Системы автоматизации узлов поточного смешения жидких продуктов

Узел поточного смешения (компаундирования), приготовляющий готовый продукт заданного качества из находящихся в резервуарах полуфабрикатов (реже, непосредственно из полуфабрикатов, вырабатываемых во время смешения технологическими агрегатами) повсеместно распространен на предприятиях технологического типа.

Структурные особенности данного варианта системы автоматизации определяются реализуемыми ею прикладными программными модулями, обеспечивающими требуемое качество готового продукта при известных качественных показателях, используемых при смешении полуфабрикатов.

Основная задача получения начальной рецептуры смешения и ее корректировки при проведении процесса смешения выполняется в специальном компьютере по заданному значению требуемого качества готового продукта и известным качественным показателям отобранных для смешения полуфабрикатов. Во многих случаях качество готового продукта нелинейно зависит от показателей качества используемых полуфабрикатов, что значительно усложняет алгоритм вычисления

рецептуры смешения. Естественно, что в процессе смешения имеется много факторов, искажающих вычисленную начальную рецептуру смешения, что приводит к необходимости ее текущей коррекции, которая производится по показаниям поточного анализатора качества получаемой смеси. Он непрерывно или достаточно часто измеряет текущее значение качества смеси либо на выходе узла смешения, либо в резервуаре, куда поступает приготовленный продукт. Следует отметить, что при достижении объема смеси в резервуаре 80-90% от заданного объема вводится режим доводки, который так корректирует расходы отдельных смешиваемых полуфабрикатов, чтобы при достижении 100-процентного объема полностью удовлетворить необходимому, заданному качеству приготовленного продукта.

Кроме этого, в компьютере решается задача построения временных расписаний получения отдельных готовых продуктов, если рассматриваемый узел смешения используется для приготовления различных готовых продуктов из тех же или других полуфабрикатов.

Типовой технический состав системы, обычно размещаемый в местном пульте управления узлом смешения, состоит из следующих компонентов:

- компьютера, решающего задачу смешения;
- контроллера, реализующего заданные компьютером соотношения смешиваемых полуфабрикатов;
- рабочей станции оператора;
- одного или нескольких поточных анализаторов качества, снабжающих контроллер исходной информацией для формирования управляющих воздействий на расходы смешиваемых полуфабрикатов;
- исполнительных комплексов, реализующих управляющие воздействия путем изменения расхода каждого полуфабриката.

Набор прикладных программ, реализуемых контроллером, решает задачу поддержания заданного соотношения смешиваемых полуфабрикатов, получаемого от компьютера. Решение реализуется выполнением следующих функций:

- измерением расхода каждого полуфабриката;
- регулированием расхода каждого полуфабриката в соответствии с заданным рецептом, что конкретно приводит к управлению насосами и регулируемыми клапанами трубопроводов полуфабрикатов.

13.3.2. Системы автоматизации узлов поточного смешения сыпучих материалов

Задачей систем является получение смесей заданного качества из ряда материалов с известными показателями качества.

Структурные особенности системы зависят от оборудования узла

смешения:

- от типов дозаторов смешиваемых компонентов: бункерного типа (объемных или весовых, с вибратором или с вибратором и ворошителем), тарельчатых питателей, ленточных транспортеров;

- от исполнительных механизмов дозаторов, которыми большей частью являются асинхронные двигатели, оснащенные частотными преобразователями, изменяющими их скорость;

- от используемых датчиков: весовых, объемных, тензометров, сигнализирующих о достижении заданного веса при порционном дозировании;

- от объема хранилища смеси и наличия в нем средств перемешивания.

Отдельному компьютеру задаются качественные показатели смешиваемых компонентов (последние обычно получены лабораторными анализами компонентов) и требуемый объем и качественные показатели вырабатываемой смеси. На основе этих исходных данных он разрабатывает необходимую рецептуру смеси и определяет расход основного компонента смеси, соотношение расходов всех используемых компонентов, общий объем или вес приготавливаемой смеси. Соответствующий этой рецептуре набор программ реализуется в контроллере системы, который конструктивно является либо панельным контроллером, либо контроллером с отдельной рабочей станцией. На полевом уровне функционируют необходимые средства контроля и управления.

Во многих системах смешивания контроллер системы реализует выданную ему рецептуру в трех последовательно реализуемых режимах: грубом, точном и досыпке. Грубый режим выполняется при включении цикла смешения, при окончании переходного процесса включения устанавливается точный режим смешения и после завершения цикла смешения происходит проверка выполнения заданного объема или веса смеси и при необходимости проводится режим досыпки.

13.4. Системы автоматизации производственных объектов в составе единой операторной производства

Для многих крупных предприятий ряда отраслей все более актуальным становится объединение операторных отдельных производственных объектов: технологических агрегатов, хранилищ сырья, полуфабрикатов и продукции, энергетических установок, участков приема сырьевых компонентов и отгрузки готовой продукции и т. д. - в общий центр операторского управления всеми производственными объектами, который принято называть «Единая операторная». Организация

управления производственными объектами из единого центра, которая является достаточно сложным и трудоемким по разработке и внедрению мероприятием, обусловлена следующими причинами:

- управляющий отдельными производственными объектами персонал переводится в безопасную и безвредную зону;
- улучшаются условия труда производственного персонала;
- упрощается взаимодействие операторов отдельных производственных объектов между собой и их с диспетчером производства;
- сокращается общее число операторов за счет их более равномерной загрузки определенным числом систем управления, не обязательно принадлежащих одному производственному объекту;
- повышается оперативность управления технологическими процессами и производством в целом;
- улучшается качество управляющих решений за счет слежения операторов не только за работой своего, но и соседних с ним по ходу производства агрегатов;
- формируется общая сетевая структура связи АСУТП различных производителей с единой операторной;
- создается общий централизованный архив информации работы производства.

В единой операторной обычно размещаются диспетчер производства, начальник смены, технолог смены, инженеры – администраторы систем и все операторы производственных объектов.

Организация единой операторной производства требует пересмотра многих принятых в отдельных операторных участках производства форм и способов человеко-машинного взаимодействия, которые способствуют облегчению восприятия операторами разных данных и сообщений и позволяют расширить область управления отдельного оператора (в частности, вплоть до управления нескольких производственных объектов одним оператором).

В единой операторной необходимы:

- единый перечень обозначений величин всех производственных объектов, исключающий совпадения имен величин у разных объектов;
- общие по производству единицы измерения, в которых выдаются операторам оценки значений величин и показателей;
- аналогичные формы выдачи информации (измеряемых данных, рассчитываемых показателей, сообщений, сигналов) операторам на разных производственных объектах.

Создание единой операторной корректирует всю схему управления производством, заново формируя структуру систем автоматизации

отдельными производственными объектами:

- все системы автоматизации отдельных производственных объектов связываются с операторной проводной или беспроводной промышленной сетью;

- в ПТК отдельных систем вводятся более мощные по вычислительным возможностям модификации контроллеров или отдельные компьютеры для реализации алгоритмов оптимизации работы отдельных участков производства;

- формируется взаимосвязь и объединение различных программных модулей, используемых в системах автоматизации отдельных технологических объектов, для решения общих задач управления несколькими взаимозависимыми объектами. В частности, для этого применяются компонентные объектные технологии - COM/DCOM и CORBA, которые определяют формы создания программ из отдельных объектов-компонентов;

- создается, кроме отдельных рабочих станций операторов, общая экранная панель, на которую выводятся основные данные о текущем состоянии производства и все сообщения о различных нарушениях, важных для основного персонала единой операторной. Панель обеспечивает простое взаимодействие всего персонала операторной: диспетчера производства, операторов систем автоматизации разных объектов и других специалистов; облегчает их совместный анализ различных производственных ситуаций и принятие необходимых управляющих решений;

- в цехах рядом с производственными объектами остаются только специальные, резервные пульты операторов, через которые возможно при определенных аварийных ситуациях реализовывать компенсирующие управляющие воздействия;

- существенно возрастает роль обходчиков и реализуются различные системы их связи с операторами: всепогодные переговорные радиоприборы, громкоговорители и т. п.;

- значительно расширяется роль теленаблюдения за внешним состоянием производственных объектов, поскольку операторы лишены возможности их визуального рассмотрения; реализуется видеонаблюдение с дистанционным наведением телекамер оператором.

Создание единой операторной существенно изменяет хранение и обработку информации о работе производства. В операторной формируется объединенная база данных производственных объектов, объединяющая до 500 тысяч (и более) тегов и располагаемая на многих взаимосвязанных серверах. Серверы, кроме типовых интерфейсов,

имеют десятки драйверов к контроллерам разных производителей, поскольку обычно эксплуатируемые на производстве ПТК являются разновременной продукцией разных фирм.

В целом, единая операторная полностью меняет сетевую структуру систем автоматизации отдельных производственных объектов, в большинстве случаев увеличивает число различных технических средств систем, значительно перестраивает программное обеспечение отдельных систем, унифицирует средства взаимодействия ПТК с операторами.

Глава 14. Системы противоаварийной защиты производственных объектов

Самостоятельным и наиболее ответственным классом систем автоматизации производственных объектов являются системы противоаварийной защиты (системы ПАЗ), обеспечивающие безопасность работы взрывоопасных производственных объектов, широко распространенных на предприятиях разных технологических отраслей. Задачей таких систем является слежение за ходом автоматизируемого процесса в объекте и в случае возникновения в нем предаварийного состояния немедленно автоматически переводить процесс в безопасное состояние и сигнализировать об этом оператору. Подобную же задачу решают системы пожарной и газовой безопасности; системы управления горелками; системы критических защит опасных процессов; системы безопасности компрессоров; системы защиты резервуаров от перелива, от течи, от повышения давления и температуры; системы защиты окружающей среды от загазованности.

Практически, на большинстве предприятий технологических отраслей определенная часть производственных объектов оснащается системой ПАЗ.

Важно отметить, что если системы контроля и управления рабочими режимами могут разрабатываться по требованиям заказчиков без специального согласования с какими-либо нормативами, стандартами и правилами; то системы ПАЗ обязательно должны соответствовать требованиям и рекомендациям определенных (отмеченных ниже) нормативных документов. Однако, как показывают конкретные обследования систем автоматизации на предприятиях разных отраслей, необходимое, достаточное соответствие систем ПАЗ изложенным в нормативных документах правилам их разработки и эксплуатации можно увидеть на предприятиях далеко не часто.

14.1. Основные показатели систем ПАЗ

Системы ПАЗ предназначены для обеспечения функциональной безопасности объектов, достигаемой снижением риска аварийных ситуаций в любых производственных объектах, в которых обрабатываются или хранятся токсичные продукты и/или есть взрывоопасность самих объектов. Под риском понимается комбинация вероятности и последствий аварийной ситуации, а под снижением риска аварийных ситуаций понимается снижение средней вероятности возникновения таких ситуаций, которое обеспечивается благодаря работе системы ПАЗ. При этом оставшаяся вероятность аварийных ситуаций определяется вероятностью отказа системы ПАЗ на запрос оператора или на технологическую причину по переводу объекта в безопасное состояние.

Работа системы ПАЗ достаточно специфична: она должна автоматически переводить технологический процесс или производственный объект в безопасное состояние при нарушениях заданных условий его работы и полностью исключить свое воздействие на процесс/объект при нормальном режиме его функционирования. Таким образом, в отличие от всех других управляющих АСУ производственных объектов система ПАЗ не влияет (не воздействует) на процесс/объект при его нормальной работе и становится активной только при его аварийном выходе из заданного нормального режима. Поскольку эта ситуация возникает достаточно (или весьма) редко, то добавляется задача проверки (диагностирования) нормального состояния системы ПАЗ при ее нахождении в неактивной фазе.

Требуемая величина снижения риска аварийной ситуации определяется уровнем необходимой защиты (требуемой безопасностью работы объекта или, (что то же) уровнем ожидаемой надежности работы объекта) – «Safety Integrity Level», который повсеместно обозначается аббревиатурой - SIL, а в российских документах часто имеет обозначение – «Уровень Полноты Безопасности» или сокращенно фиксируется его аббревиатурой - УПБ. Этот уровень полноты безопасности (SIL), обеспечиваемый системой ПАЗ для разных функций объекта, должен соответствовать самому высокому требуемому уровню полноты безопасности из всех реализуемых системой ПАЗ функций.

Сам риск аварийных ситуаций принципиально оценивается производением вероятной частоты аварий в объекте на катастрофичность/стоимость ущерба в результате аварии. Под ущербом понимаются затраты на компенсацию страховых возмещений потерпевшему персоналу, стоимость заменяемого оборудования и ремонта помещений, штрафы за загрязнение окружающей среды, коммерческие потери и, даже, ущерб репутации предприятия. Поскольку, понимаемые так, риски аварийной ситуации у разных технологических процессов/объектов

сугубо различны, то и уровни SIL (УПБ) у них будут разные.

Принимаются четыре категории рисков, задаваемые особенностями возможной аварийной ситуации. Эти категории фиксируются соответствующим уровнем полноты безопасности работы объекта – SIL (УПБ):

- категория риска типа катастрофы, тогда необходима защита по уровню SIL 4,

- категория риска типа смерти обслуживающего объект персонала, тогда защита по уровню SIL 3,

- категория риска типа травматизма персонала и повреждений оборудования, тогда защита по уровню SIL 2,

- категория риска типа повреждений оборудования и продукции, тогда защита по уровню SIL 1.

Уровень SIL, в свою очередь, определяет требуемую надежность работы системы ПАЗ, т. е. требуемую среднюю вероятность отказа от перевода процесса/объекта в безопасное состояние. В результате работы необходимой системы ПАЗ риск аварийной ситуации должен снижаться до остаточного приемлемого уровня.

Поясняет влияние заданного уровня SIL на снижение риска аварии нижеследующая таблица:

Уровень защиты	Содержание требуемой защиты	Требуемая средняя вероятность отказа системы ПАЗ на запрос	Фактор снижения риска аварии
SIL 4	Защита от катастрофы	От 10^{-5} до 10^{-4}	От 10 000 до 100000
SIL 3	Защита персонала от смерти	От 10^{-4} до 10^{-3}	От 1000 до 10 000
SIL 2	Защита оборудования и персонала от травм	От 10^{-3} до 10^{-2}	От 100 до 1000
SIL 1	Защита оборудования от повреждений	От 10^{-2} до 10^{-1}	От 10 до 100

14.2. Руководящие документы по созданию и эксплуатации систем ПАЗ

Системы ПАЗ, в отличие от других разновидностей систем автоматизации производственных объектов, должны соответствовать требованиям, указаниям, правилам и рекомендациям, изложенным в ниже отмеченных документах. При их перечислении в данном разделе главы выделены и кратко рассмотрены те положения, которые имеют наиболее

важное значение при создании и эксплуатации конкретных систем ПАЗ производственных объектов предприятий технологических отраслей промышленности.

Основополагающими документами по построению и эксплуатации указанных систем являются утвержденные в РФ международные стандарты: ГОСТ Р МЭК 61508-2012 «Функциональная безопасность электрических, электронных и программируемых электронных систем, связанных с безопасностью» [1] и базирующийся на нем и поясняющий его применение для предприятий перерабатывающих отраслей ГОСТ Р МЭК 61511-2011 «Системы обеспечения функциональной безопасности: для перерабатывающих отраслей промышленности» [2].

ГОСТ Р МЭК 61508-2012: Функциональная безопасность электрических, электронных и программируемых электронных систем, связанных с безопасностью

Данный ГОСТ рассматривает функциональную безопасность того класса систем, к которому принадлежат системы автоматизации производственных объектов. ГОСТ состоит из семи отдельно выпущенных частей:

1 часть стандарта. Общие требования.

2 часть стандарта. Требования к электрическим/электронным/программируемым электронным системам, связанным с безопасностью.

3 часть стандарта. Требования к программному обеспечению.

4 часть стандарта. Термины и определения.

5 часть стандарта. Рекомендации по применению методов определения уровней полноты безопасности.

6 часть стандарта. Руководство по применению.

Руководящие указания в ней базируются на использовании известных пользователю стандарта **средних вероятностей отказов по запросу** датчиков, логической подсистемы ПАЗ (контроллеров), исполнительных комплексов при разной их архитектуре: разных вариантов резервирования и диагностики. Считается известной **интенсивность обнаруженных и не обнаруженных опасных отказов.**

7 часть стандарта. Методы и средства.

Рассмотрены методы случайного отказа оборудования, методы исключения систематических отказов, методы достижения полноты безопасности программного обеспечения, вероятностный метод определения полноты безопасности предварительно разработанных программных средств.

*ГОСТ Р МЭК 61511-2011: Системы обеспечения
функциональной безопасности: для перерабатывающих
отраслей промышленности*

Стандарт призван конкретизировать подход к обеспечению безопасности, изложенный в стандарте ГОСТ Р МЭК 61508, для производственных процессов и объектов перерабатывающих отраслей промышленности, т. е. непосредственно относится к производственным объектам предприятий технологических отраслей промышленности. В значительной степени он предназначен для проектных организаций. Стандарт состоит из трех отдельно выпущенных частей:

1 часть стандарта. Требования к системе, аппаратному и программному обеспечению.

Важнейшие положения 1-ой части стандарта.

Система ПАЗ состоит из совокупности связанных между собой датчиков и исполнительных устройств, между которыми находится центральная часть системы, которой является логическое устройство, например контроллер (ПЛК).

Требования оценки опасности и степени риска аварийной ситуации для каждой функции, реализуемой системой ПАЗ, должны определяться комиссией, состоящей из проектанта системы; поставщика средств автоматизации для нее; заказчика системы, ответственного за эксплуатацию системы на предприятии; подрядчика работ по внедрению системы. Стандарт указывает, что при выработке требований необходим учет всех компонентов системы ПАЗ и также учет человеческого фактора. Стандарт не определяет должности лица, ответственного за выполнение всех требований к достижению функциональной безопасности, он лишь отмечает, что это не должен быть человек, участвующий в проектировании системы. В анализе опасностей и рисков должны принимать участие службы технолога и КИПиА.

При разработке требований к системе ПАЗ должны быть предусмотрены:

- описание каждого опасного события, включая возможные ошибки персонала;
- оценка последствий и правдоподобности опасных событий;
- рассмотрение условий вариантов функционирования объекта: его пуска, нормальной работы, останова, обслуживания, аварийного останова;
- требуемое снижение риска (требуемая защита: уровень SIL) для каждой функции системы ПАЗ.

В частности, должны быть не забыты требования к следующим свойствам системы ПАЗ:

- описание измерений состояния объекта, которые должны быть предусмотрены в системе;
- описание исполнительных воздействий, которые система должна реализовать на объекте при наступлении предаварийных событий;
- описание алгоритмов защиты, которые должны быть реализованы в системе;
- требуемые реакции на предаварийные события: останов объекта, сигнал оператору, останов и сигнал оператору;
- необходимое быстроедействие системы;
- требования к прикладному программному обеспечению системы;
- интервал времени между тестовыми испытаниями системы во время ее эксплуатации;
- требуемое среднее время ремонта системы;
- предельные значения параметров окружающей среды, в интервалах которых должна нормально работать система;
- максимально допустимая частота ложных срабатываний системы.

Отдельно в 1-ой части стандарта зафиксированы требования к проектированию системы ПАЗ:

- из всех функций контроля и управления объектом должны быть выделены функции безопасности, которые составят содержание системы ПАЗ;

- в том случае, если нельзя показать, что функции безопасности с более низким уровнем SIL не могут влиять негативно на функции с более высоким уровнем SIL, система ПАЗ должна проектироваться по самому высокому уровню SIL, имеющемуся у выделенных функций безопасности;

- проектирование должно учитывать задачи, которые решают операторы по функциям безопасности, и имеющиеся у них ограничения;

- должна быть предусмотрена непрерывность электропитания системы ПАЗ;

- кроме заложенных в проект воздействий по автоматическому останову процесса при возникновении предаварийной ситуации, должны быть предусмотрены ручные средства останова процесса оператором;

- все средства системы ПАЗ должны быть отказоустойчивыми (резервируемыми) и доказательствами пригодности средств является их сертификация по требуемому уровню SIL и известный опыт их эксплуатации в аналогичных условиях;

- должны быть подвергнуты оценке на функциональную безопасность инструментальные средства разработки и тестирования системы ПАЗ, частота проведения проверки работоспособности системы ПАЗ аудитом независимого персонала, процедуры управления внесением

изменений в систему ПАЗ.

2 часть стандарта. Руководство по применению стандарта МЭК 61511-1.

Целью этой части стандарта является показ того, как надо выполнять указания 1-ой части стандарта.

3 часть стандарта. Руководство по определению требуемых уровней полноты безопасности (SIL).

В этой части приводятся описания различных методов определения требуемого уровня SIL:

- полуколичественный метод;
- метод матрицы слоев безопасности;
- качественный метод: граф риска.

Системы ПАЗ должны базироваться на утвержденном Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (приказ от 11 марта 2013 года N 96) нормативном документе о федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности:

*«ОБЩИЕ ПРАВИЛА ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ
ДЛЯ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ,
НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ
ПРОИЗВОДСТВ» [3].*

Ниже выделены наиболее важные положения этого документа, касающиеся создания и эксплуатации конкретной системы ПАЗ. Номера этих положений соответствуют номерам статей рассматриваемого документа.

3.10. Для взрывоопасных технологических процессов должны предусматриваться системы ПАЗ, предупреждающие возникновение аварии при отклонении от предусмотренных технологическим регламентом на производство продукции предельно допустимых значений параметров процесса во всех режимах работы и обеспечивающие безопасную остановку или перевод процесса в безопасное состояние по заданной программе.

3.11. Системы ПАЗ включаются в общую автоматизированную систему управления технологическим процессом (далее — АСУТП).

6.3.2. Системы ПАЗ функционируют независимо от системы управления технологическим процессом. Нарушение работы системы управления не должно влиять на работу системы ПАЗ.

6.3.3. Система ПАЗ выполняет следующие функции:

- автоматическое обнаружение потенциально опасных изменений состояния технологического объекта или системы его автоматизации;
- автоматическое измерение технологических переменных, важных

для безопасного ведения технологического процесса (например, измерение переменных, значения которых характеризуют близость объекта к границам режима безопасного ведения процесса);

- автоматическая (в режиме on-line) диагностика отказов, возникающих в системе ПАЗ и (или) в используемых ею средствах технического и программного обеспечения;

- автоматическая предаварийная сигнализация, информирующая оператора технологического процесса о потенциально опасных изменениях, произошедших в объекте или в системе ПАЗ;

- автоматическая защита от несанкционированного доступа к параметрам настройки и (или) выбора режима работы системы ПАЗ.

6.3.6. ... не допускается использовать в качестве источников информации для систем ПАЗ одни и те же датчики, которые применяются в составе других подсистем АСУТП (например, в системе автоматического регулирования, в системе технологического или коммерческого учета).

6.3.7. Для объектов... не допускается использовать в качестве исполнительных устройств систем ПАЗ одни и те же устройства, которые предусмотрены в составе другой подсистемы АСУТП (например, в системе автоматического регулирования).

6.3.9. В системах ПАЗ не допускается применение многоточечных приборов контроля параметров, определяющих взрывоопасность процесса.

6.3.10. Проектирование системы ПАЗ и выбор ее элементов осуществляются исходя из условий обеспечения работы системы в процессе эксплуатации, обслуживания и ремонта в течение всего жизненного цикла защищаемого объекта.

6.3.11. Показатели надежности, безопасности и быстродействия систем ПАЗ определяются разработчиками систем с учетом требований технологической части проекта.

6.3.12. Время срабатывания системы защиты должно быть таким, чтобы исключалось опасное развитие возможной аварии.

6.3.13. К выполнению управляющих функций систем ПАЗ предъявляются следующие требования:

- команды управления, сформированные алгоритмами защит (блокировок), должны иметь приоритет по отношению к любым другим командам управления технологическим оборудованием, в том числе к командам, формируемым оперативным персоналом АСУТП (если иное не оговорено в техническом задании на ее создание); срабатывание одной системы ПАЗ не должно приводить к созданию на объекте ситуации, требующей срабатывания другой такой системы; в алгоритмах срабатывания защит следует предусматривать возможность включения

блокировки команд управления оборудованием, технологически связанным с аппаратом, агрегатом или иным оборудованием, вызвавшим такое срабатывание.

6.3.14. В системах ПАЗ и управления технологическими процессами ... должно быть исключено их срабатывание от кратковременных сигналов нарушения нормального хода технологического процесса, в том числе и в случае переключений на резервный или аварийный источник электропитания.

6.3.15. В проектной документации, технологических регламентах на производство продукции и перечнях систем ПАЗ взрывоопасных объектов наряду с уставками защиты по опасным параметрам должны быть указаны границы критических значений параметров.

6.3.16. Значения уставок систем защиты определяются с учетом погрешностей срабатывания сигнальных устройств средств измерения, быстродействия системы, возможной скорости изменения параметров. При этом время срабатывания систем защиты должно быть меньше времени, необходимого для перехода параметра от предупредительного до предельно допустимого значения. Конкретные значения уставок приводятся в проекте и технологическом регламенте на производство продукции.

6.3.17. ... предусматривается предаварийная сигнализация по предупредительным значениям параметров, определяющих взрывоопасность объектов.

6.3.18. В случае отключения электроэнергии или прекращения подачи сжатого воздуха для питания систем контроля и управления системы ПАЗ должны обеспечивать перевод технологического объекта в безопасное состояние. Необходимо исключить возможность произвольных переключений в этих системах при восстановлении питания. Возврат технологического объекта в рабочее состояние после срабатывания системы ПАЗ выполняется обслуживающим персоналом по инструкции.

6.3.19. Исполнительные механизмы систем ПАЗ, кроме указателей крайних положений непосредственно на этих механизмах, должны иметь устройства, позволяющие выполнять индикацию крайних положений в помещении управления.

6.3.21. Показатели надежности систем ПАЗ устанавливаются и проверяются не менее чем для двух типов отказов данных систем: отказы типа «несрабатывание» и отказы типа «ложное срабатывание».

6.3.23. Все программные средства вычислительной техники, предназначенные для применения в составе любой системы ПАЗ, подлежат обязательной проверке на соответствие требованиям, указанным в ТЗ, которая проводится их изготовителем или поставщиком по программе, согласованной с заказчиком системы ПАЗ.

6.3.24. Перечень контролируемых параметров, определяющих взрывоопасность процесса в каждом конкретном случае, составляется разработчиком процесса и указывается в исходных данных на проектирование.

6.4.1. Для контроля загазованности по предельно допустимой концентрации и нижнему концентрационному пределу распространения пламени в производственных помещениях, рабочей зоне открытых наружных установок должны предусматриваться средства автоматического непрерывного газового контроля и анализа с сигнализацией, срабатывающей при достижении предельно допустимых величин и с выдачей сигналов в систему ПАЗ. При этом все случаи загазованности должны регистрироваться приборами с автоматической записью и документироваться.

ГОСТы по управлению надежностью и менеджменту риска

Важное значение для анализа возможного повышения надежности работы систем ПАЗ имеют ниже указанные стандарты, которые рассматривают различные аспекты снижения рисков и повышения надежности производственных систем.

- ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем [4].

- ГОСТ Р 51901.2-2005. Менеджмент риска: системы менеджмента надежности.

- ГОСТ Р 51901.3-2007. Менеджмент риска: руководство по менеджменту надежности.

- ГОСТ Р 51901.4-2005. Менеджмент риска: руководство по применению при проектировании.

- ГОСТ Р 51901.5-2005. Менеджмент риска: руководство по применению методов анализа надежности.

- ГОСТ Р 51901.6-2005. Менеджмент риска: Программа повышения надежности.

- ГОСТ Р 51901.10-2009. Менеджмент риска: Процедуры управления пожарным риском на предприятии.

- ГОСТ Р 51901.11-2005. Менеджмент риска: исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство. (Копия стандарта МЭК 61882: 2001. (HAZOP). Руководство к применению [5]).

Термин «HAZOP» обозначает исследование опасности и работоспособности, а под риском (как и во всех документах) понимается сочетание вероятности появления опасного события и его последствий.

HAZOP предназначено для идентификации потенциальных

отклонений от целей проекта (от нормального режима работы объекта), экспертизы их возможных причин и оценки последствий. Экспертиза должна производиться под руководством опытного лидера исследований, гарантирующего всесторонний анализ системы на основе логических и аналитических заключений.

Подход HAZOP должен определить возможные отклонения от заданного состояния, причины отклонений, меры устранения их последствий. Важно не пропустить отклонения, связанные с взаимодействием нескольких частей (отдельных контуров контроля и управления) системы, а не просто отклонения одной какой-либо части (одного контура); а также учесть влияние отклонений одной части на работу других частей системы. Следует подчеркнуть, что любые планируемые изменения в системе требуют предварительного анализа HAZOP.

Рекомендации по составу экспертной группы HAZOP:

- лидер группы, не являющийся проектантом, поскольку иногда в результате обсуждения в группе в законченный проект требуется ввести изменения;
- проектант, разъясняющий проект и объясняющий возможные отклонения от него;
- пользователь системы, поясняющий текущее состояние системы, последствия отклонений и степень их опасности;
- эксперт по анализу работы системы;
- представитель ремонтной службы, отвечающий за технической обслуживание системы;
- регистратор, документирующий все предложения и заключение группы.

Предлагаемая процедура работы экспертной группы HAZOP: анализ системы по отдельным элементам и контурам; рассмотрение условий аварийных режимов нежелательных действий, которые приводят к отказу системы; прогноз временной деградации системы; оценки ее надежности, ремонтпригодности, простоты обслуживания.

Этапы работы экспертной группы HAZOP:

- планирование исследований и сбор исходных данных;
 - определение заданных состояний и идентификация отклонений от них, выделение их причин, последствий, механизмов защиты, возможных смягчающих мероприятий;
 - оформление результатов.
- ГОСТ Р 51901.12-2007. Менеджмент риска: метод анализа видов и последствий отказов.
- ГОСТ Р 51901.13-2005. Менеджмент риска: анализ дерева

неисправностей.

- ГОСТ Р 51901.14-2007 Менеджмент риска: структурная схема надежности и булевы методы.

- ГОСТ Р 51901.15-2005. Менеджмент риска: применение марковских методов.

- ГОСТ Р 51901.16-2005. Менеджмент риска: повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки.

- ГОСТ Р 52806-2007. Менеджмент риска проектов: общие положения [6].

- ГОСТ Р МЭК 61160-2006. Менеджмент риска: формальный анализ проекта [7].

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 16085-2007. Менеджмент риска: применение а процессах жизненного цикла систем и программного обеспечения [8].

14.3. Конкретные особенности построения и эксплуатации систем ПАЗ

Рассматривая отмеченные положения указанных нормативных документов и сопоставляя их с существующим практическим состоянием систем ПАЗ на производственных объектах многих предприятий технологических отраслей России, можно выделить основные нестыковки и недоработки реального построения и эксплуатации систем ПАЗ по отношению к отдельным требованиям нормативов.

Ниже приводятся те элементы конкретных разработок систем ПАЗ, которые требуют большего внимания и более тщательного выполнения, чем это зачастую происходит на практике.

14.3.1. Особенности разработки технического задания на систему ПАЗ

Разработку требований на систему ПАЗ должна выполнять комиссия, состоящая из отвечающих за нормальную работу объекта специалистов служб технолога, КИПиА, обслуживания оборудования и из проектантов системы ПАЗ. Комиссия должна выделить каждое опасное событие при работе объекта, оценить его последствия, зафиксировать функцию его предотвращения или компенсации, указать требуемое снижение риска (уровень SIL) при возникновении события.

На практике количественная оценка риска, определяемая **оценкой частоты аварий в объекте** (как формулируется в нормативных документах), достаточно мало вероятна, поскольку аварии (к счастью) происходят весьма редко и для расчета статистически достоверной оценки риска почти всегда нет достаточного числа исходных данных.

Процедура задания риска (уровня SIL) конкретного опасного события обычно производится комиссией экспертно, с учетом мнений разработчиков технологического процесса и производителей используемого в объекте оборудования.

В разработанном комиссией техническом задании на систему ПАЗ должны быть отмечены следующие ее свойства:

- описание реализуемых системой ПАЗ функций при всех режимах и этапах работы объекта (пуск, работа, перевод с одного режима на другой, останов и т. п.) и параметров функций: их скорости реализации, точности выполнения;

- уровень безопасности для каждой реализуемой функции, определяющий ответственность реализации функции для обеспечения безопасности объекта;

- интегральный уровень безопасности (Safety Integrity Level), который должен обеспечиваться программируемым логическим контроллером системы ПАЗ (он должен соответствовать самому высокому уровню безопасности, реализуемых в системе ПАЗ функций);

- допустимая частота ложных срабатываний системы ПАЗ (последние не приводят к аварийной ситуации, но вызывают определенные материальные потери);

- подтверждение сертификации заданного уровня безопасности SIL для всех компонентов системы ПАЗ каждой конкретной функции защиты.

Важно отметить, что документ результата работы комиссии должен по обоснованности своих решений удовлетворять вышеуказанным нормативам и может быть подвергнут анализу Ростехнадзора.

14.3.2. Свойства, которые должны быть учтены в проекте на систему ПАЗ:

- полная автономность системы ПАЗ от всех других подсистем АСУ ТП: все ее средства (датчики, контроллер, исполнительный комплекс, объединяющая их сеть), не реализуют никаких посторонних ПАЗу функций контроля и управления;

- выделенное от других систем электропитание средств системы ПАЗ и его резервирование;

- значения параметров системы ПАЗ: точность, время реагирования на возникшую предаварийную ситуацию, предельные характеристики окружающей среды и т. п.;

- интерфейс связи системы ПАЗ с оператором для сигнализации о наступлении предаварийного состояния и момента включения системы ПАЗ в работу. При отказе системы ПАЗ сигнализация оператору о

необходимости ручного управления;

- преимущественное использование датчиков и исполнительных комплексов с самодиагностикой, контроллеров с двойным и тройным модульным резервированием по схеме с голосованием, или контроллеров с двойным резервированием и диагностикой, или использование контроллеров в режиме “пара и резерв”, когда пара контроллеров работает параллельно, а вторая пара находится в горячем резерве и, если у первой пары в какой-то момент выходные сигналы начинают не совпадать, то работа безударно переключается на вторую пару, а первая тестируется на предмет выявления неисправности в одном из контроллеров;

- заданный интегральный уровень безопасности SIL, который должен обеспечиваться системой ПАЗ, подтверждается обязательной сертификацией всех компонентов системы ПАЗ на возможность их применения в системе ПАЗ заданного уровня SIL. Сертификация любого средства автоматизации на работу в системе ПАЗ заданного уровня SIL, которая подтверждает соответствие средства требованиям стандарта ГОСТ Р МЭК 61508-2012, производится независимым сертифицирующим агентством TUV Rheinland GmbH и его подразделениями в разных странах, в том числе в России. В США подобную сертификацию проводит агентство EXIDA;

- реализуется надежный интерфейс связи ПТК системы ПАЗ с оператором, который необходим для сигнализации о наступлении предаварийного состояния и о моменте включения системы ПАЗ в работу, а также для выполнения команд оператора по пуску/останову объекта. При отказе системы ПАЗ специальная, надежная сигнализация об этом событии указывает оператору о необходимости ручного управления;

- связи системы ПАЗ с другими системами автоматизации данного объекта допускаются, только если они не нарушают заданных функций защиты и не могут изменить данные и программы системы ПАЗ;

- типовой набор прикладных программ, реализуемых в ПТК системы ПАЗ, состоит из анализа контролируемых в объекте величин, определяющих возможные неисправности в работе объекта, которые могут привести к аварии; выявления возникающих нарушений, имеющих предаварийный характер, и немедленной реакции на них в виде управляющих воздействий на взаимосвязанные исполнительные механизмы объекта, переводящие автоматизируемый объект в безопасное состояние. Управляющие программы системы ПАЗ, являющиеся логическими блокировочными схемами, обычно реализуются на языке Ladder Logic Diagrams (лестничных диаграмм) и тщательно тестируются, и сертифицируются;

- операционная система контроллера является системой жесткого реального времени, точно обеспечивающая заданное время выполнения

анализа измеряемых величин и реализации управляющих функций;

- кроме заложенных в проект воздействий по автоматическому останову процесса при возникновении предаварийной ситуации, должны быть предусмотрены ручные средства останова процесса оператором;

- проект должен учитывать функции безопасности и предотвращения аварий, которые решают операторы.

14.3.3. Требования, которые должны быть указаны в документации по эксплуатации системы ПАЗ:

- должны быть зафиксированы периоды необходимых проверок работоспособности системы ПАЗ и ее отдельных компонентов; включая контроль сети ПАЗ, тестирование прикладного программного обеспечения системы и рабочих характеристик исполнительного механизма, мониторинг работоспособности клапанов или других регулирующих органов путем задания их частичного хода. Следует отметить, что особое значение имеет мониторинг клапанов, (в большинстве случаев наиболее важных и наименее надежных компонентов системы). Их тестирование на неполный ход в пределах 5-10% от диапазона полного закрытия целесообразно повторять наиболее часто;

- сигналы тревоги при возникновении предаварийных ситуаций следует передавать как операторам, так и обслуживающему оборудованию объекта персоналу;

- процедуры и правила внесения изменений в систему ПАЗ при любой модернизации автоматизируемого объекта должны регистрироваться с указанием следующих данных: содержания изменений, даты и времени внесения изменений, причины проведения изменений, имени проводившего изменения лица.

Основными причинами широко распространенного отступления построенных систем ПАЗ от нормативных документов являются:

- экономия заказчика на проведении процедур анализа риска и определении конкретных показателей SIL функциям защиты; на приобретении всех компонентов систем ПАЗ, сертифицированных по необходимому уровню SIL: на полную изоляцию системы ПАЗ от системы контроля и управления объектом (в частности, заказчик приобрел контроллер, сертифицированный по уровню SIL 3, и уже считает, что вся система ПАЗ стала иметь уровень SIL3, что ошибочно);

- недостаточная квалификация организации, разрабатывающей и проектирующей систему ПАЗ (например, повторяют проекты прошедших лет без изменений, касающихся требований нормативных документов последних лет);

- отсутствие у заказчика или привлеченного системного интегратора

органа, который может сформировать четкие, конкретные, полные и тщательно обоснованные существующими документами технические требования на систему ПАЗ (например, размыта ответственность за формирование недостаточно обоснованного задания на систему ПАЗ, по которому проводится ее создание).

Подробный анализ систем ПАЗ проведен в монографии Ю. Н. Федорова [9].

Глава 15. Направления развития систем автоматизации производственных объектов

Происходящее эволюционное развитие указанного класса систем автоматизации обусловлено как все более ужесточаемыми требованиями к качеству и эффективности работы производственных объектов, которые могут быть достигнуты только за счет их автоматизации; так и разрабатываемыми, все более совершенными алгоритмами контроля и управления и все более мощными вычислительными компонентами, являющимися базой построения средств и систем автоматизации.

Для правильной ориентации в выборе средств и системы автоматизации для конкретного производственного объекта заказчикам необходимо достаточно хорошо представлять основные тенденции развития отдельных средств и систем автоматизации рассматриваемого класса, чтобы не приобрести недостаточно совершенную и не перспективную продукцию и, тем самым, не только снизить конкурентоспособность производства, но и увеличить свои затраты на автоматизацию, ввиду необходимости через достаточно короткий временной интервал заменить ее как морально устаревшую. Необходимо подчеркнуть, что по этим же причинам при проведении тендера на средства и систему автоматизации для производственного объекта одним из важнейших критериев должен являться критерий «Современность и перспективность продукции».

Ниже рассмотрены те наблюдаемые тенденции совершенствования средств и систем автоматизации производственных объектов, которые определяют значимые (но, естественно, далеко не все) направления их развития на ближайшие годы.

15.1. Структурные развития отдельных уровней системы автоматизации

Ощутимым узким местом часто применяемой структуры системы автоматизации в сложных, объемных и быстродействующих производственных процессах является ее промышленный уровень: работа контроллеров, когда каждый из них реализует большой комплекс

различных по приоритету задач, в жестко заданное для каждой задачи время. К этим задачам, в частности, относятся опрос датчиков с разным временем цикла отдельных приборов, выдача управляющих команд исполнительным механизмам с разным временем цикла каждому из них, вычислительная переработка поступающей оперативной информации в соответствии с заданной программой контроля и управления, прием и обработка случайных во времени сообщений о происходящих событиях, проведение диагностических тестов, обслуживание полевых и промышленных сетей, вывод текущей информации в сервер и на рабочие станции операторов и т. д.. Централизованное решение всех этих разнообразных, разноциклических по времени исполнения, различных по приоритетности задач в одном контроллере обуславливает существенную трудоемкость разработки общей прикладной программы его работы, сложность тестирования разработанной программы, значительную вероятность сбоев и отказов во время эксплуатации программы, особенно в критические моменты возникновения нештатных ситуаций в автоматизируемом объекте, когда резко возрастает объем информации, требующий немедленного приема и обработки контроллером.

Расшивкой данного узкого места является преобразование структуры промышленного уровня системы автоматизации с централизованной реализации всех функций контроля и управления в одном контроллере на подразделение промышленного уровня на два иерархических подуровня, контроллеры на которых решают разные по назначению, объему и сложности задачи (одним из первых четко сформулировал эту проблему Н. Плескач [10]).

На нижнем подуровне расположены обычно распределенные по производству нано-, микро- и малые контроллеры, решающие отдельные самостоятельные по информационной связности простейшие, типовые задачи контроля и управления отдельными узлами, компонентами и блоками производственного объекта. Функционально распределенная, децентрализованная структура этого подуровня основывается на выделении и реализации задач ПИД регулирования и блокировок в отдельных контроллерах. При этом используется общая рекомендация, что **каждую задачу системы автоматизации целесообразно решать на наиболее низком уровне управления, на котором возможна ее реализация.** Такое функциональное распределение прикладных программ стало достаточно простым из-за широкого распространения достаточно дешевых нано-, микро- и малых контроллеров, и их возможного размещения по отдельным узлам и блокам автоматизируемого объекта, с тем, чтобы быть возможно ближе к обслуживаемым ими датчикам и исполнительным механизмам.

В целом, указанная децентрализация простейших типовых прикладных программ и реализующих их контроллеров все более широко распространяется в системах автоматизации производственных объектов.

Происходящая децентрализация решений типовых задач контроля и управления приводит к тому, что основные большие и даже средние по мощности контроллеры системы автоматизации освобождаются от реализации простейших функций контроля и управления. Они все более полно начинают реализовывать достаточно сложные и существенно более совершенные алгоритмы контроля, диагностики, оперативного учета, управления, объемные задачи совместного, взаимосвязанного управления всеми узлами и блоками производственного объекта. Этот верхний промышленный подуровень контроллеров обычно непосредственно не связан с полевыми средствами, а получает необходимую информацию от контроллеров нижнего подуровня и через них воздействует на производственный процесс. Следует отметить, что разделению промышленного уровня на два подуровня способствует охват системой автоматизации все более объемных и масштабных, распределенных в пространстве производственных объектов, состоящих из ряда отдельных блоков. В одной системе автоматизации может работать порядка 100 контроллеров, каждый из которых может использовать до 64 блоков ввода/вывода, и система может иметь десятки рабочих станций операторов.

Также начинает подразделяться на иерархические подуровни информационный уровень системы. Формируются иерархические структуры серверов и рабочих станций.

Иерархия серверов состоит из центрального, общего сервера (верхний подуровень), и ряда частных серверов (нижний подуровень): сервер реального времени, сервер исторических данных, Web сервер, серверы отдельных частей системы, причем последние типы серверов могут быть рассредоточены в пространстве.

Иерархия рабочих станций состоит из центральной рабочей станции начальника смены - бригадира операторов производственного объекта, координирующего работу отдельных блоков агрегата и имеющих подчиненных ему операторов отдельных блоков агрегата, каждый из которых использует свою рабочую станцию определенного блока.

Указанные тенденции развития системы автоматизации есть медленно протекающий эволюционный процесс, постепенно приводящий к созданию единых постов управления не только отдельными агрегатами, а целыми цехами, а в ряде случаев и к построению единой операторной для управления всем производством, что, кстати,

значительно уменьшает нагрузку на операторов отдельных производственных объектов.

15.2. Перспективы слияния промышленного и информационного уровней системы автоматизации

Следует обратить внимание на перспективное предложение по коренному изменению структуры системы автоматизации, которое принципиально должно сказаться на повышении надежности работы всей системы управления. Оно высказывается рядом авторов и, в частности, рассмотрено в статье [11]. Это изменение заключается в соединении информационного (серверы и рабочие станции операторов) и промышленного (контроллеры с выносными блоками ввода/вывода) уровней системы и в использовании в объединенном уровне единой цифровой сети, равноправными узлами которой являются и рабочие станции, и серверы, и контроллеры, и снабженные микропроцессорами выносные блоки ввода/вывода (последние уже не принадлежат определенным контроллерам, а могут взаимодействовать с любыми узлами этой сети). При этом само понятие контроллера, как преобразователя информации между жестко закрепленными за ним датчиками и исполнительными механизмами, размывается, поскольку любой оснащенный микропроцессором блок ввода/вывода принципиально может обращаться к любым контроллерам, серверам и рабочим станциям на сети, в которых имеется программа необходимого для этого блока преобразования информации. Это создает возможность резервирования функций переработки измерительной информации за счет их реализации в различных подключенных к сети вычислительных средствах без ввода в отдельные контроллеры специальных резервных компонентов.

Таким образом, данная структура может позволить создавать высоконадежные и, в то же время, более дешевые системы автоматизации.

15.3. Ограниченные варианты структуры системы автоматизации при наличии встроенных в оборудование средств автоматики

Все большее распространение получают средства автоматизации полевого уровня (датчики, регулирующие органы и позиционеры), встроенные в оборудование производственных объектов. Они смонтированы в общие конструктивы оборудования его производителем, являются его неотъемлемыми компонентами и поступают заказчику готовыми к эксплуатации. Благоприятствующими обстоятельствами для такого решения в части датчиков является появление миниатюрных датчиков объемом в несколько мм³ для измерения различных,

распространенных режимных величин технологических процессов и параметров среды: температуры, давления, влажности и т. п.. Причем в этот объем датчика входит как сам сенсор, так и необходимый вычислительный ресурс для преобразования измеряемого сигнала в цифровую форму, его обработки и передачи в полевую проводную или беспроводную сеть. Создание миниатюрных датчиков проводится на базе как повсеместных, так и новых методов измерения и параллельно ведет к увеличению точности и качества работы приборов.

Широкое распространение встроенных в оборудование средств автоматизации полевого уровня, в первую очередь датчиков, жестко задает структуру полевого уровня системы автоматизации: средства полевого уровня становятся не внешними дополнениями производственного объекта, а его неотъемлемыми частями.

В этих случаях область разрабатываемой системы автоматизации значительно сужается и охватывает, в основном, только средний и верхний уровень, т. е. выбор ПТК.

Принципиально, решение встраивать средства полевого уровня в оборудование является перспективным и эффективным, т. к. редко когда создатели системы автоматизации лучше разработчика технологического процесса и проектанта, комплектующего для него оборудование, представляют, что, как и с какой точностью надо контролировать, а также как и с какой надежностью надо реагировать на текущие значения контролируемых величин.

15.4. Интернет структуры системы автоматизации

Широко распространяющиеся в мире облачные вычисления (Cloud Computing) начинают внедряться и в системы управления производственными объектами [12].

Применяемые способы обслуживания различных пользователей (хранения и обработки их данных) через Интернет в едином центре обработки данных, заложенные в облачной технологии:

- универсальный доступ пользователей к центру от любых терминальных устройств пользователя;
- собственное управление пользователями обслуживанием центром своих данных: необходимая скорость доступа к центру и время обработки выданной ему информации; необходимый объем и структура хранимых в центре данных;
- возможность пользователю в любой момент времени расширить или сузить предоставляемые центром услуги, а их оплата определяется потребленными ресурсами центра;
- освобождение пользователя от необходимости разрабатывать,

приобретать и обслуживать собственные технические и программные средства -

все это создают необходимые условия все более широкого распространения облачных технологий хранения и обработки информации в системах автоматизации производства.

Облачная технология использует разные структуры обслуживания пользователей:

- пользователь может использовать обработку своих данных прикладным программным обеспечением центра: **Software-as-a-Service (SaaS)**;

- пользователь может использовать в центре собственное прикладное программное обеспечение: **Platform-as-a-Service (PaaS)**;

- пользователь может управлять всеми функциями хранения и обработки своих данных в центре: **Infrastructure-as-a-Service (IaaS)**.

Применение облачной технологии при построении системы автоматизации производственного объекта обычно тормозится необходимостью иметь реакцию на текущие значения измеряемых величин в реальном времени, т. е. через гарантированно малый интервал времени, что трудно достижимо при обработке измеряемых данных в весьма пространственно удаленном от объекта центре. Однако, в последнее время наметилась возможность использования облачной технологии для ряда систем контроля и управления рабочими режимами достаточно инерционных производственных процессов с медленно изменяющимися во времени значениями измеряемых величин. Эта возможность ориентирована на взаимодействие облачной технологии с Интернетом вещей.

Интернет вещей (**Internet of Things /IoT/**) определяет связь различных физических объектов, имеющих интерфейсы к цифровым беспроводным сетям, между собою с целью межмашинного взаимодействия при решении различных задач.

Новое направление взаимодействия облачной технологии с интернетом вещей (так называемые туманные вычисления **/Fog Computing/**) позволяет использовать облачную технологию не в центре обработки данных, а во взаимодействующих между собою компьютерах отдельных систем, распределенных в пространстве данного предприятия. Это объединяет облачную технологию с интернетом вещей и позволяет туманным вычислениям с достаточно высокой реактивностью решать задачи в реальном времени.

Данное построение структуры системы автоматизации имеет высокие шансы широкого распространения; особенно, для достаточно инерционных по производственному процессу объектов.

Перспективные и совершенные системы автоматизации появляются на предприятии, (при их правильном выборе) либо при внедрении нового агрегата с установленной в нем системой автоматизации, либо при постепенной временной замене устаревших морально и физически систем автоматизации на существующих производственных объектах. Важно, чтобы заказчики представляли существующие направления развития систем автоматизации, отличали перспективность предлагаемых к внедрению систем и не приобретали заведомо устаревшие или не совершенные средства и системы автоматизации.

Следует отметить, что рассмотренные направления развития систем автоматизации производственных объектов заметно влияют на функционирование взаимодействующих с ними операторов:

- с одной стороны все активнее более простые и формализуемые функции контроля и управления переходят от них к системе автоматизации, что уменьшает их нагрузку;

- с другой стороны усложнение функционального состава систем автоматизации требует все более высокой их квалификации, что далеко не просто обеспечить имеющимся персоналом российских предприятий технологического класса.

Раздел VI.

Защита средств и систем автоматизации от внешних воздействий и кибератак

Общие положения

Прежде чем анализировать свойства и характеристики отдельных классов средств и систем автоматизации любых производственных объектов целесообразно рассмотреть общие условия их функционирования в различной окружающей атмосферной и, особенно, промышленной среде, которые касаются любых классов средств и систем. Атмосферная среда зависит от климатических регионов и по-разному может влиять на аппаратуру автоматизации, в зависимости от ее конструктивных особенностей. Промышленная среда по своим характеристикам существенно зависит от отраслевой принадлежности предприятия, от мест размещения средств и систем на производстве, от помех разного типа на конкретном предприятии, поэтому степень защиты от ее воздействий является необходимой качественной характеристикой любых средств и систем.

Обычно современная аппаратура автоматизации, которая большей частью располагается непосредственно в цехах предприятия (включая основные технические компоненты АСУТП: контроллеры, датчики, исполнительные механизмы и т.д.), рассчитана на работу в широких диапазонах атмосферных параметров и достаточно защищена от различных вредных свойств окружающей промышленной среды. Производители технических средств автоматизации выпускают различные варианты их исполнения, рассчитанные на отдельные климатические зоны, на разные степени помех, загрязнения, агрессивности, взрывоопасности, соответствующие реальным свойствам производственного окружения аппаратуры на предприятиях разных отраслей; а производители программных продуктов отдельное внимание уделяют их безопасности функционирования и защите от любых несанкционированных изменений и вмешательств в работу.

В документации к каждому средству автоматизации существует раздел, в котором фиксируются свойства и диапазоны параметров окружающей среды по атмосферным показателям и по промышленным помехам разного типа, в которых производитель гарантирует нормальную работу средства. Эти свойства и параметры частью имеют в документации к средству непосредственное описание (например, указывается возможный температурный диапазон среды, не влияющий на показатели работы средства), но большей частью фиксируются кодами,

символами, критериями, пунктами определенного стандарта, классифицирующего свойства и параметры какой-то отдельной характеристики среды (например, имеющаяся защита средства от пыли и влаги обозначается кодом IP или кодом NEMA). При этом в средствах, производимых в России, обычно используются в соответствующем разделе документации коды международных и российских стандартов; в средствах европейских производителей – коды международных или европейских стандартов; в средствах американских производителей – коды международных или американских стандартов. Для перевода кодов этих стандартов в конкретные, имеющиеся у средства значения защиты требуется знание содержания соответствующих стандартов.

Пренебрежение этими сведениями при выборе средств и систем автоматизации для конкретного производственного объекта может иметь существенные негативные последствия, например:

- недостаточная защита аппаратуры от конкретного типа взрывоопасной ситуации на производстве чревата аварийной ситуацией;
- приобретение аппаратуры, конструктивно рассчитанной для использования в холодном климате на открытом воздухе, при ее размещении в помещении операторского пульта приведет к излишним затратам;
- неполная защита информации в промышленной сети и в сервере системы от электромагнитного и радиоизлучения может исказить обрабатываемую информацию и сделать ее недостоверной.

В данном разделе рассматриваются наиболее распространенные, относящиеся к любым средствам автоматизации производственных объектов характеристики их работы в окружающей различной атмосферной и промышленной среде; приводится содержательная расшифровка указанных в документации к средствам кодов защиты средств от внешних воздействий; фиксируются рекомендации стандартов по информационной безопасности работы систем автоматизации.

Поскольку производителями средств являются как российские, так и зарубежные фирмы, то записанная в их документации кодировка среды соответствует либо российским, либо международным, либо европейским, либо американским стандартам. Это обстоятельство заставляет раскрывать коды стандартов, независимо от места их создания и утверждения, если они используются в распространяемых в России средствах автоматизации.

Глава 16. Защита аппаратуры автоматизации от различных атмосферных воздействий

Есть ряд свойств и показателей окружающей атмосферной среды, возможный диапазон которых для нормальной работы аппаратуры формулируется в ее документации содержательно, хотя может фиксироваться кодами ниже рассмотренного стандарта ГОСТ 15150 [1]. В большей части средств к непосредственно формулируемым свойствам относятся температура и влажность среды, реже указывается также и диапазон давления среды (особенно при использовании аппаратуры в высокогорных местностях). Конкретные диапазоны этих свойств указываются в паспорте каждой единицы аппаратуры и, естественно, имеют разные значения. Ниже приводятся распространенные для большинства классов технических средств автоматизации диапазоны указанных показателей окружающей атмосферной среды.

Контроллеры и их выносные блоки ввода/вывода, датчики, исполнительные механизмы, промышленная сетевая аппаратура, в подавляющем большинстве, работают при температуре окружающей среды в диапазоне -20 – $+60^{\circ}\text{C}$ или в расширенном температурном диапазоне: -40 – $+75^{\circ}\text{C}$, хотя при специальном исполнении имеется расширение верхнего предела до $+140^{\circ}\text{C}$ и более. Следует отметить, что основная погрешность средств измерения фиксируется обычно при окружающей температуре $+20^{\circ}\text{C}$, а изменения окружающей температуры для ряда датчиков вызывают дополнительную погрешность измерения.

Относительная влажность воздуха при нормальной работе большинства классов аппаратуры может колебаться в диапазоне от 0–5 до 90–95% при условии отсутствия конденсата.

Изменения атмосферного давления достаточно редко влияет на функционирование аппаратуры и обычно изменение атмосферного давления в достаточно широких пределах, примерно в диапазоне 84–106 кПа (630–795 мм рт. ст.) не сказывается на работе средств автоматизации.

Сейсмостойкость аппаратуры определяется выполнением особых требований к ее конструкции, которые исходят из задаваемых факторов землетрясений и условий установки аппаратуры в месте случающихся землетрясений:

- возможной интенсивности землетрясений в баллах (от 5-ти до 9-ти баллов);
- расчетной повторяемости землетрясений или расчетного срока службы аппаратуры;

- уровня установки аппаратуры относительно нулевой отметки местности (0-5 м, 5-10 м, 10-25 м, 25-35 м, 35-70 м).

Эти требования к конструкции аппаратуры, зависимые от варианта задаваемых факторов, приводятся к требованиям по виброустойчивости аппаратуры к воздействию синусоидальной вибрации в течение одной минуты при разных вариантах ее параметров. Конкретная формулировка требований приведена в стандарте ГОСТ 30546.1-98 «Общие требования к машинам, приборам и другим изделиям и методы расчета их конструкций в части сейсмостойкости».

16.1. Защита аппаратуры при разных климатических условиях ее работы

Специальный стандарт ГОСТ 15150 [1], последнее изменение в котором датируется 2013 годом, формулирует необходимое исполнение изделий для различных климатических районов и фиксирует коды в документации к изделиям, соответствующие климатическим факторам, на работу в которых рассчитаны данные изделия.

Ниже приводятся фрагменты стандарта, которые касаются подавляющего большинства технических средств автоматизации; а также соответствующие коды стандарта, которые фиксируются в документации средств.

Климатическое исполнение средства автоматизации:

- код **У** - изделие исполнено для умеренного климата;
- код **УХЛ** - изделие исполнено для умеренного и холодного климата;
- код **ТВ** - изделие исполнено для влажного, тропического климата;
- код **ТС** - изделие исполнено для сухого, тропического климата;
- код **Т** - изделие исполнено для любого тропического климата;
- код **О** - общеклиматическое исполнение изделия.

Категория размещения средства автоматизации:

- код **1.1** - размещение изделия на открытом воздухе;
- код **2.1** - размещение изделия под навесом или внутри другого изделия;
- код **3.1** - размещение изделия в закрытом неотапливаемом помещении с естественной вентиляцией;
- код **4.1** - размещение изделия в закрытом отапливаемом помещении с кондиционером.

Нормальные рабочие значения температурного диапазона внешней среды при эксплуатации средства автоматизации:

- исполнение изделия по коду **У** при его размещении по кодам **1.1** или **2.1**, или **3.1** нормально работает в диапазоне температуры внешней

среды – от -45°C до $+40^{\circ}\text{C}$;

- исполнение изделия по коду **УХЛ** при его размещении по кодам **1.1** или **2.1**, или **3.1**, или **4.1** нормально работает в диапазоне температуры внешней среды – от -60°C до $+40^{\circ}\text{C}$;

- исполнение изделия по коду **ТВ** при его размещении по кодам **1.1** или **2.1**, или **3.1**, или **4.1** нормально работает в диапазоне температуры внешней среды – от $+1^{\circ}\text{C}$ до $+40^{\circ}\text{C}$;

- исполнение изделия по кодам **ТС** или **Т** при его размещении по кодам **1.1** или **2.1**, или **3.1**, или **4.1** нормально работает в диапазоне температуры внешней среды – от -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$;

- исполнение изделия **О** при его размещении по кодам **1.1** или **2.1**, или **3.1**, или **4.1** нормально работает в диапазоне температуры внешней среды – от -60°C до $+50^{\circ}\text{C}$;

Нормальные рабочие значения относительной влажности воздуха внешней среды в сочетании с ее определенной температурой при эксплуатации средства автоматизации:

- исполнение изделия по коду **У** или **УХЛ** при его размещении по кодам **1.1** или **2.1**, или **3.1** нормально работает при среднегодовой относительной влажности **75%**, замеренной при температуре $+15^{\circ}\text{C}$, и при верхнем значении относительной влажности **100%**, замеренной при температуре $+25^{\circ}\text{C}$;

- исполнение изделия по коду **ТС** при его размещении по кодам **1.1** или **3.1**, или **4.1** нормально работает при среднегодовой относительной влажности **40%**, замеренной при температуре $+27^{\circ}\text{C}$, и при верхнем значении относительной влажности **100%**, замеренной при температуре $+25^{\circ}\text{C}$.

Коды, определяющие возможное содержание в атмосфере на открытом воздухе коррозионно- активных агентов при эксплуатации средств автоматизации:

- код **I** соответствует условно чистой атмосфере, при которой содержание коррозионно-активных агентов: сернистого газа не более $0,025 \text{ мг/м}^3$, хлоридов менее 0.3 мг/м^2 в сутки;

- код **II** соответствует промышленной атмосфере, при которой содержание коррозионно-активных агентов: сернистого газа от $0,025$ до 0.31 мг/м^3 , хлоридов менее 0.3 мг/м^2 х сутки;

- в помещениях возможное содержание коррозионно-активных агентов принимают равным **30-60%** от соответствующих значений в атмосфере на открытом воздухе.

Рабочие значения допустимых загрязнений окружающего воздуха, характеризующих воздействие пыли на средства автоматизации:

- размер частиц пыли не более 200 мкм;
- скорость движения пыли до 15 м/с;
- состав частиц пылевой смеси: кварцевый песок не более 70%, остальные составляющие не нормируются.

Рабочие значения верхней и нижней границ атмосферного давления при эксплуатации наземных средств автоматизации:

- значение верхней границы – 106.7 кПа (800 мм РТ. ст.);
- значение нижней границы – 86.6 кПа (650 мм РТ. ст.).

Допустимая скорость ветра при эксплуатации наземных средств автоматизации:

- скорость ветра до 50 м/с.

16.2. Защита аппаратуры автоматики от влаги и механических частиц

Защита от влаги и пыли в окружающей среде определяется конструкцией корпуса средства автоматики. Она формулируется в документации аппаратуры кодами международного стандарта МЭК 529-89 или его российского аналога: стандарта ГОСТ 14254-96 «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками - код IP» [2], либо кодами NEMA Национальной ассоциации производителей электротехнической продукции (National Electrical Manufacturers). Упоминание кода одного из этих стандартов присутствует практически в каждой документации к техническому средству автоматизации и заменяет содержательное описание физических свойств защиты. Описание и взаимное соответствие кодов этих стандартов приводится ниже.

В наиболее частых случаях распространенные понятия типа “промышленное исполнение технического средства” подразумевают защиту аппаратуры от влаги и механических частиц в окружающей среде, но поскольку состав и концентрация указанных ингредиентов в окружающей среде могут меняться в широком диапазоне, то и защита от них имеет ряд соответствующих градаций и поэтому сами понятия типа “промышленное исполнение прибора” еще ни о чем не говорят, пока не будет конкретно обозначено - защита от каких именно примесей влаги и частиц в окружающей среде применена в аппаратуре. Эту конкретность имеющимся защитным свойствам аппаратуры устанавливают либо кодами **IP** международного стандарта МЭК 529-89, либо кодами **NEMA** в соответствии с американскими инструкциями.

Код **IP** защиты от влаги и механических частиц состоит из двух десятичных чисел – ху и обозначается: IP ху,

Где IP - обозначение стандарта,

х – параметр кода в виде десятичной цифры, обозначающий степень

защиты от механических частиц,
у – параметр кода в виде десятичной цифры, обозначающий степень защиты от влаги.

Расшифровка кода степени защиты от механических частиц.

х	Защита от механических частиц
0	защиты нет
1	защита от частиц диаметром более 50 мм
2	защита от частиц диаметром более 12,5 мм
3	защита от частиц диаметром более 2,5 мм
4	защита от частиц диаметром более 1,0 мм
5	пыль может проникать без нарушений работы
6	полная защита от проникновения частиц пыли

Расшифровка кода степени защиты от влаги

у	Защита от влаги
0	защиты нет
1	защита от капель, падающих вертикально
2	защита от капель, падающих под углом до 15°
3	защита от струи воды под углом до 60°
4	защита от брызг со всех сторон
5	защита от струи воды со всех сторон
6	защита от сильного действия струй воды
7	защита при кратком погружении в воду без попадания в корпус
8	защита при длительном погружении в воду

Пример промышленной защиты технического средства, записанной в его документации как **IP 65**, расшифровывается следующим образом: средство имеет полную защиту от проникновения в него пыли и защиту от струй воды в любое место его корпуса.

Многие производители современной аппаратуры автоматизации предлагают пользователям вариантность исполнения их корпусов в градациях от IP 20 до IP 66.

Код **NEMA** [3], который используется производителями американского континента, захватывает более широкую область. Он в некоторых случаях расширяет принятое в коде IP понятие защиты, указывая, еще и на защиту от коррозионных газов, и на защиту от контакта с

взрывоопасной атмосферой. Код состоит из десятичного числа (Z) и буквы (a), которые расшифровываются совместно как единое обозначение защиты от всех вредных для прибора компонентов в окружающей среде, и обозначается: NEMAza.

Расшифровка кода степени защиты от вредных примесей в атмосфере приведена ниже в таблице.

Защита от следующих вредных компонентов в окружающей среде	Параметры кода NEMA							
	1	12	13	3R	3	4	4X	6P
Случайный контакт с другим оборудованием	x	x	x	x	x	x	x	x
Падающий сор	x	x	x	x	x	x	x	x
Влажность, вызывающая ржавчину	x	x	x	x	x	x	x	x
Циркулирующая пыль		x	x		x	x	x	x
Ветер с пылью					x	x	x	x
Брызги и падающая жидкость		x	x		x	x	x	x
Дождь				x	x	x	x	x
Снег и снежная крупа				x	x	x	x	x
Обливание водой из шланга						x	x	x
Случайное длительное погружение в воду								x
Просачивание нефтяных и эмульсионных жидкостей		x	x					
Разбрызгивание нефтяных и эмульсионных жидкостей			x					
Наличие в среде агентов, вызывающих коррозию							x	x

Примечания к таблице:

1. Кроме указанных в таблице широко распространенных кодов имеются также коды защиты от следующих вредных компонентов:

NEMA 2 - ограниченное количество брызг и сора;

NEMA 3S - коррозионная стойкость, краткое погружение в воду;

NEMA 5 - пыль и падающий сор;

NEMA 6 - случайное и кратковременное погружение в воду;

NEMA 7 - пыль, вода под давлением и ограниченная вероятность контакта с взрывоопасной атмосферой;

NEMA 8 - защита от пыли, воды под давлением, контакта с взрывоопасной атмосферой путем погружения аппаратуры в инертную среду;

NEMA 12 - пыль, грязь, капающая неагрессивная жидкость;

NEMA 13 - пыль, грязь, капающая неагрессивная жидкость; но не допускается ее попадание на заглушки в корпусе.

1. Аппаратура по кодам **NEMA 1**, **NEMA 5**, **NEMA 12**, **NEMA 13** предназначена для установки в помещениях; аппаратура по кодам **NEMA 3R**, **NEMA 3** устанавливается на открытом воздухе; аппаратура по кодам **NEMA 4**, **NEMA 4X**, **NEMA 6P** используется как в помещениях, так и вне их.

Пример промышленной защиты средства, записанной в его документации. Как **NEMA 4X** расшифровывается следующим образом: прибор защищен от контакта с другим оборудованием; от сора и пыли; от вызывающей ржавчину влажности; от дождя, снега и обливания водой из шланга; от агентов среды, вызывающих коррозию.

Оба рассмотренных кода: **IP** и **NEMA** могут быть приближенно сопоставлены друг с другом. Такое сопоставление кодов важно для потенциальных потребителей, т. к. помогает сравнить защитные свойства технических средств разных фирм, часть которых указывает эти свойства в коде **IP**, а другая - в коде **NEMA**.

Ниже представлено такое приближенное соответствие кодов [3].

Коды NEMA	Коды IP									
	20	21	34	52	54	56	64	65	66	67
1	x									
2		x								
3							x			
3R			x							
3S							x			
4						x		x	x	
4X						x		x	x	
5				x						
6									x	x
6P									x	x
12				x						
13					x					

16.3. Защита аппаратуры от загрязнений, влияющих на изоляцию

Защита низковольтной аппаратуры контроля и управления от возможных загрязнений, влияющих на изоляцию, формулируется в стандарте: ГОСТ Р 50030.1-2007 «Аппаратура распределения и управления низковольтная» [4], аналогичном международному стандарту МЭК 60947-1:2004. Стандарт касается любых технических средств автоматизации, в которых аппаратура имеет соединительные проводники: например, средства измерения, контроля, защиты и управления.

В зависимости от вида и степени возможных загрязнений при эксплуатации средств в них устанавливаются воздушные зазоры и расстояния, препятствующие токам утечки.

Указанный в документации к аппарату код возможного загрязнения в виде десятичной цифры, обозначающий имеющуюся степень защиты данного аппарата от возможного загрязнения соответствует следующим качественным показателям загрязнения, при которых может нормально эксплуатироваться данный аппарат:

- код **1** – возможного загрязнения нет или оно сухое, не токопроводящее;
- код **2** – возможное загрязнение не токопроводящее, но допустима временная конденсация влаги;
- код **3** – возможно токопроводящее загрязнение или не токопроводящее, но которое может стать токопроводящим вследствие ожидаемой конденсации влаги;
- код **4** – возможно загрязнение с устойчивой проводимостью (токопроводящая пыль, дождь, снег).

При отсутствии в документации к аппарату промышленного применения указаний на возможную степень его загрязнения при эксплуатации считается, что он рассчитан на степень загрязнения с кодом **3**.

Глава 17. Защита аппаратуры автоматизации от вредных воздействий промышленной среды

Специфическая для каждого предприятия промышленная среда имеет различные вредные свойства, сказывающиеся на работе аппаратуры автоматизации. К ним относятся:

- электромагнитные помехи, которые могут исказить результаты работы аппаратуры автоматизации;
- опасная, с точки зрения возможности возникновения взрывов из-за отдельных свойств аппаратуры, окружающая ее среда;
- наличие химических активных газов в промышленной среде, которые могут корродировать отдельные материалы аппаратуры;
- механические воздействия промышленной среды на аппаратуру:

вибрация и удары.

Ниже рассматриваются имеющиеся у аппаратуры автоматизации защиты, позволяющие исключить влияние отдельных вредных воздействий промышленной среды в определенных пределах, на работу аппаратуры.

17.1. Защита аппаратуры от электромагнитных помех

Любая аппаратура автоматики, устанавливаемая в промышленных зонах: контроллеры, выносные блоки ввода/вывода, датчики, исполнительные механизмы, технические средства промышленных и полевых сетей, рабочие станции операторов, помещаемые непосредственно в цехах – должна быть устойчива к электромагнитным помехам, имеющимся на производственных участках. Конкретнее, речь идет об аппаратуре, предназначенной для применения в местах эксплуатации, характеризующихся наличием в них или в непосредственной близости от них хотя бы одного из следующих элементов:

- электрической сети, получающей питание от силовых трансформаторов высокого или среднего напряжения и питающей промышленное оборудование;
- промышленных высокочастотных устройств, удовлетворяющих нормам индустриальных радиопомех;
- частых переключений значительных индуктивных и емкостных нагрузок в электрических сетях;
- значительных величин потребляемых оборудованием токов и связанных с ними уровней магнитных полей.

Стандарт IEC 61000-6-2-99 и аутентичный ему ГОСТ Р 51317.6.2-99 “Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний” [5], устанавливает требования электромагнитной совместимости технических средств. Под электромагнитной совместимостью понимается устойчивость средств к кондуктивным, т. е. распространяющимся по проводникам электрической сети, помехам и излучаемым помехам непрерывного и импульсного характера, а также к электростатическим разрядам. Стандарт определяет приемлемый уровень помехоустойчивости технических средств, применяемых в промышленных зонах. Конкретные требования устанавливаются к портам средства, где под портом понимается граница между средством и внешней электромагнитной средой.

Уровень устойчивости средств к электромагнитным помехам, как в период воздействия, так и после прекращения помехи, фиксируется критериями качества средств. Всего выделяется три критерия качества функционирования технического средства:

- критерий **А** – в период воздействия и после прекращения помехи средство должно продолжать функционировать в соответствии с назначением, не допуская ухудшения рабочих характеристик ниже минимально допустимого уровня;

- критерий **В** – после прекращения помехи средство должно продолжать функционировать в соответствии с назначением, не допуская ухудшения рабочих характеристик ниже минимально допустимого уровня;

- критерий **С** – допускается временное прекращение выполнения средством установленной функции при условии, что функция самовосстанавливается или может быть восстановлена с помощью операций управления, выполняемых оператором.

Ниже в таблицах приведены требования устойчивости к электромагнитным помехам по различным типам портов технического средства, применяемого в промышленной зоне.

Требования к порту корпуса (к физической границе средства, через которую могут проникать внешние электромагнитные поля).

№	Вид помехи	Значение параметров помехи	Критерий качества
1	Магнитное поле промышленной частоты	30 А/м при 50 гц	А
2	Радиочастотное электромагнитное поле	10 В/м при 80-1000 Мгц	А
3	Электростатический контактный разряд	+4 кВ	В
4	Электростатический воздушный разряд	+8 кВ	В

Требования к порту ввода/вывода сигналов (порту, в котором проводник /кабель/, служащий для передачи информации, подключен к средству).

№	Вид помехи	Значение параметров помехи	Критерий качества
1	Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями	10 В при 0,15 - 80 Мгц	А
2	Наносекундные импульсные помехи	+1 кВ при 5 кгц	В
3	Микросекундные импульсные помехи большой энергии	+1 кВ	В

Требования к порту электропитания постоянного тока.

№	Вид помехи	Значение параметров помехи	Критерий качества
1	Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями	10 В при 0,15 - 80 МГц	A
2	Наносекундные импульсные помехи	+2 кВ при 5 кгц	B
3	Микросекундные импульсные помехи большой энергии: -помеха по схеме "провод-земля"; -помеха по схеме "провод-провод"	+0,5 кВ +0,5 кВ	B

Требования к порту электропитания переменного тока.

№	Вид помехи	Значение параметров помехи	Критерий качества
1	Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями	10 В при 0,15 - 80 МГц	A
2	Наносекундные импульсные помехи	+2 кВ при 5 кгц	B
3	Микросекундные импульсные помехи большой энергии: -помеха по схеме "провод-земля"; - помеха по схеме "провод-провод"	+2 кВ +1 кВ	B
4	Провалы напряжения электропитания на 25 периодов	30% уменьшения напряжения	B
5	Прерывания напряжения электропитания на 250 периодов	Более 95% уменьшения напряжения	C
6	Прерывания напряжения электропитания на 5 периодов	Более 95% уменьшения напряжения	B
7	Выбросы напряжения электропитания на 25 периодов	20% увеличения напряжения	B

17.2. Защита аппаратуры от взрывоопасной промышленной среды

На многих предприятиях химии, нефтехимии, нефтепереработки и других отраслей аппаратура автоматики (например, контроллеры, их выносные блоки ввода/вывода, датчики и исполнительные комплексы) помещается в окружающую среду, опасную с точки зрения возможности возникновения взрывов. Обычно такой средой является смесь воздуха с горючими компонентами: газами, парами, пылью; которые могут проникать в атмосферу из технологических установок и трубопроводов. При нормальных рабочих режимах аппаратуры автоматики в этой среде потенциально возможно возгорание, распространяемое на занимаемое данной средой объем, поэтому она носит наименование «Взрывоопасная атмосферная среда». Во всех стандартах по взрывоопасным средам она имеет обозначение: **Ex-зона**.

Помещенная в такую среду аппаратура ни в коем случае не должна способствовать взрывоопасным ситуациям или создавать условия, благоприятные для возникновения взрывов, т. е. в ней должна быть исключена возможность образования высокотемпературных участков на любых аппаратурных частях, соприкасающихся с окружающей средой, и исключена возможность искрообразования. Любое электрооборудование может быть помещено в Ex-зону только при этих условиях, иначе оно должно помещаться вне этой зоны.

Барьеры искробезопасности

Чтобы электрическая цепь любого аппарата автоматики, помещенного во взрывоопасную зону, была бы взрывозащищенной, она должна быть ограничена по энергетической емкости (для исключения возникновения высокой температуры на поверхности аппарата) и отделена от сети в окружающей, не взрывоопасной среде барьером искробезопасности, который настолько ограничивает величины напряжения и тока, приходящие в рассматриваемую цепь, что в цепи практически не может возникнуть образование искры. В распространенных барьерах искробезопасности это обеспечивается полной гальванической развязкой рассматриваемой цепи от внешней сети. При этом, независимо от токов и напряжений во внешней сети, в рассматриваемой цепи токи ограничиваются миллиамперами (0-20 мА), а напряжения – десятком вольт (0-10 В).

Конструктивно барьеры искробезопасности имеют промышленное исполнение на широкий диапазон температур, на устойчивость к повышенной влажности и запыленности среды. Они маркируются на различную степень взрывоопасности среды.

Средства, удовлетворяющие требованию взрывобезопасности для разных классов взрывоопасной среды, большей частью в документации к ним фиксируются определенными кодами. Эти коды почти совпадают в российских стандартах (ГОСТ Р МЭК 60079, взрывоопасные среды, 35 частей [6]), в комплексе стандартов ATEX (Atmospheres Explosibles – взрывоопасные смеси газов) Европейского комитета по стандартизации в области электротехники, в стандартах США – ANSI/UL [7].

Ниже разъясняется используемая в этих стандартах кодировка, ее форма записи и раскрывается содержание конкретных символов кода по готовности аппарата работать в различных вариантах взрывоопасности среды.

Варианты образования взрывоопасной, окружающей аппаратуру среды при разных режимах работы аппаратуры автоматики:

- **В-1.** Помещения, в которых газы или пары могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы аппаратуры;

- **В-1а.** Помещения, в которых газы или пары могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси только при авариях или неисправностях аппаратуры;

- **В-1б.** Отличия от В-1а в том, что в помещении нет открытого пламени и горючие газы имеются в недостаточных для взрыва концентрациях. Этот класс можно отнести к не взрывоопасным;

- **В-1г.** Среда возле технологических установок, содержащих горючие газы, которые могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы аппаратуры;

- **В-2.** Помещения, в которых выделяющаяся горючая пыль может образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы аппаратуры;

- **В-2а.** Помещения, в которых горючая пыль может образовывать с воздухом взрывоопасные смеси только при авариях или неисправностях аппаратуры.

Варианты зон связи взрывоопасности атмосферной среды с наличием в ней аппаратуры автоматики:

- зона **0**, в которой взрывоопасная концентрация примесей присутствует постоянно, независимо от нахождения в среде аппаратуры;
- зона **1**, в которой взрывоопасная концентрация примесей возможна при эксплуатации аппаратуры, выделяющей горючие газы или пары;
- зона **2**, в которой взрывоопасная концентрация примесей при нормальной работе аппаратуры не возникает, но возможна при повреждениях аппаратуры.

Классы аппаратуры автоматики, помещаемые во взрывоопасную среду:

- **I** – аппаратура в подземных разработках, при наличии в них рудничного газа;

- **II** – аппаратура в наружной, промышленной взрывоопасной среде.

Последний класс аппаратуры разделяется на подклассы, определяющие возможности работы аппаратуры в среде с разной энергией розжига:

- **IIA** – аппаратура рассчитана на большую энергию розжига среды: более 180 микроджоулей;

- **IIB** – аппаратура рассчитана на энергию розжига среды 60 - 80 микроджоулей;

- **IIC** – аппаратура рассчитана на малую энергию розжига среды: менее 60 микроджоулей.

Подкласс **IIC** является самым строгим и определяет аппаратуру, которая может работать при любой энергии розжига среды.

Варианты степени взрывоопасности среды, определяемые температурой ее самовоспламенения из-за нахождения в ней взрывоопасных газов.

Этот код среды определяет до какой максимальной температуры может доходить любая часть поверхности аппаратуры при окружающей температуре среды 40°C. Эта температура, естественно, должна быть существенно ниже температуры, опасной для возникновения взрыва в данной окружающей среде.

Ниже в таблице приведена классификация среды по температуре ее воспламенения.

Код среды.	Максимальная температура поверхности аппарата в °С	Температура воспламенения взрывоопасной среды в °С
T1	450	>450
T2	300	300-450
T3	200	200-300
T4	135	135-200
T5	100	100-135
T6	85	85-100

Варианты требований к классу аппаратуры, объединяющие взрывоопасность окружающей среды и температуру ее самовоспламенения по наименованию углеводородных газов, которые могут присутствовать в атмосфере, окружающей аппаратуру.

Класс оборудования	Код среды	Типовой представитель газа в атмосфере
IIС	T1	водород
IIС	T2	ацетилен
IIС	T5	сероуглерод
IIВ	T1	коксовый газ
IIВ	T2	этилен
IIВ	T3	сероводород, дизельное топливо
IIВ	T4	диэтиловый и дибутиловый эфир
IIА	T1	пропан, изобутан, доменный газ
IIА	T2	бутан, этилбензол
IIА	T3	нефть, керосин, бензины
I	T1	метан

Практически почти вся современная аппаратура автоматики относится к электрическому типу, поэтому дальше рассматривается взрывозащищенность электрооборудования. *Электрооборудование по российским стандартам подразделяется по степени взрывозащищенности на следующие уровни:*

- уровень **0** – наиболее защищенное оборудование со специальными мерами защиты от взрыва;
- уровень **1** – взрывобезопасное оборудование, в котором защита обеспечена при нормальном режиме его работы и при его повреждениях;
- уровень **2** – оборудование, в котором взрывозащита обеспечена только в нормальном режиме его работы.

В документации на взрывобезопасную аппаратуру фиксируется принятая в стандартах кодировка конструктивного исполнения аппаратуры для обеспечения ее взрывобезопасности.

Она приведена ниже в таблице.

Метод защиты аппаратуры	Реализация метода	Код исполнения аппарата	Пример аппаратуры данного кода защиты
отделение внутренности аппаратуры от окружающей среды	погружение в масло	o	трансформатор
	создание в аппаратуре избыточного давления	p	анализатор
	заполнение аппаратуры специальным порошком	q	влагомер
	герметическая изоляция	h	контроллер
	герметизация корпуса аппаратуры	m	
усовершенствование механической разработки аппаратуры	конструкция аппаратуры с усиленными защитными свойствами (не воспламеняющаяся конструкция)	e	выносные блоки ввода/вывода контроллера
		p (зона связи среды-2)	
ограничение потребляемой аппаратурой энергии	искробезопасная связь аппаратуры с внешней средой	ia-зона связи среды-0 или ib-зона связи среды-1	связь контроллера с приборами через барьеры искробезопасности
создание специальной оболочки аппаратуры	огнестойкое исполнение аппаратуры	d	насос
Особый метод	специальная конструкция	s	детектор газа

В целом, по стандартам взрывобезопасности, класс взрывобезопасного исполнения аппаратуры автоматики имеет форму записи, приведенную в нижеследующем примере:

II 2 EEx dia IIA T3,

где последовательно зафиксировано:

II – код, указывающий, что оборудование может работать в наружной, промышленной взрывоопасной среде;

2 – код зоны, в которой взрывоопасная концентрация примесей при нормальной работе аппаратуры не возникает, но возможна при повреждениях аппаратуры;

E – указание, что средство сертифицировано по стандартам на взрывобезопасность;

EEx – обозначение, что аппарат сертифицирован на работу во взрывоопасной среде;

dia (ряд строчных букв) - код, определяющий защитные особенности конструкции аппарата (здесь указано: огнестойкое исполнение аппаратуры и искробезопасная связь аппаратуры с внешней средой);

IIA – код углеводородных газов, которые могут присутствовать в атмосфере, окружающей аппарат (здесь указано: например, бутан, этилбензол);

T3 – код, указывающий температурную классификацию аппарата (здесь указано, что максимальная температура любой части его поверхности не превосходит 200°С).

17.3.Защита аппаратуры от химических активных газов в промышленной среде

На предприятиях многих отраслей (например, химии, нефтехимии, цветной металлургии) цеховые помещения имеют ту или иную степень загазованности разными химически активными газами и использование аппаратуры в цехах, являющееся наиболее дешевым и удобным вариантом построения распределенных систем управления, напрямую связано с имеющейся у аппаратуры (или, хотя бы, у выносных блоков ввода/вывода контроллеров и средств полевого уровня) защитой от коррозии. При этом разные смеси химически активных газов оказывают разное коррозионное влияние на разные материалы, из которых состоит аппаратура. Это влияние, кроме непосредственной химической атаки на материал, зависит еще от влажности воздуха (реакция химически активных газов с влагой создает новые соединения, увеличивающие коррозионное влияние) и от сочетания материалов, из которых состоит аппаратура (если существует разность электрических потенциалов между двумя разнородными металлами в аппарате, то возникает в присутствии химически активных газов электролитический процесс, усиливающий коррозию).

Вышеприведенные факторы показывают насколько трудно практически при таком разнообразии корродирующих условий стандартизировать уровни защиты аппаратуры от химически активных газов. В документации аппаратуры автоматики часто описание возможного наличия в окружающей среде химически активных газов, при которых аппаратура может нормально работать, т. е. при которых она защищена от коррозии, выглядит примерно следующим образом: «Защита от коррозии: уровень (иногда, класс) G3 по стандарту ANSI/ISA-S71.04» [8]. Ниже приведена расшифровка этого стандарта, позволяющая определить пригодность рассматриваемой аппаратуры к конкретной промышленной среде.

В стандарте ANSI/ISA-S71.04 коррозионное влияние химически активных газов в окружающей среде определяют в терминах нормы коррозионной реакции этой среды с чистой медью. Выбор чистой меди обусловлен тем фактором, что существуют подробные количественные данные по скорости образования коррозионной пленки на медном образце, находящемся в различных коррозионных средах. Влияние коррозионной среды оценивается измерением толщины образовавшейся за определенное время коррозионной пленки, ее химическим составом, уменьшением веса медного образца. Прямым измерением коррозионной активности конкретной окружающей среды является помещение в нее на один месяц медного образца и замер после этого толщины образовавшейся на меди коррозионной пленки.

Стандарт устанавливает четыре уровня химической активности окружающей среды в зависимости от толщины появившейся на медном образце коррозионной пленки.

Классификация химической активности окружающей среды.

Уровни активности среды	Мягкий уровень G1	Умеренный уровень G2	Жесткий уровень G3	Строгий уровень GX
Толщина пленки в ангстремах, образовавшаяся за месяц нахождения меди в среде	<300	<1000	<2000	>2000

При мягком уровне (**G1**) коррозионное влияние окружающей среды незначительно и не сказывается существенно на надежности работы аппаратуры.

При умеренном уровне (**G2**) эффект от коррозии проявляется и

может служить фактором отказов работы аппаратуры.

При жестком уровне (**G3**) высокая вероятность коррозии материалов заставляет либо принимать меры к специальной защите аппаратуры, либо к изменению свойств окружающей среды.

При строгом уровне (**GX**) в среде может работать только специально спроектированная аппаратура. Ее спецификация и защитные свойства устанавливаются особым соглашением между поставщиком и заказчиком аппаратуры.

Для определения уровня химической активности конкретной окружающей среды на практике не надо помещать в эту среду медную пластинку и потом измерять толщину образовавшейся на ней коррозионной пленки. Как выше указано, влияние разных газов на медь уже достаточно хорошо известно, поэтому для определения уровня достаточно знать какие именно и в каком количестве находятся в окружающей среде химически активные газы. Ниже в таблице указано соответствие между концентрацией в среде разных химически активных газовых соединений и уровнем химической активности этой среды. Концентрация газов в таблице дана в следующем объемном соотношении: число кубических миллиметров активных газов на один кубический метр воздуха. Все данные в таблице приведены при относительной влажности воздуха менее 50%. Увеличение относительной влажности ускоряет коррозию в экспоненциальной степени. Количественно, каждые 10% увеличения влажности воздуха свыше 50% увеличивают коррозионное влияние среды, переводя уровень активности среды на одно значение по сравнению с указанным в таблице уровнем.

Класс активных газов	Представители класса	Концентрация активных газов в отдельных уровнях:			
		G1	G2	G3	GX
Класс А	H ₂ S	<3	<10	<50	>50
	SO ₂ , SO ₃	<10	<100	<300	>300
	Cl ₂	<1	<2	<10	>10
	NO _x	<50	<125	<1250	>1250
Класс В	HF	<1	<2	<10	>10
	NH ₃	<500	<10000	<25000	>25000
	O ₃	<2	<25	<100	>100

Класс А состоит из наиболее часто встречающихся на производстве химически активных газов. В него входят активные серные смеси (типа H₂S), серные окислы (SO₂, SO₃), неорганические соединения

хлора (типа Cl_2), окислы азота (NO_x). Зачастую в атмосфере присутствует смесь разных газов этого класса, производящих суммарное коррозионное влияние.

Класс **B** состоит из более редких в производственных условиях химически активных газов: соединений фтора (типа HF), оказывающих коррозионное влияние аналогичное неорганическим соединениям хлора; аммония (NH_3) и его производных, сильных окислителей (типа O_3).

Теперь можно расшифровать приведенный выше пример описания защиты аппаратуры от коррозии. «Защита от коррозии: уровень **G3** по стандарту ANSI/ISA-S71.04» – обозначает, что данная аппаратура может нормально работать, если в окружающей среде концентрация химически активных газов соответствует указанной в столбце **G3** вышеприведенной таблицы с отмеченной коррекцией на возможную влажность среды.

17.4. Защита аппаратуры от внешних механических воздействий: вибраций и ударов

Возможность нормального функционирования аппаратуры автоматики при имеющихся в месте ее установки вибрации и возможных механических воздействиях на нее в виде ударов, т.е. ее виброустойчивость и ударостойкость, фиксируется в документации аппаратуры либо непосредственными параметрами вибрации (диапазоном частот вибрации, ее амплитуды и ускорения) и ударов (ускорением ударов и их продолжительностью), либо отсылками к соответствующим стандартам.

Для программируемых контроллеров, которые по своим свойствам и характеристикам соответствуют стандарту ГОСТ Р 51841-2001 (аналогичен стандарту МЭК 61131-2-92): «Программируемые контроллеры. Общие технические требования и методы испытаний» [9], ссылка в их документации на этот стандарт означает следующие допустимые параметры механических воздействий.

Допустимые параметры виброустойчивости:

- частота вибрации от 10 до 150 Гц;
- постоянное ускорение при непрерывном типе вибрации 0.5 g, а при случайном типе вибрации - 1.0g;
- амплитуда при непрерывном типе вибрации 0.0375 мм, а при случайном типе вибрации – 0.075 мм.

Допустимые параметры ударостойкости:

- ускорение случайных ударов до 15 g;
- продолжительность ударов 11 мс;
- форма ударной волны – полусинусоида по каждой оси.

Для электрических двигателей – приводов, входящих в состав

исполнительных механизмов систем регулирования, может использоваться стандарт ГОСТ 17516.1-90 «Электротехнические изделия. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам» [10]. Он определяет необходимую стойкость электротехнических изделий к воздействию механических внешних воздействующих факторов (ВВФ) в различных условиях эксплуатации изделий. По механическому исполнению изделия (в том числе электродвигателя) они подразделяются на группы разной стойкости к ВВФ. Примерная стойкость электродвигателей, входящих в состав исполнительных механизмов систем регулирования, к синусоидальной вибрации фиксируется в стандарте приведенной ниже в таблице группой механического исполнения.

Группа механического исполнения	Пример области эксплуатации электродвигателя	Диапазон частот	Максимальная амплитуда	Постоянное ускорение
M1	Установки нефтехимии	0.5-35 Гц	5 м/с ²	0.5 g
M2	Компрессоры	0.5-100 Гц	5 м/с ²	0.5 g
M5	Вибрационные машины	0.5-100 Гц	20 м/с ²	2.0 g
M6	Конвейеры	0.5-100 Гц	10 м/с ²	1.0g

В документации к электродвигателю его стойкость к внешнему воздействию типа синусоидальной вибрации записывается в следующем виде: «Номинальные рабочие значения вибрации по ГОСТ 17516.1 для группы механического исполнения **M2**» (или **M1**, или **M5**, или **M6**).

Допустимые механические воздействия на средства измерения электрических и магнитных величин, на измерительно-вычислительные комплексы, на приборы неэлектрических величин, если на их вход подается электрическая величина и прибор может быть проверен средствами измерений электрических величин – определяются указанным в их документации номером группы, параметры которой приведены в стандарте ГОСТ 22261-94 «Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические требования» [11].

Механические воздействия:	Обозначение виброустойчивости и ударостойкости изделия	
	группа 5	группа 6
Вибрация	Частота 10-70 Гц	
	Максимальное ускорение 2-40 м/с ²	
Удары	10-50 ударов в мин.	
	Максимальное ускорение 15-70 м/с ²	
	Длительность импульса 6-20 мс	
	Общее число ударов 1000	Общее число ударов 2000

Примечание: На изделия групп №№ 1-4 рабочие значения механических воздействий в стандарте не устанавливают.

Глава 18. Защита информации в системах автоматизации

Информационная безопасность систем автоматизации достигается комплексом мероприятий. Эти мероприятия представляют различные защитные меры по обнаружению угроз искажения информации, по предотвращению таких угроз, по исправлению или восстановлению искаженной информации, по недопущению несанкционированного доступа к информации.

Необходимые мероприятия защиты информации должны включаться в требования к проектируемым системам автоматизации. Отбор требуемых защитных мероприятий зависит от экспертной оценки вероятности рисков нарушений отдельных видов информации для всего хода производства. На базе этих оценок можно планировать реализацию тех мероприятий, которые ведут к минимизации рисков искажений информации и не нарушают заданные ограничения на финансирование данных мероприятий.

Важно подчеркнуть, что в процессе функционирования систем автоматизации должно быть реализовано отслеживание и анализ имевшихся нарушений информационной безопасности. Для этого необходимо:

- регистрация всех нарушений по вводу, обработке, хранению, выдаче информации и по сбоям программного обеспечения систем автоматизации производства;

- выявление причин нарушений на базе разделения имевшихся нарушений на классы, расчета частоты отдельных классов нарушений, фиксации принятых мер по компенсации нарушений каждого класса.

На базе такого временного отслеживания и анализа разных классов возникавших искажений информации возможна коррекция имеющихся мероприятий по управлению информационной безопасностью.

Все угрозы утечек, потерь, прерывания, задержек и искажения информации, вмешательства в программное обеспечение средств и систем автоматизации (кроме неисправностей самих технических средств, в которых реализованы программы контроля и управления) определяются либо возмущениями атмосферной среды (например, молниями, землетрясениями), либо промышленными помехами (например, электростатическими разрядами, вибрацией, перерывами электропитания средств), либо человеческим фактором (например, случайным искажением информации, недостаточно полным тестированием используемых прикладных программ, целенаправленным вмешательством в передаваемые сообщения или в программное обеспечение).

В данной главе в соответствии с рекомендациями стандартов по информационной безопасности и со спецификой средств и систем автоматизации производства рассматриваются те способы защиты информационного обеспечения систем автоматизации от любого типа возможных угроз, которые непосредственно могут использоваться при разработке и эксплуатации различных систем автоматизации производства.

Само понятие «Информационная безопасность» определяется в стандартах как механизм защиты информации, обеспечивающий ее целостность, доступность и конфиденциальность. Применительно к системам автоматизации целесообразно добавить к информационной безопасности необходимость обеспечения заданной оперативности передачи информации пользователям.

Обеспечение целостности информации

Под целостностью информации понимается соблюдение полноты сбора, передачи, обработки, хранения и выдачи пользователям сообщений. Целостность сообщений заключается в их достоверности, где под достоверностью информации понимается уверенность, что получаемая информация не была случайно или целенаправленно искажена, изменена, сокращена, сфальсифицирована в процессе ее прохождения от ввода до выдачи пользователям.

Обеспечение доступности информации

Под доступностью информации понимается готовность к получению пользователем предназначенной ему информации. Потеря доступности заключается в прерывании получения информации пользователем. Степень доступности характеризует надежность и отказоустойчивость функционирования информационной системы.

Обеспечение конфиденциальности информации

Под конфиденциальностью информации понимается возможность приема ее только теми пользователями, которые авторизованы на работу с ней. Авторизация заключается в определении уровней доступа и привилегий данного пользователя к определенному типу информации (сведений, сообщений, сигналов) и к разрешению ему определенных действий с этим типом информации.

Обеспечение оперативности информации

Под оперативностью понимается общее время прохождения информации в системе от момента ее ввода до момента ее выдачи пользователю. Она подразумевает, что переданные сообщения должны поступить к пользователю не позже определенного интервала времени после их отправки. Учитывая, что вся информация, функционирующая в системе автоматизации, может быть классифицирована по приоритетности и необходимым мерам или уровню ее защиты, следует иметь в виду, что сообщения о нештатных, предаварийных и аварийных ситуациях на производстве в подавляющем большинстве случаев являются максимально приоритетными и требуют специальных мер, предотвращающих задержку передачи таких сообщений или их потерю.

18.1. Защита информации от искажений при ее прохождении и обработке в системе автоматизации

Различные искажения информации возможны на всем пути ее прохождения в системе автоматизации от автоматического или ручного ввода данных до их выдачи различным группам пользователей, поэтому соответствующие защитные меры должны применяться на всех стадиях ее ввода, передачи, обработки, хранения и выдачи. Также необходимы специальные защитные меры от возможного использования в системе введенных недостоверных данных.

Защита от использования в системе автоматизации введенной в нее недостоверной информации.

Общие защитные меры по обнаружению ввода в систему искаженной, прерванной, противоречивой информации могут заключаться в следующих способах ее анализа:

- неполноты вводимой информации по сравнению с заданным ее

объемом;

- превышением заданного объема вводимого информационного файла;
- наличием во вводимой информации недопустимых символов;
- противоречиями в заданных контрольных данных по данному классу информации.

Простейшим способом оценки достоверности вводимых автоматически в систему значений измеряемых датчиками величин является сопоставление введенных значений величин с возможными диапазонами их нахождения. Более тонкие оценки их достоверности базируются на добавочных сведениях:

- на сопоставлении введенного текущего значения величины с его предыдущими значениями: выявления зависания (неправомерного постоянства значения величины) или не соответствующей контролируемому процессу скорости изменения значения величины;
- на наличии изменения во времени значения величины при априори известном заведомом постоянстве ее значения;
- на сравнении введенного значения величины со значениями других, статистически связанных с ней величин;
- на использовании поступивших сигналов о наблюдаемых неисправностях в измерительной системе или системе связи прибора с системой.

Результат проверки достоверности введенного значения измеряемой величины обычно формируется в виде одной из трех оценок:

- **1** – введенное значение измеряемой величины достоверно,
- **2** – введенное значение измеряемой величины сомнительно,
- **3** – введенное значение измеряемой величины недостоверно.

Эта оценка прикладывается к полученной оценке измеряемой величины и далее в системе служит сигналом, определяющим алгоритм ее обработки и выдачи.

Вводимая в систему автоматизации вручную, через установленные на рабочих местах персонала специальные компьютерные терминалы или через персональные компьютеры информация: сведения, распоряжения, управляющие команды и т. п. должна быть защищена удостоверением идентификации лица, заносящего эту информацию в систему. Мерами защиты важных вводимых документов могут быть цифровые (электронные) их подписи, подтверждающие аутентификацию и целостность вводимых документов.

Защита информации от нарушений при ее передаче по сети:

- защита информации от ее потери при обрыве сети или неисправности технических компонентов сети может быть предусмотрена

буферизацией вводимых в систему данных и их сохранением в буфере до момента восстановления нормальной работы сети, что исключает потерю информации, но приводит к задержке ее получения пользователями. При этом обязанностью администратора системы является выдача своевременных сообщений пользователям о причине отсутствия информации и примерном времени задержки ее получения (времени проведения ремонтных работ);

- защитой не только от потери, но и от задержки передачи информации пользователю при обрыве связи между ним и источником данных является наличие резервного пути передачи информации. Резервирование проводных сетей реализуется резервированием их физической среды: витой пары, кабеля, оптоволокну; в беспроводных сетях резервируются узлы-ретрансляторы и шлюзы соединения сети с техническими средствами системы автоматизации.

Защита информации от ошибок при ее обработке в системе автоматизации.

Защита от ошибок вычислительной и логической переработки информации может быть реализована совокупностью следующих способов:

- выверкой переработки заданных контрольных сумм;
- фиксацией превышения контрольного времени выполнения программ переработки данных;
- слежением за правильной последовательностью использования программ переработки данных;
- применением специальных корректирующих программ для восстановления правильной переработки данных после сбоев программного обеспечения.

Защита информации от искажений и потерь при хранении информации в памяти технических средств системы:

- сохранение как исходных (введенных в систему) данных, так и переработанных данных, чтобы можно было повторить переработку с целью проверки правильности ее проведения;
- резервное копирование всей введенной информации и периодическая ее перезапись на жесткий диск;
- использование хэш-функций, сопоставляющих массиву данных произвольной длины битовую строку фиксированной длины. Она обнаруживает ошибки при хранении и передаче данных. Но поскольку число значений хэш-функции меньше числа вариантов соответствующего ей массива данных, то могут существовать коллизии, когда одинаковая хэш-функция соответствует массивам с разным содержанием.

Защита информации от искажений и утечки при ее выдаче пользователям

На этом этапе возможны два вида угроз безопасности информации, которые требуют разных способов защиты: угроза недостоверности выдаваемой информации и угроза ее выдачи несанкционированным, посторонним лицам.

Анализ полноты выдаваемых данных возможен путем контрольного подсчета выдачи всех необходимых данных. Правдоподобность выводимых данных может быть оценена выполнением определенных тестов, зависящих от класса данных.

Основной защитой от несанкционированного использования информации является контроль доступа пользователей к информации, т. е. разграничение доступа к отдельным классам информации для различных групп пользователей. Для этого в системе должна проводиться авторизация пользователей и устанавливаться для них различные уровни доступа. Они могут касаться типов сообщений, данных, сигналов, распоряжений, управляющих воздействий; они могут также определять ограничения форм работы пользователей с получаемой ими информацией: чтение, запись, изменение, удаление, выполнение. Авторизация реализуется аутентификацией (введением личного пароля, ключа доступа и их сверка подлинности при введении с сопоставлением этих идентификаторов в базе данных системы), т. е. средством удостоверяющим, что работу с информацией выполняет именно то лицо, которое идентично введенному в систему паролю. Использование индивидуальных паролей пользователей особенно важно для защиты от неправомерных или ошибочных управляющих команд, поскольку оно позволяет соотносить все воздействия на систему автоматизации с конкретным лицом, которое их реализовало.

Есть два альтернативных правила контроля доступа к информации, одно из которых должно быть выбрано при установлении мер информационной безопасности в конкретной системе автоматизации:

- сильное ограничение: все должно быть в общем случае запрещено, пока явно не разрешено;
- слабое ограничение: все должно быть в общем случае разрешено, пока явно не запрещено.

Правила разграничения доступа для отдельных пользователей информации должен назначать и, при необходимости, их изменять администратор системы. Программная защита должна обеспечивать идентификацию пользователей и проверять подлинность идентификатора, т. е. осуществлять аутентификацию. В ответственных случаях программный диспетчер доступа должен осуществлять перехват всех об

рашений пользователей к информации и проверять эти обращения на допустимость. Кроме того, должны автоматически регистрироваться все события, сообщающие о несанкционированном доступе: фиксироваться время и тип таких событий.

Защита целостности находящихся в промышленной эксплуатации прикладных программ работы с информацией в системе автоматизации:

- при наличии мультипрограммирования средства защиты должны изолировать программные модули одного процесса от другого;
- все программы защиты должны реализовываться в отдельной части оперативной памяти системы;
- необходимо ведение журнала регистрации всех обновлений эксплуатируемых прикладных программ;
- каждая вновь вводимая в систему версия прикладной программы должна проходить на тестовых примерах проверку на имеющиеся в ней средства управления безопасностью информации.

18.2. Защита информации от помех среды

Внешними по отношению к системе автоматизации угрозами являются промышленные помехи, вмешательства соседних информационных систем, нарушения работы источников питания.

Защита информации в системе от искажений и любых нарушений через информационную сетевую взаимосвязь рассматриваемой системы с любой посторонней системой автоматизации реализуется установкой между ними межсетевого экрана, являющегося шлюзом безопасности. Он выполняет функции контроля информационного потока между системами, правомерности доступа определенных классов данных в систему, вводит блокировку неавторизованного доступа в систему, проводит необходимую фильтрацию информационного трафика между взаимосвязанными системами.

Защита информации от внешних радио и электромагнитных помех при ее прохождении в сети может выполняться различными путями в зависимости от конкретной реализации физической среды сети:

- при использовании в качестве физической среды сети медного кабеля необходимо отделение каналов силовых кабелей от данного канала коммутационной сети;
- при использовании беспроводной сети, более уязвимой для внешних помех, применяется несколько средств защиты от искажения информационного сигнала в сети. При затруднении передачи сигнала по существующей частоте используется защищенная технология передачи сообщения, при которой его передача производится скачкообразной

сменной несущей частоты (Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS). Может применяться прямое последовательное расширение спектра передаваемого сообщения (Direct-Sequensing Spread Spectrum-DSSS). Оно распространяется по спектру частот, причем набор частот задается ключом, значение которого меняется во времени, что исключает влияние помех типа узкополосного радиосигнала. В сотовой беспроводной сети возможна также такая защита информации: источник сигнала выдает ключ подлинности, каждый ретранслятор сигнала сотовой сети и конечный пользователь сверяет подлинность сигнала по данному ключу, что исключает его искажение в процессе передачи по сети.

Защита информации от перебоев в подаче электроэнергии может быть реализована либо наличием нескольких источников электропитания, либо подключением устройства бесперебойного питания (UPS), либо установкой резервного генератора при достаточно реальной перспективе длительного отказа подачи электроэнергии от общего источника.

Защита информации в системе от любых общих нарушений внешней среды (задымление, затопление, загазованность и т. п.) должна быть предусмотрена в виде организационных решений и мероприятий по рациональному размещению всех средств системы автоматизации.

18.3. Защита информации от несанкционированного доступа к средству или системе автоматизации

Последние годы значительно усиливается внимание к информационной безопасности АСУ, т. е. к защите автоматизированных систем контроля и управления производственными объектами и их программных и технических компонентов от несанкционированного доступа к информации. Информационные угрозы АСУ производственных объектов непрерывно возрастают численно и становятся все более изощренными; а сами АСУ становятся все более типовыми и открытыми и, следовательно, все более уязвимыми для внешних угроз. Вопросам информационной безопасности рассматриваемого класса систем посвящены ряд ГОСТов и Руководящих документов Гостехкомиссии России и Федеральной службы по техническому и экспертному контролю (ФСТЭК).

Особое внимание уделяется требованиям к защите информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими объектами на критически важных и потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды. Эти объекты определяются по наименованию и количеству

опасного вещества в них и подразделяются на четыре класса: от объекта низкой опасности до объекта чрезвычайно высокой опасности: Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (редакция от 13.07.2015): «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [12]. В АСУ таких объектов необходимо применять специальные средства по защите информации, которые, в свою очередь, подразделяются на разные по уровню защиты информации классы (уровни или категории) информационной безопасности, необходимые для защиты при управлении этими объектами.

18.3.1. Особенности защиты информации от несанкционированного доступа к АСУ производственных объектов

Хакерские атаки на АСУ производственных объектов возможны разными путями:

- через их существующие связи с другими системами автоматизации предприятия;
- через связи АСУ с пользователями через Интернет;
- через внешние подключения к АСУ электронной почты, USB, компьютеров;
- через обновления программного обеспечения АСУ.

Все эти варианты атак должны быть учтены при разработке средств защиты информации (киберзащиты) АСУ.

Требования к защите информации от несанкционированного доступа в АСУ производственных объектов существенно отличаются от аналогичных требований в офисных системах [13]:

- в офисных системах важнейшим является сохранение конфиденциальности, а в АСУ главным является защита от несанкционированного вмешательства в его функционирование;
- проникновение и кража данных с сервера офисных систем существенно важнее, чем аналогичные по функциям посторонние проникновения в сервер АСУ;
- любые несанкционированные изменения в программном обеспечении АСУ значительно опаснее аналогичных вмешательств в офисные системы.

Защита информации в АСУ по месту расположения защитных средств и функций подразделяется на два уровня, что в целом создает двухуровневую защиту:

- внутренний уровень защиты состоит из программных и технических средств АСУ (контроллеров, исполнительных механизмов, SCADA-программ), имеющих специальные компоненты (программы)

защиты от информационных угроз;

- внешний уровень защиты формируется из отдельных устройств, процедур и мероприятий по информационным границам АСУ: сегментация АСУ на отдельные зоны и разделение их сетевых связей межсетевыми экранами (т. е. программно-аппаратными компонентами сети, осуществляющими контроль и фильтрацию проходящего через них трафика в соответствии с заданными правилами); авторизация пользователей и управление их правами доступа; антивирусная защита при удаленном доступе к АСУ через Интернет; жесткий контроль подключаемых к АСУ различных посторонних средств вычислительной техники.

Защита информации реализуется как машинной, так и человеческой частями АСУ:

- пассивная защита, реализуемая машинной частью АСУ, состоит из антивирусных программ, межсетевых экранов, систем обнаружения информационных атак, авторизации пользователей, аутентификации (т. е. проверки подлинности) удаленных узлов и т. п.

- активная защита, реализуемая человеческой частью АСУ (персоналом), заключается в мониторинге безопасности на информационной границе АСУ и в программных и технических средствах АСУ, в обнаружении и оценке текущих угроз по нарушению информации в системе, в возможно более быстром формировании управляющих воздействий, реагирующих на возникающие угрозы и устраняющих их последствия.

Общие меры защиты информации в АСУ конкретного производственного объекта от несанкционированного доступа формируются путем проведения следующих работ [14], [15]:

- анализ уязвимостей системы и рисков отдельных видов информационных атак, а также их ранжирование по степени тяжести последствий;

- составление плана действий по уменьшению рисков, связанных с классом возможных угроз, имеющих уязвимостей к ним, последствий от проникновения информационных вторжений в систему;

- сегментация АСУ на отдельные зоны, требующие разных уровней защиты информации, и разделение их сетевых связей специальными межсетевыми экранами;

- приобретение программных и технических компонентов АСУ, оснащенных элементами защиты от информационных атак;

- формирование защиты от проникновения вредоносных атак при подключении внешних по отношению к АСУ устройств: персональных компьютеров, ноутбуков, USB-накопителей и т. п.;

- авторизация всех пользователей АСУ и управление их правами доступа: определение прав, их активация, изменение, пересмотр,

деактивация и удаление;

- строгое ограничение реализуемых в АСУ функций контроля, учета и управления;
- мониторинг компьютерных адресных атак и построение системы обнаружения вторжений посторонней информации в АСУ;
- реакция на проникновение посторонней информации в АСУ и восстановление нормальной работы производства с минимизацией потерь от инцидента;
- обучение персонала, работающего и обслуживающего АСУ, обнаружению киберугроз и их компенсации;
- периодический аудит эксплуатируемой СУ на предмет соответствия безопасности системы вероятным классам текущих угроз.

Важно подчеркнуть разницу между созданием системы защиты информации от несанкционированного доступа в уже имеющихся, эксплуатируемых АСУ и во вновь разрабатываемых АСУ; так в уже существующих на предприятии АСУ невозможно изменить их программные и технические средства и, обычно, последние не могут быть дополнены компонентами защиты, поэтому повышение их уровня информационной безопасности целиком ложится на внешний уровень защиты, который формируется по информационным границам АСУ, а вновь разрабатываемые АСУ должны быть обеспечены защитой информации, как на внутреннем, так и на внешнем уровне. Для этого еще в технических требованиях на АСУ должны быть предусмотрены конкретные пункты по необходимой защите информации в программных и технических средствах планируемого АСУ; а при ее приемке должна быть проверена степень защиты информации в ней путем применения специальных тестов – типа кибератак.

18.3.2. Существующие стандарты защиты информации от несанкционированного доступа к АСУ производственных объектов

В последние годы основными международными организациями по разработке стандартов в области промышленной автоматизации: ассоциацией автоматизации (International Society of Automation /сокращенно ISA/) и электротехнической комиссией (International Electrotechnical Commission /сокращенно, IEC/), стало уделяться большое внимание информационной безопасности автоматизированных систем управления производственными объектами.

Они разрабатывают и выпускают семейство стандартов ISA/IEC 62443 «Industrial automation and control systems security». В этом семействе к настоящему времени выпущено 12 частей стандарта и еще 9

частей готовятся к изданию или находятся на рассмотрении.

Росстандарт перевел и утвердил в качестве российского стандарта ГОСТ Р МЭК 62443 «Промышленные коммуникационные промышленные сети. Безопасность сетей и систем» следующие части Международного стандарта ISA/IEC 62443:

- ГОСТ Р МЭК 62443-1-1-2014. Часть 1-1. Терминология, концептуальные положения и модели [16],

- ГОСТ Р МЭК 62443-2-1-2015. Часть 2-1. Составление программы обеспечения защищенности (кибербезопасности) системы управления и промышленной автоматики [17],

- ГОСТ Р МЭК 62443-3-3-2016 Часть 3-3 (начало действия этого ГОСТа - апрель.2017 г.). Требования к системной безопасности и уровни безопасности [18].

В ГОСТе Р МЭК 62443 информационную защиту АСУ рассматривают как непрерывный процесс: от закладки в ее проект специальных средств управления информационной безопасностью до поддержки информационной безопасности АСУ во время ее эксплуатации, с учетом изменения числа и свойств информационных угроз во времени. Основой для формирования требований к информационной безопасности проектируемой АСУ рекомендуют выявление и анализ рисков вторжений в ее программное обеспечение. Для формирования требований к информационной безопасности проектируемой АСУ предусматривается необходимое проведение анализа рисков вторжений в ее программное обеспечение. Подробное описание различных методов обнаружения и анализа информационных уязвимостей в технических и программных компонентах АСУ производственных объектов приведено в [19].

Важным, прописанным в ГОСТе решением является классификация средств и систем автоматизации по их уровню защиты от несанкционированного доступа, который должен проверяться и подтверждаться органами сертификации. Следует указать на формальное подобие рассматриваемой информационной безопасности системы автоматизации ее физической безопасности, реализуемой системой противоаварийной защиты (ПАЗ). Здесь, аналогично, требуемое снижение риска нарушения информационного обеспечения АСУ определяется ее уровнем требуемой информационной безопасности или (что то же) уровнем надежности ее защиты от киберугроз — Safety Integrity Level, который обозначается аббревиатурой — SIL.

Типы информационных угроз, от которых зависит категория SIL, подразделяются на случайные, непредумышленные, простые, изолированные и обширные. В соответствии с этим подразделением принимают следующие категории SIL, задаваемые особенностями возможных

типов информационных угроз к конкретному автоматизируемому объекту:

- SIL 0: информационная защита не требуется (к этой категории SIL могут относиться некоторые функции АСУ; например: электронная почта, IP-телефония, совместный доступ к файлам);

- SIL 1: информационная защита от случайного или непредумышленного нарушения безопасности;

- SIL 2: информационная защита от умышленного нарушения безопасности с использованием простых средств и при низкой мотивации;

- SIL 3: информационная защита от умышленного нарушения безопасности с использованием изощренных средств, при умеренных ресурсах и умеренной мотивации;

- SIL 4: информационная защита от умышленного нарушения безопасности с использованием изощренных средств при обширных ресурсах и высокой мотивации (информационная защита от угроз организованной преступной группировки).

Реализация отмеченных уровней информационной безопасности SIL различается числом и глубиной реализуемых (встраиваемых) элементов (процедур) в программные и технические средства АСУ, специально нацеленных на повышение их информационной защиты.

По отдельным разделам построения и эксплуатации АСУ в стандарте устанавливается определенное число уровней информационной безопасности SIL: по обеспечению приборной информационной защиты выделено 3 уровня информационной безопасности; по обеспечению системной информационной защиты также выделено 3 уровня информационной безопасности; по обеспечению информационной защиты системы во время ее жизненного цикла выделены 4 уровня информационной безопасности.

Следует отметить, что указанные в стандарте типы информационных угроз, виды их ресурсов, классы мотивации вторжений в настоящее время носят сугубо качественный характер. В дальнейшем авторы семейства стандартов ISA/IEC 62443 предполагают свести все эти качественные обозначения к количественным описаниям, требованиям и показателям.

В соответствие со стандартом ISA/IEC 62443 сертификационные фирмы в США и в Европе (Exida Certification, ISA Security) проводят сертификацию средств автоматизации (контроллеров, SCADA программ и т. д.) различных производителей по информационной защите, оценивая их функциональную безопасность, программную безопасность, коммуникационную безопасность и выдавая этим средствам сертификаты, определяющие их уровень информационной безопасности

(имеющуюся категорию SIL).

Заказчики средств и систем автоматизации для потенциально опасных объектов могут теперь отбирать их, учитывая их категорию информационной безопасности SIL, подтвержденную сертификатом.

18.3.3. Основной нормативный документ ФСТЭК по защите информации от несанкционированного доступа к АСУ производственных объектов

Значительное внимание к защите информации от несанкционированного доступа к АСУ уделяет Федеральная служба по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК России). Информационная защита автоматизированных систем контроля и управления рассмотрена в Приказе ФСТЭК от 14 марта 2014 г., № 31: «Об утверждении требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды». Обновлено: 17.02. 2015 [20]. Приказ определяет правила выбора класса информационной безопасности средств и систем автоматизации для конкретных объектов и процессов, требующих защиты от несанкционированного доступа к информации.

Приказ фиксирует меры по защите информации от неправомерного доступа, уничтожения, модифицирования, блокирования, копирования, предоставления, распространения, а также иных неправомерных действий в отношении защищаемой информации, в том числе от деструктивных информационных воздействий (компьютерных атак), следствием которых может стать нарушение функционирования АСУ.

Действие приказа распространяется на АСУ, обеспечивающие контроль и управление производственным оборудованием и технологическими процессами (в том числе, на системы диспетчерского управления, системы сбора и передачи данных, распределенные системы управления на базе микропроцессорных контроллеров).

В приказе фиксируются следующие уровни структуры АСУ:

- верхний (информационный) уровень, включающий операторские рабочие станции, серверы с установленным на них общесистемным и прикладным программным обеспечением, телекоммуникационное оборудование (коммутаторы, маршрутизаторы, межсетевые экраны), каналы связи информационной сети;

- средний (промышленный) уровень, состоящий из контроллеров, получающих данные с нижнего (полевого) уровня, передающих данные на верхний уровень для принятия решений и формирующих

управляющие команды для исполнительных устройств. Этот уровень включает промышленную сеть передачи данных;

- нижний (полевой) уровень, объединяющий датчики, исполнительные механизмы, регулирующие органы, полевые сети.

Объектами защиты в АСУ являются вся информация о состоянии объекта или процесса автоматизации и управляющая (командная) информация; сам программно-технический комплекс системы автоматизации, включающий технические средства (рабочие станции, серверы, каналы связи, контроллеры, датчики, исполнительные устройства), программное обеспечение (общесистемное и прикладное); также имеющиеся средства защиты информации.

Защита информации должна обеспечиваться на всех этапах создания и эксплуатации автоматизированной системы. Она достигается путем принятия организационных и технических мер, направленных на блокирование угроз безопасности информации, которые могут привести к нарушению штатного режима функционирования АСУ; на локализацию и минимизацию последствий от возможной реализации угроз безопасности информации; на восстановление штатного режима функционирования автоматизированной системы в случае реализации угроз безопасности информации.

Принимаемые организационные и технические меры защиты информации должны:

- обеспечивать доступность обрабатываемой в АСУ информации (исключение неправомерного блокирования информации), ее целостность (исключение неправомерного уничтожения, модифицирования информации), а также, при необходимости, конфиденциальность (исключение неправомерного доступа, копирования, предоставления или распространения информации);

- быть согласованными с мерами по промышленной, физической, пожарной, экологической, радиационной безопасности автоматизированной системы;

- не оказывать отрицательного влияния на штатный режим функционирования АСУ.

Выбор необходимого класса защиты АСУ проводится заказчиком в зависимости от уровня значимости (критичности) информации, обработка которой осуществляется в этой системе. Для проведения классификации конкретной АСУ проводится анализ перечня защищаемых информационных ресурсов и их уровня конфиденциальности; перечня лиц, имеющих доступ к средствам системы и их уровней полномочий к доступу конфиденциальной информации; наличия коллективного или индивидуального режима обработки данных в системе.

Устанавливаются три уровня защиты автоматизированной системы. При этом уровень защиты может быть установлен отдельно для каждого из уровней структуры автоматизированной системы. Результаты классификации автоматизированной системы оформляются актом классификации. Требование к уровню защиты включается в техническое задание на создание АСУ, разрабатываемой с учетом соответствующих ГОСТов и стандартов предприятия. В случае модернизации системы, в результате которой изменился уровень значимости обрабатываемой в ней информации, уровень защиты автоматизированной системы подлежит пересмотру.

Определение необходимого уровня защиты от информационных угроз по Приказу №31 в АСУ конкретного производственного объекта

Уровень защиты АСУ зависит от степени значимости (или критичности) обрабатываемой в ней информации и подразделяется на 3 категории: первый уровень защиты /K1/, второй уровень защиты /K2/, третий уровень защиты /K3/).

Степень значимости определяется степенью возможного ущерба от нарушения целостности информации, нарушения ее доступности и конфиденциальности, в результате которого возможно нарушение штатного режима функционирования АСУ или незаконное вмешательство в процессы ее функционирования.

Сама степень возможного ущерба определяется заказчиком системы экспертным или иным (большой частью качественным) способом и может быть:

- высокой, если в результате нарушения одного из свойств безопасности информации (целостности, доступности, конфиденциальности), повлекшего нарушение штатного режима функционирования АСУ, возможно возникновение чрезвычайной ситуации федерального или межрегионального характера или иные существенные негативные последствия в социальной, политической, экономической, военной или иных областях деятельности;

- средней, если в результате нарушения одного из свойств безопасности информации (целостности, доступности, конфиденциальности), повлекшего нарушение штатного режима функционирования АСУ, возможно возникновение чрезвычайной ситуации регионального или межмуниципального характера или иные умеренные негативные последствия в социальной, политической, экономической, военной или иных областях деятельности;

- низкой, если в результате нарушения одного из свойств безопасности информации (целостности, доступности, конфиденциальности), повлекшего нарушение штатного режима функционирования АСУ,

возможно возникновение чрезвычайной ситуации локального характера или возможны иные незначительные негативные последствия в социальной, политической, экономической, военной или иных областях деятельности.

Информация, обрабатываемая в АСУ, имеет высокую степень значимости (СЗ 1), если хотя бы для одного из свойств безопасности информации (целостности, доступности, конфиденциальности) определена высокая степень ущерба. Информация, обрабатываемая в АСУ, имеет среднюю степень значимости (СЗ 2), если хотя бы для одного из свойств безопасности информации (целостности, доступности, конфиденциальности) определена средняя степень ущерба и нет ни одного свойства, для которого определена высокая степень ущерба. Информация, обрабатываемая в АСУ, имеет низкую степень значимости (СЗ 3), если для всех свойств безопасности информации (целостности, доступности, конфиденциальности) определены низкие степени ущерба.

При обработке в АСУ двух и более видов информации (например, измерительной информации о процессе и информации о состоянии оборудования) степень значимости определяется отдельно для каждого вида информации. Итоговая степень значимости устанавливается по наивысшим значениям степени возможного ущерба, определенным для целостности, доступности, конфиденциальности каждого вида информации.

Уровень защиты АСУ определяется в соответствии с таблицей:

Степень значимости информации	Уровень защиты системы
СЗ 1	К1
СЗ 2	К2
СЗ 3	К3

В АСУ, сертифицированных по требованиям безопасности информации, должны применяться ниже приведенные средства защиты информации.

В АСУ уровня защиты К1:

- средства вычислительной техники: не ниже 5 класса;
- межсетевые экраны, являющиеся шлюзом безопасности: не ниже 3 класса в случае взаимодействия автоматизированной системы с информационно-телекоммуникационными сетями международного

информационного обмена и не ниже 4 класса в случае отсутствия такого взаимодействия. Они выполняют функции контроля информационного потока между системами, правомерности доступа определенных классов данных в систему, вводят блокировку неавторизованного доступа в систему, проводят необходимую фильтрацию информационного трафика между взаимосвязанными системами.

- средства защиты от внешних к АСУ угроз, к которым относятся системы обнаружения вторжений, средства антивирусной защиты, средства доверенной загрузки и средства контроля съемных носителей информации: не ниже 3 класса.

В АСУ уровня защиты К2:

- средства вычислительной техники – аналогично уровню защиты К1;

- межсетевые экраны – аналогично уровню защиты К1;

- средства защиты от внешних к АСУ угроз: не ниже 4 класса.

В АСУ уровня защиты К3:

- средства вычислительной техники – аналогично уровню защиты К1;

- межсетевые экраны: не ниже 4 класса;

- средства защиты от внешних к АСУ угроз: не ниже 5 класса.

Все автоматизированные системы и их компоненты, работающие в условиях, требующих защиты их информации от несанкционированного доступа, подлежат сертификации, т. е. процедуре подтверждения соответствия продукции заявленному уровню защиты информации. Сертификация проводится независимой от изготовителя (продавца, исполнителя) и потребителя (покупателя) организацией, имеющей лицензию на проведение необходимых испытаний предъявляемой продукции. Она удостоверяет в письменной форме, что продукция соответствует установленным требованиям к определенному уровню защиты данного вида продукции.

Следует отметить, что Приказом ФСТЭК №31 не исчерпывается внимание ФСТЭК к задачам обеспечения информационной безопасности АСУ. Полный состав Руководящих документов по защите информации в АСУ еще отсутствует и в настоящее время продолжается разработка новых Руководящих документов ФСТЭК по защите информации в АСУ:

- меры защиты информации в АСУ;

- порядок выявления и устранения уязвимостей в АСУ;

- методика определения угроз безопасности информации в АСУ.

Ниже кратко пояснены основные характеристики указанных классов средств вычислительной техники, межсетевых экранов и систем

обнаружения вторжений, по которым их следует отбирать для уровней защиты автоматизированных систем К1, К2 и К3.

18.3.4. Другие документы ФСТЭК по защите информации от несанкционированного доступа

Средства вычислительной техники /СВТ/, являющиеся частью АСУ, классифицируются с точки зрения защиты информации по Руководящему документу ФСТЭК России: «Средства вычислительной техники. Защита от несанкционированного доступа к информации. Показатели защищенности от несанкционированного доступа к информации» [21], который утвержден решением от 30 марта 1992 г.

СВТ подразделяются на семь классов, из которых самый низкий класс – седьмой, а самый высокий класс - первый.

Основные характеристики необходимого по Приказу № 31 СВТ пятого класса:

1. Дискретизационный принцип контроля доступа комплекса средств защиты (КСЗ). Он должен отслеживать доступ именованных субъектов (пользователей) к именованным объектам (например, файлам, программам). Для каждой пары (субъект - объект) в СВТ должно быть задано явное перечисление допустимых типов доступа (например, читать, писать), т.е. тех типов доступа, которые являются санкционированными для данного субъекта к данному ресурсу СВТ (объекту). Контроль доступа должен быть применим к каждому объекту и каждому субъекту. Механизм, реализующий дискретизационный принцип контроля доступа, должен предусматривать санкционированное изменение правил разграничения доступа (ПРД), в том числе санкционированное изменение списка пользователей СВТ и списка защищаемых объектов. Право изменять ПРД должно быть предоставлено выделенным субъектам (например, администрации или службе безопасности).

2. Очистка памяти. При первоначальном назначении или при перераспределении внешней памяти комплекс средств защиты должен предотвращать доступ субъекту к остаточной информации.

3. Идентификация и аутентификация. КСЗ должен требовать от пользователей идентифицировать себя при запросах на доступ. КСЗ должен подвергать проверке подлинность идентификации – осуществлять аутентификацию. КСЗ должен располагать необходимыми данными для идентификации и аутентификации. КСЗ должен препятствовать доступу к защищаемым ресурсам не идентифицированных пользователей и пользователей, подлинность идентификации которых при аутентификации не подтвердилась.

4. Гарантии проектирования. На начальном этапе проектирования

СВТ должна быть построена модель защиты. Модель должна включать в себя правила разграничения доступа к объектам и непротиворечивые правила изменения правил разграничения доступа.

5. Регистрация. КСЗ должен быть в состоянии осуществлять регистрацию следующих событий: использование идентификационного и аутентификационного механизма; запрос на доступ к защищаемому ресурсу (открытие файла, запуск программы и т.д.); создание и уничтожение объекта; действия по изменению правил разграничения доступа. Для каждого из этих событий должна регистрироваться следующая информация: дата и время; субъект, осуществляющий регистрируемое действие; тип события (если регистрируется запрос на доступ, то следует отмечать объект и тип доступа); успешно ли осуществилось событие (обслужен запрос на доступ или нет). КСЗ должен содержать средства выборочного ознакомления с регистрационной информацией.

6. Целостность КСЗ. В СВТ должны быть предусмотрены средства периодического контроля за целостностью программной и информационной части КСЗ.

Защита информации от несанкционированного доступа в АСУ межсетевыми экранами

Межсетевые экраны /МЭ/, являющиеся частью АСУ, классифицируются с точки зрения защиты информации по Руководящему документу ФСТЭК России : «Средства вычислительной техники. Межсетевые экраны. Защита от несанкционированного доступа к информации. Показатели защищенности от несанкционированного доступа к информации» [22], который утвержден решением от 25 июля 1997 г.

Межсетевые экраны имеют пять классов защиты информации: самый низкий класс - пятый, самый высокий – первый.

Основные характеристики необходимого по Приказу № 31 СВТ межсетевых экранов 4-ого класса защиты информации:

1. Управление доступом. МЭ должен обеспечивать на сетевом уровне:

- фильтрацию пакетов служебных протоколов, служащих для диагностики и управления работой сетевых устройств;
- фильтрацию с учетом входного и выходного сетевого интерфейса как средство проверки подлинности сетевых адресов;
- фильтрацию с учетом любых значимых полей сетевых пакетов.

Решение по фильтрации может приниматься для каждого сетевого пакета независимо на основе, по крайней мере, сетевых адресов отправителя и получателя или на основе других эквивалентных атрибутов.

2. Регистрация. МЭ должен обеспечивать возможность регистрации и учета фильтруемых пакетов. В параметры регистрации

включаются адрес, время и результат фильтрации.

3. Администрирование: идентификация и аутентификация. МЭ должен обеспечивать идентификацию и аутентификацию администратора МЭ при его локальных запросах на доступ. МЭ должен предоставлять возможность для идентификации и аутентификации по идентификатору (коду) и паролю условно-постоянного действия.

4. Администрирование: регистрация. МЭ должен обеспечивать регистрацию входа (выхода) администратора МЭ в систему (из системы), либо загрузки и инициализации системы и ее программного останова. Регистрация выхода из системы не проводится в моменты аппаратурного отключения МЭ. МЭ должен обеспечивать регистрацию запуска программ и процессов (заданий, задач). В параметрах регистрации указываются:

- дата, время и код регистрируемого события;
- результат попытки осуществления регистрируемого события - успешная или неуспешная;
- идентификатор администратора МЭ, предъявленный при попытке осуществления регистрируемого события.

5. Целостность. МЭ должен содержать средства контроля целостности своей программной и информационной части.

6. Восстановление. МЭ должен предусматривать процедуру восстановления после сбоев и отказов оборудования, которые должны обеспечивать восстановление свойств МЭ.

Основные характеристики необходимого по Приказу № 31 СВТ межсетевых экранов 3-его класса защиты информации:

1. Управление доступом. МЭ должен обеспечивать в дополнении к пункту 1 МЭ 4-ого класса:

- фильтрацию на транспортном уровне запросов на установление виртуальных соединений (при этом, по крайней мере, учитываются транспортные адреса отправителя и получателя);
- фильтрацию на прикладном уровне запросов к прикладным сервисам (при этом, по крайней мере, учитываются прикладные адреса отправителя и получателя);
- фильтрацию с учетом даты/времени.

2. Регистрация. МЭ должен обеспечивать в дополнении к пункту 2МЭ 4-ого класса:

- регистрацию и учет запросов на установление виртуальных соединений;
- локальную сигнализацию попыток нарушения правил фильтрации.

В параметры регистрации включаются адрес, время и результат фильтрации.

3. Идентификация и аутентификация.

МЭ должен обеспечивать возможность аутентификации входящих и исходящих запросов методами, устойчивыми к пассивному и/или активному прослушиванию сети.

4. Администрирование: идентификация и аутентификация. МЭ должен в дополнении к пункту 3МЭ 4-ого класса препятствовать доступу не идентифицированного субъекта или субъекта, подлинность идентификации которого при аутентификации не подтвердилась. При удаленных запросах администратора МЭ на доступ идентификация и аутентификация должны обеспечиваться методами, устойчивыми к пассивному и активному перехвату информации.

5. Администрирование: регистрация. МЭ должна в дополнении к пункту 4МЭ 4-ого класса обеспечивать:

- регистрацию и учет запросов на установление виртуальных соединений;

- локальную сигнализацию попыток нарушения правил фильтрации;

- регистрацию действия администратора МЭ по изменению правил фильтрации.

6. Целостность. МЭ должен в дополнении к пункту 5МЭ 4-ого класса обеспечивать: контроль *целостности* программной и информационной части МЭ по контрольным суммам.

7. Восстановление. Требования полностью совпадают с аналогичными требованиями пункта 6МЭ 4-ого класса.

Защита информации системами обнаружения вторжений

Системы обнаружения вторжений классифицируются Приказом ФСТЭК от 6 декабря 2011 г. N 638, в котором утверждены Требования к системам обнаружения вторжений. Они вступили в действие с 15 марта 2012 г. Информационное письмо об утверждении требований к системам обнаружения вторжений [23].

Установлено шесть классов защиты систем обнаружения вторжений. Самый низкий класс - шестой, самый высокий - первый.

Системы обнаружения вторжений подразделяются на два типа: системы обнаружения вторжений уровня сети и системы обнаружения вторжений уровня узла. Системы обнаружения вторжений уровней сети и узла 5-ого, 4-ого и 3-его классов защиты, необходимых по Приказу № 31, различаются профилями защиты информации: методический документ: «Профили защиты систем обнаружения вторжений» [24] и сертифицируются на соответствие Требованиям к системам обнаружения вторжений, описанным в Приказе ФСТЭК от 6 декабря 2011 г. N 638.

Защита информации средствами антивирусной защиты

Средства антивирусной защиты классифицируются приказом

ФСТЭК от 20 марта 2012 г. N 28, в котором утверждены Требования к средствам антивирусной защиты: информационное сообщение об утверждении требований к средствам антивирусной защиты от 30 июля 2012 г. № 240/24/3095 [25].

Установлено шесть классов защиты средств антивирусной защиты. Самый низкий класс – шестой, самый высокий – первый.

Выделяются следующие типы средств антивирусной защиты:

- тип «А» – средства антивирусной защиты (компоненты средств антивирусной защиты), предназначенные для централизованного администрирования средствами антивирусной защиты, установленными на компонентах информационных систем (серверах, автоматизированных рабочих местах);

- тип «Б» – средства антивирусной защиты (компоненты средств антивирусной защиты), предназначенные для применения на серверах информационных систем;

- тип «В» – средства антивирусной защиты (компоненты средств антивирусной защиты), предназначенные для применения на автоматизированных рабочих местах информационных систем;

- тип «Г» – средства антивирусной защиты (компоненты средств антивирусной защиты), предназначенные для применения на автономных автоматизированных рабочих местах.

Средства антивирусной защиты типа «А» не применяются в информационных системах самостоятельно и предназначены для использования только совместно со средствами антивирусной защиты типов «Б» и (или) «В».

Детальные требования к средствам антивирусной защиты 5-ого, 4-ого и 3-его классов, необходимых по Приказу № 31, приведены для каждого класса и типа средств антивирусной защиты в методическом документе: «Профили защиты средств антивирусной защиты»[26] и сертифицируются на соответствие Требованиям к средствам антивирусной защиты, описанным в Приказе от 20 марта 2012 г. N 28.

Защита информации при применении средств доверенной загрузки

Средства доверенной загрузки классифицируются Приказом ФСТЭК от 27 сентября 2013 г. № 119, в котором утверждены Требования к средствам доверенной загрузки: информационное сообщение об утверждении требований к средствам доверенной загрузки от 6 февраля 2014 г. № 240/24/405 [27].

Установлено шесть классов защиты средств доверенной загрузки. Самый низкий класс – шестой, самый высокий – первый.

В Требованиях выделены следующие типы средств доверенной загрузки:

- средства доверенной загрузки уровня базовой системы ввода-вывода;

- средства доверенной загрузки уровня платы расширения;
- средства доверенной загрузки уровня загрузочной записи.

Детализация требований к функциям безопасности средств доверенной загрузки, необходимых по Приказу № 31, приведены для каждого класса и типа средств доверенной загрузки в их профилях защиты: методический документ: «Профили защиты средств доверенной загрузки» [28] и сертифицируются на соответствие Требованиям к средствам доверенной загрузки, описанным в Приказе от 27 сентября 2013 г. № 119.

Защита информации средствами контроля съемных носителей информации

Средства контроля съемных машинных носителей информации классифицируются Приказом ФСТЭК от 28 июля 2014 г. № 87, в котором утверждены Требования к средствам контроля съемных машинных носителей информации: информационное сообщение об утверждении Требованиям к средствам контроля съемных машинных носителей информации от 24 декабря 2014 г. № 240/24/4918 [29].

Требования применяются к программным и программно-техническим средствам, используемым в целях обеспечения защиты (не криптографическими методами) информации и реализующим функции по предотвращению несанкционированного доступа к информации с использованием съемных машинных носителей информации, подключаемых к информационной системе, и (или) по предотвращению несанкционированного отчуждения (переноса) информации ограниченного доступа с зарегистрированных (учтенных) съемных машинных носителей информации.

Для дифференциации требований к функциям безопасности средств контроля съемных машинных носителей информации устанавливаются шесть классов средств контроля съемных машинных носителей информации. Самый низкий класс – шестой, самый высокий – первый.

В Требованиях выделены следующие типы средств контроля съемных машинных носителей информации:

- средства контроля подключения съемных машинных носителей информации;
- средства контроля отчуждения (переноса) информации со съемных машинных носителей информации.

Детализация требований к функциям безопасности средств контроля съемных машинных носителей информации, необходимых по Приказу № 31, а также взаимосвязи этих требований приведены для

каждого класса и типа средств контроля съемных машинных носителей информации в методических документах: «Профили защиты средств контроля съемных машинных носителей информации» [30], и сертифицируются на соответствие Требованиям к средствам контроля съемных машинных носителей информации, описанных в Приказе ФСТЭК от 28 июля 2014 г. № 87.

Нормативный документ ФСТЭК с отличающейся от Приказа №31 классификацией АСУ по защите информации от несанкционированного доступа

Нельзя не отметить, что в действующем Руководящем документе ФСТЭК России: «Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации.» [31], утвержденном 30 марта 1992 г., проведена иная классификация автоматизированных систем с точки зрения защиты информации от несанкционированного доступа.

Автоматизированные системы по этому документу подразделяются на группы, различающиеся следующими признаками:

- наличием в автоматизированной системе информации разного уровня конфиденциальности;
- разными уровнями полномочий пользователей к доступу конфиденциальной информации;
- режимом обработки информации: индивидуальным или коллективным.

Каждая группа состоит из иерархических классов защищенности автоматизированной системы. Имя определенного класса состоит из двух символов: NM, где N - номер группы, M - имя класса защиты информации в этой группе. Всего выделено три группы: N=3, N=2, N=1 и определены пять классов иерархических степеней защиты информации: А, Б, В, Г, Д, где А – высшая степень защищенности, а Д – низшая степень защищенности.

3 группа (N=3): один пользователь работает со всей информацией одного уровня конфиденциальности. В группе выделено 2 класса степени защиты информации: 3Б и 3А.

В классе 3Б, соответствующем низшему уровню защиты, регламентируются следующие требования: обязательная парольная идентификация и аутентификация пользователя при входе в систему и выходе из нее; учет используемых внешних носителей; обеспечение целостности средств защиты обрабатываемой информации и программной среды; наличие средств восстановления средств защиты информации.

В классе 3А выполняются все требования класса 3Б и дополнительно устанавливаются требования по регистрации распечатки документов,

физической очистке освобождаемых областей оперативной памяти и внешних носителей. Усиливаются требования по обеспечению целостности средств защиты информации и программной среды через проверку целостности при каждой загрузке системы. Определяется периодическое тестирование функций средств защиты информации при изменении программной среды и при перемене персонала автоматизированной системы.

2 группа (N=2): ряд пользователей имеют доступ ко всей информации разных уровней конфиденциальности. В группе выделено 2 класса степени защиты информации: 2Б и 2А.

В классе 2Б регламентируемые требования в основном совпадают с требованиями класса 3Б с некоторым усилением требований по подсистеме обеспечения целостности (при загрузке системы).

В классе 2А выполняются все требования класса 2Б с усилением требований по подсистеме управления доступом и по требованиям к подсистеме регистрации и учета пользователей. Дополнительно регламентируется управление потоками информации с помощью меток конфиденциальности, очистка освобождаемых участков оперативной и внешней памяти, а также шифрование всей конфиденциальной информации, записываемой на совместно используемых различными субъектами носителях данных.

1 группа (N=1): многопользовательская автоматизированная система, в которой у пользователей разные полномочия к информации и разные уровни ее конфиденциальности. В группе выделено 5 классов степени защиты информации: 1Д, 1Г, 1В, 1Б, 1А.

Класс 1Д имеет требования, совпадающие с требованиями класса 2Б.

Класс 1Г помимо выполнения всех требований класса 1Д включает требования, сходные с требованиями класса 2А (за исключением требований по шифрованию информации) с учетом различий в полномочиях пользователей: избирательное управление доступом в соответствии с матрицей доступа.

Класс 1В включает выполнение всех требований класса 1Г и дополнительно регламентируется полномочное управление доступом (метки конфиденциальности объектов и полномочия субъектов доступа), усиливаются требования к подсистеме регистрации опасных событий, вводится требование наличия администратора защиты и его интерактивного оповещения о попытках несанкционированного доступа.

Класс 1Б включает все требования класса 1В и дополнительно включает требования по шифрованию информации (аналогично классу 2А).

Класс 1А включает все требования класса 1Б с дополнительным требованием использования разных ключей шифрования различными субъектами доступа.

18.3.5. Рекомендации по применению существующих нормативов по защите информации от несанкционированного доступа при построении и эксплуатации АСУ

К сожалению, введенная в Приказе ФСТЭК № 31 [20] классификация защищенности автоматизированных систем (классы К1, К2, К3) никак не соотносится и не сопоставляется с классификацией автоматизированных систем по защите от несанкционированного доступа, принятой в Руководящем документе ФСТЭК: «Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации» [31] (классы 1А, 1Б, 1В, 1Г, 1Д, 2А, 2Б, 3А, 3Б).

Кроме того, принятая в ГОСТЕ Р МЭК 62443-3-3-2016 [18] классификация защиты от несанкционированного доступа средств и систем автоматизации по категориям уровней требуемой информационной безопасности SIL (SIL 1, SIL 2, SIL 3, SIL 4) вводит еще третью форму классификации, отличающуюся от обеих форм, принятых в Руководящих документах ФСТЭК.

Ввиду этого представляется целесообразным, практически обеспечивать необходимую информационную безопасность разрабатываемой АСУ производственным объектом путем выполнения следующей последовательности работ.

1. Выявление возможных информационных атак и уязвимостей к ним в планируемой системе и ее основных компонентах.

2. Сегментация системы на зоны, различающиеся необходимой степенью информационной безопасности.

3. Определение экспертным путем степени возможного ущерба от нарушения целостности информации в каждой из зон и, на этой базе, обоснование и утверждение класса ее необходимой защищенности по Приказу ФСТЭК № 31: К1, К2 или К3.

4. Приближенный качественный перевод утвержденного класса защищенности каждой зоны системы в близкую по уровню требуемой информационной безопасности категорию SIL: SIL 1, SIL 2, SIL 3 или SIL 4.

5. Включение в технические требования на основные компоненты каждой зоны системы (контроллеры, SCADA программы и т. д.) пунктов о необходимости наличия у них сертификатов, подтверждающих их соответствие по ГОСТУ Р МЭК 62443-3-3-2016 требуемой категории SIL данной зоны, что обеспечит внутренний уровень информационной защиты системы.

6. Формирование добавочных технических требований на организацию внешнего уровня информационной защиты каждой зоны системы в соответствие с ее принятым по Приказу ФСТЭК № 31 классом защищенности К1, К2 или К3: необходимая сертификация по принятому классу защищенности средств вычислительной техники, межсетевых экранов, средств защиты информации от внешних угроз.

7. Авторизация пользователей АСУ и обучение персонала обнаружению информационных угроз и их компенсации.

При разработке системы информационной защиты для уже эксплуатируемой, но недостаточно защищенной от внешних АСУ, выполняется та же последовательность работ, за исключением пунктов 4 и 5, поскольку замена работающих компонентов системы вряд ли организационно возможна и финансово оправдана.

Следует отметить, что периодически надо пересматривать класс защищенности каждой зоны эксплуатируемой АСУ. Причинами этого являются как возрастание числа и изощренности информационных угроз во времени, так и происходящая модернизация защищаемой системы и все большая ее типизация и открытость.

Выбором программных и технических средств защиты информации не ограничивается работа по недопущению несанкционированного доступа к информации АСУ потенциально опасных производственных объектов. Необходима также разработка и реализация на предприятии ряда специальных документов по организационным мероприятиям, регламентирующим работу производственного персонала разных служб и уровней управления с этими АСУ. В этих документах должны быть четко и конкретно расписаны:

- вводимые системы паролей, аутентификации и идентификации персонала отдельных производственных служб и их прав доступа к информации;

- дополнительные требования к действующим нормативам и должностным инструкциям персонала отдельных производственных служб по работе с АСУ;

- новые обязанности администраторов АСУ по соблюдению и проверке установленных правил взаимодействия персонала с системами автоматизации.

Третья часть

Рационализация взаимодействия персонала с системой автоматизации в АСУТП

Раздел VII.

Новые способы представления информации операторам

Общие положения

Поскольку система автоматизации любого производственного объекта (включая технологический агрегат) является интерактивной системой, т. е. системой, которая непрерывно взаимодействует с оператором, выдавая и получая от него информацию, то необходимой задачей проектирования и формирования рациональной работы такой системы является обеспечение наиболее понятного, удобного, доступного, комфортного для оператора пользовательского интерфейса. Эта задача практически обсуждалась с самого начала широкого внедрения в промышленность микропроцессорных систем автоматизации технологических агрегатов (см., например, [1]).

Она становилась все более актуальной с развитием систем автоматизации, с их усложнением, с все более полным охватом ими функций контроля и управления; а также с ужесточением требований на рациональность и безошибочность реакций операторов на предоставляемую им системой информацию.

Следует отметить, что вопросы взаимодействия с операторами систем автоматизации любых производственных объектов: технологических агрегатов, котельных, компрессорных станций, участков компаундирования полуфабрикатов, хранилищ любых продуктов, переделов приемки сырья и отгрузки готовой продукции и т. д. - очень близки, и при их рассмотрении можно не выделять технологические агрегаты, а рассматривать взаимодействия систем автоматизации с операторами применительно к любым производственным объектам, что и проводится в данном разделе.

Поскольку системы автоматизации непрерывно совершенствуются и их надежность растет, то процент не рациональных и ошибочных управляющих решений и воздействий в АСУ, все менее зависит от программных и технических средств автоматизации, а все более определяется неточной или неверной реакцией оператора, что заставляет пересматривать существенные принципы разработки интерактивных систем управления производственными объектами.

Основные негативные факторы текущей организации интерфейса системы автоматизации с оператором:

- изображение информации на экране монитора рабочей станции оператора не учитывает психологические особенности оператора по ее восприятию;
- выдача текущей информации полностью в целом не выделяет и не

обозначает возникшую в контролируемом объекте нежелательную или нештатную ситуацию, что мешает оператору ее однозначно идентифицировать и способствует возникновению его ошибочных реакций;

- перегрузка экрана монитора рабочей станции оператора одновременно выдаваемой информацией, затрудняет оператору осознать те отдельные данные, которые требуют его повышенного внимания в данный момент времени.

Необходимое совершенствование способов представления информации оператору должно позволить повысить качество его работы:

- упростить восприятие информации оператором;
- исключить неверное осознание оператором представленных ему данных о текущей работе производственного объекта,
- ускорить осознание оператором причин возникающих изменений в ходе производственного процесса;
- повысить рациональность и реактивность воздействий оператора на нежелательные изменения в контролируемом объекте;
- уменьшить нагрузку оператора;
- снизить число нарушений заданного режима работы производственного объекта по вине оператора.

В связи с этим, заслуживает внимания новый подход к построению интерактивных АСУ производственных объектов [2] — *human-centered design*, когда основное внимание при проектировании АСУ ориентировано на оператора и на выполняемые им задачи. Этот подход постепенно заменяет традиционный подход к построению АСУ — *hardware-centered*, когда основное внимание уделяется выбору и разработке его программных и технических средств. Применение нового подхода ставит основной задачей рационализацию методов взаимодействия систем автоматизации производственного объекта с операторами, которая увеличивает производительность труда операторов, уменьшит неточные, неправильные реакции и ошибки операторов, повысит комфортность их работы.

Разрабатываемые методы, способы, формы представления информации оператору производственного объекта должны учитывать следующие особенности его взаимодействия с системой автоматизации:

- оператор должен одновременно наблюдать за множеством взаимосвязанных контуров управления, что усложняет диагностику наблюдаемых изменений хода производственного процесса;
- требуется немедленная реакция оператора на достаточно быстрое развитие отдельных нештатных ситуаций при общей значительной инерционности протекания производственного процесса;
- в ряде случаев оператор должен принимать решения при

отсутствии оперативного, полного комплекса необходимых данных о текущем состоянии производственного процесса, ввиду наличия многих неконтролируемых и, следовательно, неизвестных оператору возмущений, а также из-за значительных запаздываний в оценке текущих значений качественных показателей работы производственного объекта, определяемых в лаборатории.

При этом, разрабатывая методы взаимодействия системы автоматизации с оператором, необходимо иметь в виду, что они обязаны соответствовать психологическим свойствам его восприятия информации; не должны загружать его излишними данными и перегружать получаемой информацией; не могут рассчитывать на долговременную память оператора о предшествующих ситуациях в управляемом объекте и о его прошлых, правильных реакциях на их появление. Следует учитывать, что труд оператора требует достаточно высокой квалификации и знаний в областях технологии управляемого процесса, характеристик оборудования производственного объекта, возможных причин выхода производственного процесса за пределы заданного режима, правил управления процессом, основных свойств имеющихся на управляемом объекте средств автоматизации и методов их рационального использования. Происходящее усложнение и совершенствование систем автоматизации приводит к необходимости повышения имеющейся квалификации операторов в части рационального применения этих систем. Кроме того, на операторов крупных, ответственных агрегатов (особенно, если технологический процесс в них взрывоопасен) налагается высокая ответственность при принятии управляющих решений, поскольку цена ошибочных или запоздалых решений бывает достаточно велика, вплоть до крупных экономических потерь и аварий.

Глава 19. Учет психологических свойств оператора при выборе методов представления ему информации

Работа оператора любого производственного процесса подразделяется на следующие этапы:

- восприятие поступающей от системы и средств автоматизации информации;
- оценка (осознание) полученной информации. В частности, возможен запрос добавочных данных, диагностирующих отдельные аспекты полученной информации;
- принятие решения по принятой информации. Отсутствие вмешательства в работу производственного объекта, если принятая информация свидетельствует о его нормальной работе; формирование определенных

управляющих решений по коррекции хода технологического процесса или других изменений работы управляемого производственного объекта, если принятая информация указывает на определенные отклонения от заданного режима работы объекта;

- реализация сформированных решений. Управляющие воздействия на ход технологического процесса или на работу определенных единиц оборудования производственного объекта;

- проверка выполнения принятых решений. Анализ влияния проведенных воздействий на ход технологического процесса и на работу производственного объекта.

Естественно, что выдача информации любого класса оператору должна учитывать психологию восприятия ее оператором и способствовать наиболее простому и правильному ее осознанию и своевременному, безошибочному принятию и реализации решений.

19.1. Рекомендации инженерной психологии по выводу на экран монитора информации

Конкретные рекомендации по рациональным методам, способам и формам выдачи различных классов информации операторам сформулированы в работах специалистов по инженерной психологии, посвященных взаимодействию операторов с современными системами автоматизации производственных объектов, обобщение которых приведено в [3] и кратко изложено ниже.

Основная нагрузка оператора при выдаче ему информации на экране монитора рабочей станции приходится на зрение, поскольку при работе с монитором глаза устают значительно быстрее, чем при любых других видах работы. Поэтому в инженерной психологии значительное внимание уделяется физиологическим и психологическим аспектам работы оператора информацией на экране монитора рабочей станции в современных АСУ. Любое изображение на экране монитора рабочей станции имеет следующие основные параметры:

- размер изображения;
- форма изображения;
- цвет, яркость и контрастность изображения;
- цвет фона, на котором выдается изображение.

Выбор всех этих параметров важен с точки зрения их воздействия на зрение и мозг оператора. Расположение отображаемых на экране изображений различного вида информационных объектов также влияет на восприятие и понимание информации, на психическое состояние оператора и на эффективность его работы. Проведенные психологами исследования позволяют сформулировать рекомендации к рациональным

характеристикам изображения различных текстовых, графических, цифровых информационных объектов на экране монитора.

Ниже рассмотрены влияния различных параметров изображений на их восприятие оператором, на то, как они сказываются на адекватности и скорости реакций оператора при возникновении изменений в управляемом процессе.

Влияние цвета изображения:

- голубой цвет уменьшает уровень тревожности, успокаивает и расслабляет, снижает мускульное напряжение. В то же время широкое использование голубого цвета может вести к некоторой усталости и угнетенности;

- синий цвет может оказывать тормозящее действие на человека и порождать усталость. Снижается мускульное напряжение;

- красный цвет волнует, стимулирует мозг, прогнозирует опасность;

- зеленый цвет успокаивает и снимает усталость;

- желтый цвет является оптимистичным, он лучше всего привлекает внимание и дольше всех сохраняется в памяти;

- оранжевый цвет обладает импульсивным воздействием;

- фиолетовый цвет порождает неудовлетворенность и неустойчивость;

- коричневый цвет угнетает умственную активность;

- черный цвет снижает число ошибок;

- серый цвет не является ни цветным, ни светлым, ни темным. Он абсолютно не раздражает и не имеет никакой тенденции к изменению состояния.

Влияние яркости цвета изображения.

При выборе яркости цвета различных изображений на экране монитора рабочей станции следует придерживаться основного правила:

- максимально яркие цвета должны иметь наиболее важные для оператора сообщения и сигналы. Неправильно в одном цвете сообщать об аварийной ситуации и о значениях измеряемых величин, находящихся в нормальном диапазоне.

Влияние контрастности изображения.

Максимальная четкость текста и графиков достигается в цветовой паре белый/черный, которую рекомендуется использовать для вывода важной технологической информации. Для информации, не требующей управляющей реакции оператора и для различных информационных заголовков, следует использовать менее контрастные пары цветов.

Влияние общего фона изображения.

Возможны два варианта фона изображения на мониторе: позитивный фон (светлый экран и на нем темные символы) или, наоборот,

негативный фон (темный экран и на нем светлые символы). Считается, что если работа с монитором предполагает одновременно и работу с бумажным носителем, всегда имеющем позитивный фон, то лучше для зрения на экране монитора иметь темные символы на светлом фоне, чтобы глазам не приходилось все время перестраиваться. Ввиду этого, выбор темного фона является неудачным решением.

Влияние размера изображения.

Поскольку глаз оператора не может долго работать с мелкими объектами на экране монитора, то необходимо внимательно отнестись к выбору размеров знаков на экране. Размер цифрового или буквенного знака на экране должен быть в диапазоне 0,46... 1,75 см, если оператор смотрит на экран с расстояния 50 см. Отношение ширины знака к высоте должно быть в диапазоне 0,5... 1,0, то есть знаки не должны быть ни слишком узкими, ни слишком широкими.

Влияние формы изображения.

Формы изображения: текст, гистограмма, график, имитация стрелочного прибора, рамки и т. п. могут служить добавочным фактором разграничения отдельных классов сообщений и выделения особенно важных сигналов, что облегчит их восприятие оператором. Так, например, разница форм рамок, в которые вставляются цифровые и текстовые данные (круглые, квадратные, прямоугольные, ромбовидные, треугольные, многоугольные и т. д.) и угла их поворота может сразу выделять важность заключенных в них сведений или принадлежность сведений к определенному элементу управляемого объекта. Существенную пользу для восприятия оказывает размещение текстового и цифрового окна в объемной рамке, которые облегчают глазу выделение важной информации и снижают время поиска изображения на экране.

Обобщая приведенные правила восприятия оператором информации при различных параметрах ее изображения, следует указать, что непродуманное использование в фиксируемых на мониторе изображений: цвета, яркости, контрастности, размера, формы - может вызвать у оператора затруднения в концентрации внимания на выполнении наиболее важного задания и на рациональной последовательности решения задач, возникающих при управлении объектом.

При проектировании средств взаимосвязи системы автоматизации с оператором целесообразно также ориентироваться на следующие, выявленные психологами закономерности [4]:

- текущая память человека не может одновременно запомнить и повторить более чем 7+-2 сообщений или сведений, или разных данных;
- при использовании в выдаваемой информации меню, человек тем меньше времени тратит на выбор одного из элементов меню, чем

меньше общее число элементов в меню.

19.2. Анализ влияния различных способов представления информации оператору на эффективность его работы

Влияние различных способов и форм представления информации оператору на эффективность и качество его работы характеризуется следующими показателями:

- своевременность реакции оператора, т. е. вероятность исправления нарушений, выявленных по полученной информации, в заданный для данного класса нарушений интервал времени;

- быстроедействие реакции оператора, т. е. интервал времени от момента получения информации о нарушении до момента реализации сформированных воздействий на ход технологического процесса или на работу определенных единиц оборудования производственного объекта. Иногда, быстрымдействием работы оператора служит время, которое он тратит на осознание текущего состояния объекта;

- точность реакции оператора, т. е. вероятность правильного диагностирования представляемой информации и рационального формирования управляющих воздействий по необходимой коррекции хода технологического процесса или других изменений работы управляемого производственного объекта, в качестве реакции на полученную информацию. Другой способ оценки точности реакции оператора: частота его ошибочного восприятия текущего состояния объекта;

- удовлетворенность оператора, определяемая самим оператором по степени комфортности и удобства его взаимодействия с системой.

Сравнение этих показателей работы операторов при различных способах и формах представления ему информации можно, как показано в работе [5], проводить путем экспериментальных, психологических исследований на базе имитационного моделирования работы производственных объектов.

Практический план такого исследования содержит следующие этапы:

- разрабатывается и реализуется на компьютерном тренажере имитационная динамическая модель объекта;

- отбираются несколько десятков реально возможных на объекте нештатных ситуаций и моделируются на тренажере в построенной модели объекта;

- на модели формируются разные, сопоставляемые методы представления информации оператору;

- составляются группы испытуемых (в работе [5] это были студенты старших курсов профильного вуза с базовыми знаниями в области

технологического процесса рассматриваемого объекта), которым назначается роль оператора;

- проводится эксперимент по реакции «операторов» на выдаваемую им каждым из сопоставляемых методов информацию о разных нештатных ситуациях. Оценка реакции «оператора» состоит из двух составляющих: правильной диагностики представленной ему ситуации и времени, затраченном «оператором» на принятие решения по ее компенсации;

- варианты проведения эксперимента различаются предварительной подготовкой «операторов»: они могут быть предварительно только ознакомлены с технологическими особенностями объекта, его средствами контроля, учета и управления; а могут быть еще и обучены основам управления данным объектом и пройти тренировку компенсации различных нарушений на компьютерном тренажере.

Использование подобных экспериментальных, психологических исследований поведения операторов на базе имитационного моделирования работы конкретного производственного объекта позволяет не качественно, а объективно количественно сопоставлять различные методы, способы и формы выдачи информации оператору данного объекта и обосновывать наилучшее представление оператору разного вида данных, которое способствует ускорению восприятия информации оператором, правильному осознанию возникшей ситуации или события, безошибочной реакции на представленную ему информацию.

Глава 20. Развитие способов представления информации оператору

Типичные, повсеместно используемые способы представления оператору данных о ходе производственного процесса: мнемосхемы с указанными на них текущими цифровыми значениями измеряемых величин, тренды отдельных величин, сообщения о любых выходящих за заданные нормы показателей - недостаточно удовлетворяют требованиям облегчения операторам осознания причин и быстрой диагностики происходящих нежелательных изменений хода производственного процесса. Последние годы недостатки интерфейса системы автоматизации с оператором все значительнее сказываются на качестве работы производственных объектов, что обусловлено рядом причин:

- усложнением систем автоматизации, требующих более точного и квалифицированного взаимодействия с ними операторов;

- укрупнением производственных объектов, приводящим к увеличению числа измеряемых и вычисляемых величин и показателей, которые одновременно должны воспринимать и анализировать операторы;

- ужесточением требований к эффективности работы производственных объектов, что в значительной степени зависит от совершенства взаимодействия операторов с системой автоматизации.

Данные обстоятельства усилили внимание ведущих разработчиков систем автоматизации к совершенствованию методов и форм выдачи информации оператору.

В значительной степени этому способствуют также разрабатываемые международные стандарты по способам взаимодействия человека с компьютером, в которых рассматриваются, в частности, различные аспекты отображения информации человеку системой автоматизации и их влияния на использование этой информации человеком.

20.1. Стандарты взаимодействия человека с компьютерными системами

Специальная дисциплина «Эргономика» изучает взаимодействие человека с компьютером и с системой автоматизации и формулирует рациональные способы их взаимосвязей. Международная организация по стандартизации ИСО в течение ряда последних лет разрабатывает серии стандартов ИСО 9241 [6] по взаимодействию человека с компьютерной системой, в которых определяются требования к мониторам, устройствам ввода, принципам диалога, организации меню, представлению данных, содержанию руководств пользователей. Стандарты посвящаются эргономике программного обеспечения, человеко-ориентированному проектированию систем представления информации оператору, рабочей среде и расположению рабочих станций операторов.

Отдельные серии стандартов ИСО 9241 конкретизируют определенные разделы построения интерактивных систем:

- серия 100 содержит требования к программному обеспечению интерактивных систем;

- серия 200 рассматривает способы человеко-машинного взаимодействия;

- серия 300 посвящена требованиям к визуальному отображению информации;

- серия 400 формирует требования к не клавиатурным устройствам ввода данных;

- серия 500 рекомендует требования к рабочим местам пользователей;

- серия 600 рассматривает рабочие среды;

- серия 700 описывает различные области применения интерактивных систем;

- серия 900 посвящена тактильным и осязательным взаимодействиям.

В последние годы ряд уже разработанных частей разных серий стандартов ИСО 9241 переведен и утвержден в качестве российских стандартов: ГОСТ Р ИСО 9241.

Ниже перечислены отдельные части этих ГОСТов, которые затрагивают общие вопросы эргономики взаимодействия человека с системой автоматизации и могут быть использованы при построении и эксплуатации АСУ производственным объектом.

ГОСТ Р ИСО 9241-1-2007 [7]. Часть 1. «Общее введение. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов». Несмотря на общую направленность к офисным работам, многие приведенные требования и рекомендации применимы и к проведению работ с производственными процессами.

ГОСТРИСО 9241-2-2009 [8]. Часть 2. «Руководящие указания по разработке требований к производственному заданию». Рассматриваются требования к структуре системы обработки и выдачи информации и к использующему систему персоналу. Важной частью формирования требований является рассмотрение мнений пользователей о требованиях к системе, которые могут быть получены анкетированием, интервьюированием, психометрическими оценками. В требованиях должны быть учтены организационные аспекты работы пользователей при внедрении системы автоматизации: реструктуризация организационной структуры, изменение условий работы, изменения рабочих инструкций, программы обучения пользователей работе с системой.

ГОСТ Р ИСО 9241-4-2009 [9]. Часть 4. «Требования к клавиатуре, предназначенной для стационарного использования». Приводятся указания по проектированию клавиатуры и методы ее испытания, основанные на пользовательских экспертных оценках удобства работы на ней.

ГОСТ Р ИСО 9241-8-2007 [10]. Часть 8. «Требования к отображаемым цветам». Цвет улучшает визуальный и познавательный процесс получения информации, поэтому в стандарте рассматриваются различия восприятия человеком на экране монитора разных цветов, их яркости, контрастности, сочетания. Даются рекомендации по размеру изображаемых объектов, по разности цветов парных объектов, по четкости изображения символов, по цвету фона при различных цветах изображаемых объектов. Указывается, что для быстрого оценивания информации человеком на экране монитора должно быть не более шести различных цветовых изображений объектов.

ГОСТ Р ИСО 9241-11-2010 [11]. Часть 11. «Руководство по обеспечению пригодности использования». Сформулированы требования к видеодисплейным терминалам, исходя из заданной производительности и

удовлетворенности пользователей.

ГОСТ Р ИСО 9241-110-2009 [12]. Часть 110. «Принципы организации диалога». Установлены и рассмотрены принципы организации диалога:

- его приемлемость для выполнения производственного задания (наличие подтверждения выполнения заданных действий);
- информативность (ясность возможных действий в пределах возможного диапазона);
- соответствие ожиданиям пользователей;
- пригодность для обучения;
- устойчивость к ошибкам (контроль и исправление ошибок);
- адаптируемость к индивидуальным особенностям пользователей (возможность вносить изменения в организацию взаимодействия и в формы представления информации).

Даны рекомендации по построению диалога с учетом указанных принципов его организации.

ГОСТ Р ИСО 9241-151-2014 [13]. Часть 151. «Руководство по проектированию пользовательских интерфейсов сети Интернет». Сформулированы целесообразные решения пользовательских WEB-интерфейсов.

ГОСТ Р ИСО 9241-210-2012 [14]. Часть 210. «Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем, т. е. проектирование ориентированное на пользователя». Сформулированы рекомендации к человеко-ориентированному проектированию компьютерных интерактивных систем, которые обеспечивают следующие результаты:

- увеличивают результативность, т.е. степень достижения заданий;
- повышают эффективность, т.е. связь между выполненным заданием и затраченными ресурсами;
- формируют доступность, т.е. пригодность использования системы пользователями;
- стабилизируют устойчивость работы системы;
- повышают производительность труда пользователя;
- достигают удовлетворенности пользователя, т. е. положительного отношения пользователя к системе;
- предотвращают неблагоприятное влияние системы на здоровье пользователя.

Основные задачи, решаемые человеко-ориентированным проектированием интерактивных систем:

- увеличение производительности управляемого объекта;
- учет опыта пользователей. Выделение разных групп пользователей

и их отличий в требованиях к системе;

- формулировка задач, решаемых пользователями, и требования к необходимой исходной информации для решения этих задач;
- упрощение понимания пользователем возможностей системы и его обучение;
- учет среды работы системы и пользователей: размещение, освещение, возможные помехи и т. п.;
- повышение конкурентности управляемого объекта.

Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем должно основываться на следующих принципах:

- точное и конкретное знание и учет задач, решаемых пользователем;
- вовлеченность пользователей в процесс проектирования;
- человеко-ориентированная оценка проекта пользователем;
- интерактивное и постепенное во времени совершенствование проекта, поскольку одномоментно нельзя удовлетворить поставленным перед проектом задачам.

Отмечена важность рационального распределения задач управления объектом между проектируемой системой и пользователем. Особо отмечена неэффективность такого, часто применяемого на практике, распределения задач, когда системе предоставляется решение всех задач, которые она может выполнить, а оставшиеся задачи остаются пользователям.

ГОСТ Р ИСО 9241-400-2013 [15]. Часть 400. «Принципы и требования к устройствам физического ввода». Даны рекомендации по разработке устройств физического ввода для интерактивных систем: клавиатур, мышей, координатных шайб, джойстиков, шаровых манипуляторов, сенсорных экранов, световых перьев.

Следует отметить некоторые, не переведенные и пока не принятые в России части стандарта, которые содержат полезные для АСУ производственных объектов рекомендации:

ИСО 9241-12:1998 [16]. Часть 12. «Представление информации». Выделяются следующие основные факторы представления информации:

- четкость изображений (уменьшение времени и увеличение точности реакции пользователя);
- различимость данных (разделение разных классов данных по способам их представления);
- краткость представленной информации (представление только тех данных, которые необходимы для выполнения пользователем текущего задания);
- согласованность представляемых данных (разным группам

пользователей данные определенного класса представляются в одинаковом виде и формате);

- выделение определенных данных при их выдаче пользователю (усиление внимания пользователя к выделенным данным);

- читаемость данных (легкость и быстрота их восприятия пользователем);

- понятность представленных данных (однозначность и конкретность их понимания пользователем).

ИСО 9241-13:1998 [17]. Часть 13. «Руководство пользователя». Рекомендации пользователю по работе, выходящей за рамки обычного диалога: запросы данных у системы по языку SQL, запрос помощи в восприятии данных, анализ состояния данных.

ИСО 9241-17:1998 [18]. Часть 17. «Диалоги для заполнения формы». Заполнение пользователем документов: вставка данных заданных форм в определенные разделы документа, модификация разделов и полей документа.

20.2. Образные способы представления информации оператору

Предоставляемая оператору информация о ходе производственного процесса может быть подразделена на следующие классы:

1. Имеющиеся в данный момент времени значения измеряемых и вычисляемых величин, которые фиксируют текущее состояние производственного процесса или его отдельных составляющих и дают оператору фотографию управляемого объекта на момент получения информации;

2. Нарастающее нежелательное, но не являющееся нарушением, состояние производственного процесса, определяемое тенденциями изменения во времени определенных измеряемых и вычисляемых величин, которые заслуживают внимания операторов или усиления внимания к их поведению во времени, что позволяет прогнозировать и предотвращать возможные нарушения работы производственного объекта;

3. Ключевые показатели эффективности производственного процесса, определяемые учетными значениями основных измеряемых и вычисляемых величин за заданные интервалы времени (час, смену, сутки), которые позволяют планировать оператору и технологу необходимые коррекции режима производственного процесса на следующий учетный интервал времени;

4. Возникшие нарушения: ситуации и события разной степени важности, нарушившие заданный режим производственного процесса и/или нормальную работу производственного объекта, которые сообщаются оператору специальной системой тревожной сигнализации и

требуют от него соответствующих определенных управляющих решений и воздействий.

Способы предоставления любого класса информации о ходе производственного процесса, выдаваемые оператору системой автоматизации, должны быть:

- просто и быстро воспринимаемыми операторами,
- исключаящими ошибочное восприятие выдаваемых данных,
- помогающими осознать (понимать) текущее состояние управляемого производственного процесса,
- ускоряющими процесс осознания текущей информации,
- повышающими адекватность, точность и реактивность компенсирующих действий операторов на выдаваемые сообщения;
- возможно менее утомительными для операторов при их постоянном внимании к изображениям на экранах мониторов,
- учитывающими ответственность операторов за стабильный и эффективный ход производственного процесса и за безаварийную работу управляемого объекта.

Основной целью таких способов является создание такого интерфейса, при котором АСУ будет управлять производственным объектом не в режиме реакции на нарушения, а в режиме упреждения нарушений.

В данной главе рассматриваются перспективные методы представления оператору информации первых трех классов, а взаимодействия оператора с системой автоматизацией при любых возникших нарушениях работы объекта, определяемые и выдаваемые оператору системой тревожной сигнализации (четвертый класс информации) отдельно обсуждается и анализируется в следующей главе раздела.

Ведущие производители систем автоматизации все большее внимание уделяют внедрению в выпускаемых ими системах автоматизации (конкретно, в их SCADA программах) рациональных способов представления информации оператору, учитывающих психологические свойства человека, его возможности восприятия и осознания получаемой информации (см. [19] -[21]).

Широко распространяется **образный способ выдачи информации на экраны мониторов рабочих станций**, когда оператору выдается цельный образ текущего состояния или изменения во времени состояния объекта или его самостоятельного блока/компонента. Этот общий способ в близких или тождественных формах реализуется, в так называемых, ситуационном, экологическом, когнитивном подходах к человеко-машинному интерфейсу. Распространители этих способов определяют указанные ими наименования выдаваемой оператору информации о состоянии объекта ниже приведенными объяснениями.

Ситуационный подход ставит задачу формировать выдаваемую оператору информацию в виде комплекса взаимосвязанных измеряемых величин, полноценно характеризующих **состояние объекта или его отдельного блока/компонента**. При этом сведения, требующие внимания оператора, сопровождаются рядом добавочных данных, проясняющих выдаваемые сведения [19, 20]. Общее условие такой выдачи информации заключается в показе оператору не только самих текущих значений измеряемых величин, требующих внимания оператора, но и истории их доведения до этих значений (их трендов за заданные интервалы времени), а также функционально и статистически связанных с ними величин и показателей, разъясняющих их текущие значения. Так, например, наряду с отклонившимся от заданной нормы значением измеряемой величины показывается график ее тренда по прошлым значениям и вычисляется прогноз дальнейшего изменения значения величины; и/или графически показывается не только значение отклонившейся от нормы величины, но и значения ряда других измеряемых величин, имеющих существенную корреляцию с данной величиной. Все это позволяет оператору ускорить и уточнить оценку возможных причин наблюдаемой текущей ситуации.

Экологический интерфейс старается минимизировать умственную обработку представляемой оператору информации путем обеспечения его всеми необходимыми данными, позволяющими непосредственно воспринимать **состояние объекта или его отдельного блока/компонента**. Выдача оператору текущей ситуации в экологическом представлении значений измеряемых величин [21] реализуется на графике функциональных взаимодействий отдельных взаимосвязанных величин объекта или его блока, или определенной единицы оборудования. Демонстрируемая текущая ситуация дополняется показом значений других величин (показателей), которые могут быть причинами возникновения данной ситуации, а также имеющимися экспертными рекомендациями по реакции на эту ситуацию. Экологический интерфейс нацелен на визуализацию диагностических признаков наблюдаемой ситуации; таких, как приближение измеряемой величины к границе нормального диапазона, подход управляемого процесса к границе эффективности. Задача экологического интерфейса — помощь оператору в идентификации состояния объекта, в выявлении локальных и глобальных тенденций приближения производственного процесса к границам заданного диапазона, в оценке степени выполнения заданного режима работы производственным объектом.

Метод когнитивной графики, используемый для изображения состояния производственного объекта на экране монитора рабочей

станции оператора, позволяет, учитывая психологические особенности умственного восприятия и переработки получаемого изображения человеком, непосредственно осознавать **текущее состояние объекта или его отдельного блока/компонента** и, тем самым, сразу определять нужна ли какая-либо реакция на это состояние и если да, то каково должно быть ее содержание. В общем случае состояние объекта представляется набором статических или динамических графиков и правил, описывающих взаимосвязи и влияния этих компонентов друг на друга в различных производственных ситуациях. В совокупности они позволяют оператору оценить текущую ситуацию и выработать адекватные ей управляющие действия. В качестве примера использования метода когнитивной графики можно отметить изображение текущего состояния атомного реактора в виде, так называемого, глобуса Башлыкова [22]. Переменными состояниями глобуса (текущими значениями измеряемых и вычисляемых величин) являются параллели, меридианы, оси по полюсам и экватору, скорость вращения глобуса, пятна на глобусе. Переменные состояния глобуса ежесекундно изменяются в зависимости от хода процесса в реакторе, что сказывается на изменении скорости его вращения, его формы за счет вытягивания по полюсам или экватору, положения параллелей, положения меридианов, цвета отдельных областей, покрытия поверхности глобуса белыми пятнами (что соответствует отсутствию значений отдельных измеряемых величин). Все возможные изменения глобуса описаны в наставлении по эксплуатации этого когнитивного образа, для каждого изменения определены необходимые управляющие реакции. Другим примером может являться показ текущих значений ряда взаимосвязанных измеряемых величин в виде многоугольника, каждая вершина которого отображает значение одной из величин. При нормальной взаимосвязи величин многоугольник является правильным, а при каких либо нарушениях, связанных с изменениями связи (взаимной корреляции) между отдельными величинами он деформируется в сторону тех вершин, у которых изменилась взаимосвязь.

Практическая реализация образного способа выдачи информации на экраны мониторов рабочих станций, учитывающая и ситуационный, и экологический, и когнитивный подходы, сводится к ниже указанным конкретным правилам.

1. Поскольку аналоговые индикаторы значений измеряемых и вычисляемых величин типа имитаторов стрелочных приборов, барграфов, столбчатых диаграмм быстрее и точнее воспринимаются оператором, чем цифровые значения этих величин на экране, то их оценки целесообразно показывать, например, имитацией на экране монитора

стрелочного прибора и показа значения величины не в виде цифры, а в виде положения стрелки на приборном экране, на котором, кроме того, обозначаются все граничные значения заданного диапазона величины, что позволяет оператору непосредственно ориентироваться в том, насколько значение величины соотносится с различными заданными ей границами.

2. Табличная форма представления числовых значений ряда взаимосвязанных измеряемых и вычисляемых величин достаточно трудоемка для проведения их сопоставления и анализа. Значительно облегчается эта работа, если выдавать совместное изображение этих значений на графике или диаграмме, что позволяет оператору непосредственно видеть и осознавать степень их взаимосвязи и ее изменение во времени.

3. Заполнение хранилищ (резервуаров), по соображениям простоты восприятия, целесообразно, кроме цифровых значений имеющегося на измеряемый момент объема или массы, показывать графическим изображением их текущего уровня и сигнализацией состояния: хранение, заполнение, опорожнение.

4. Графические изображения путепроводов материальных потоков рационально выделять цветом на отдельные фазы их текущего состояния. При этом разные цвета будут соответствовать разным состояниям путепровода: закрытому путепроводу и проходящим перекачкам отдельных продуктов в определенных направлениях.

5. **Должны быть исключены яркие, разноцветные мнемосхемы производственного объекта и на них не должно быть никаких отвлекающих внимание оператора деталей.** Целесообразно цветом и контрастностью выделять только те блоки (узлы) объекта, которые требуют внимания оператора, а прочие части объекта на мнемосхемах оставлять в спокойном и приглушенном общем цветовом и контрастном виде (например, показывать их в неярком сером цвете). Следует подчеркнуть, что вниманию оператора подлежат любые виды изменений хода производственного процесса, а под изменением здесь понимается возникновение любого состояния какого-то контролируемого компонента (элемента) процесса, которое требует соответствующего внимания оператора.

6. Изменения во времени отдельных измеряемых величин и вычисляемых показателей управляемого процесса и их прогнозные оценки наиболее эффективно для восприятия показывать путем изображения временных трендов этих величин и показателей. При этом желательно, чтобы тренд не ограничивался текущим значением показателя, а прогнозировал его будущее поведение или фиксировал тенденцию его

изменения во времени и скорость этого изменения.

7. Целесообразно обеспечить оператору возможность проводить поиск текущих и исторических показателей по их задаваемым оператором признакам. Например, нахождение за заданный интервал времени:

- минимального/максимального значения определенной измеряемой или вычисляемой величины,
- ее среднего/суммарного значения,
- времени нахождения величины в заданном (нормальном) диапазоне,
- среднеквадратичной оценки отклонения величины от заданного значения,
- времени нахождения определенного регулирующего органа в одном из крайних положений,
- и т. п. расчетных показателей.

8. Для упрощения решения отдельных задач по управлению объектом следует одновременно размещать на экране монитора определенным образом сформированные кадры, касающиеся свойств этих задач. Например, проводить совмещение на экране:

- кадров пуска и останова производственного объекта, которые определяют изменения состояния и работы взаимодействующих единиц оборудования объекта при этих воздействиях;
- изображений контролируемых и управляющих средств оборудования определенного блока объекта. При этом изображения средств разнотипного оборудования должны различаться, например, формой и цветом.

9. Легкость и адекватность восприятия представленных на экране данных улучшаются, если они показываются в контексте, т. е. совместно со связанными с ними измеряемыми величинами, вычисляемыми показателями и сведениями. Например, текущее измеряемое значение величины сопровождается ее заданным значением и рабочим диапазоном ее изменения; оценки основных режимных величин объекта - качеством выпускаемой им в это время продукции; сменный расход энергоресурсов объектом - выпуском им продукции за этот интервал времени.

Все перечисленные способы и правила образного способа выдачи информации на экраны мониторов рабочих станций способствуют ускорению восприятия информации оператором, правильному осознанию возникшей ситуации или события, безошибочной реакции на ее появление. Однако следует отметить, что такое образное представление информации может вначале вызвать отрицательное отношение операторов, привыкших к традиционному, используемому ими в АСУ интерфейсу. Ввиду этого необходимо достаточно ответственно подойти

к задаче обучения операторов полному освоению новых форм выдачи информации и пониманию ими достоинств и преимуществ этих форм. Рекомендуются оценить отдельные элементы эффективности образного способа выдачи информации по результатам опытной эксплуатации нового интерфейса системы автоматизации с оператором.

Отдельно следует отметить рациональное построение повсеместно используемых иерархических экранных форм, позволяющих оператору быстро ориентироваться в большом числе ежеминутно поступающих значений величин, различных сведений и сообщений. Иерархию выдаваемой оператору информации целесообразно разделять на четыре уровня.

Первый, верхний уровень предназначен для общего обзора состояния управляемого объекта. Экранная форма первого уровня постоянно находится на экране монитора до вмешательства оператора для перевода ее на другие иерархические уровни или для показа текущих ключевых показателей работы данного объекта. Сама экранная форма может представлять собою обобщенную мнемосхему производственного процесса, в которой цвета отдельных блоков объекта соответствуют их состоянию. Так, например, нормальное состояние блока фиксируется его спокойным, приглушенным, голубым или серым цветом; отдельные нарушения в работе каких-то компонентов блока меняют его цвет на фиолетовый, более серьезные происшествия выделяют блок желтым цветом; а предаварийные состояния каких-то узлов или компонентов блока меняют цвет блока на красный, что характеризует наивысший класс важности возникших в нем нарушений.

Отдельной экранной формой по вызову оператора на этом уровне может демонстрироваться перечень текущих ключевых показателей работы данного объекта. Их экран для наглядности может включать не только саму таблицу показателей, но и графические изображения отдельных величин и их сопоставительных данных в виде, например, графиков соотношений отдельных показателей, их диаграмм и барграфов. Целесообразно отдельные показатели выдавать в виде временных трендов, что позволяет видеть тенденцию их изменения во времени.

Второй уровень открывается по команде оператора, который выделяет требуемый им блок объекта, экранная форма которого представляет собою подробную мнемосхему блока, и рассматривает наименования его выделенных тем или иным цветом (аналогично первому уровню) компонентов, в которых зафиксированы различные события и время их появления.

Третий уровень демонстрирует по требованию оператора детальную экранную форму любого компонента блока (в частности, компонента, у

которого появились изменения, требующие внимания оператора) и раскрывает различные текущие и исторические свойства и характеристики выделенного компонента: измеренные и прогнозируемые значения величин и их соответствие нормативам, временные тренды измеряемых величин и вычисляемых показателей, графики, сообщения и т. п. текстовые, цифровые и графические данные, которые наиболее подробно и точно представляют оператору время развития и фиксации изменения, его вид, свойства и параметры.

Нижний, четвертый уровень является уровнем диагностики наблюдаемых изменений, рекомендаций и поддержки решений оператора по его реакции на наблюдаемое изменение. На этом уровне фиксируются в базе данных возможные причины возникновения различных изменений хода производства, возникающих ситуаций, событий, тревог, происшествий, нарушений и рациональные рекомендации по их компенсации. Разработка содержательной части этого иерархического уровня состоит из рассмотрения множества отдельных задач по анализу возможных причин изменений управляемого производственного процесса, его выхода из нормальных, заданных условий функционирования. Этот анализ базируется на многих используемых основаниях:

- на опыте работы наиболее опытных и квалифицированных операторов по управлению данным производственным процессом;
- на сопоставлении текущего изменения с сохраненными в базе данных прошлых изменениях работы управляемого объекта и зафиксированных причинах их возникновения;
- на логическом анализе и сопоставлении текущих значений ряда взаимосвязанных измеряемых величин и их изменений в предыдущие интервалы времени, которые в совокупности могут порождать наблюдаемые изменения в ходе процесса;
- на способах отделения изменений, вызванных неправильной работой имеющейся системы автоматизации (например, возрастанием погрешности датчиков или искажением их измеряемых значений при передаче в системы регулирования, неправильной настройки регуляторов, приводящей к потере устойчивости регулируемой величины; неисправностью регулирующих органов и их залипания на конечных положениях, недостаточностью используемого диапазона регулирования для компенсаций колебаний свойств сырья) от нарушений, вызванных неисправностью отдельных единиц оборудования (например, дефектами насоса или транспортера; протечкой трубопровода; заеданием шибера дымохода), от изменений, вызванных технологическими воздействиями на режим процесса (например, незапланированными изменениями качества перерабатываемых сырьевых компонентов; повышением уровня

внешних, затрудняющих ход процесса помех; снижением качества потребляемых энергоресурсов):

- на использовании компьютерного тренажера, имитирующего технологический процесс с существующей системой его контроля и управления, для проведения на нем ряда экспериментов, заключающихся в создании различных изменений хода процесса и наблюдении реакции на эти изменения всех компонентов системы контроля, а также просмотра различных вариантов компенсации созданных изменений и выбора наилучших из них по различным критериям.

Отдельные возможные варианты компьютерной поддержки работы оператора по анализу и компенсации возникших изменений хода управляемого технологического процесса перечислены ниже:

- подсказка возможных причин данного изменения и их вероятностей или частоты появления по имеющемуся архиву данных изменений;

- указание взаимосвязанных с данным изменением или зависящих от него измеряемых величин и событий, проверка значений которых может помочь анализу причины данного изменения;

- перечень отдельных тестовых управляющих воздействий, реакция управляемого объекта на которые может выявить причину возникшего изменения;

- анализ временной последовательности возникновения отдельных изменений при почти одновременном их появлении на экране монитора и построение их причинно-следственной связи, позволяющей выявить исходную неполадку появления данного ряда изменений;

- возможные пути (варианты) компенсации данного изменения и их особенности для дальнейшего хода управляемого процесса;

- необходимая последовательность воздействий на взаимосвязанные исполнительные механизмы и регулирующие органы при различных вариантах заданной перестройки работы производственного объекта: изменения технологического режима, снижения или повышения производительности объекта, пуска объекта или его отдельных блоков; останова объекта или его отдельных блоков.

Кроме подсказок оператору по применению им возможных реакций при возникновении различных изменений, на этом уровне может находиться также библиотека всевозможных рекомендаций и разъяснений, помогающих оператору в определенных ситуациях, не связанных с возникновением изменений, но вызывающих определенную тревогу у оператора. К такого рода ситуациям, например, относятся наблюдаемое повышение амплитуды колебаний во времени какой-либо регулируемой величины или ее неизменное значение за достаточно продолжительный период, или увеличение скорости изменения какого-либо показателя

технологического режима, что не наблюдалось в прошлые интервалы времени.

Оглавление имеющихся рекомендаций и разъяснений в имеющейся библиотеке предоставляется оператору, и он по наименованию наблюдаемой ситуации может вызвать соответствующее ему разъясняющее сообщение.

Глава 21. Система тревожной сигнализации о нарушениях, требующих управляющих реакций оператора

Тревожные сигналы, в отличие от любых других информационных сигналов и сообщений, рассмотренных в предыдущей главе, сообщают о таких возникших нарушениях работы производственного объекта, которые требуют определенных операторских управляющих воздействий. Системы тревожной сигнализации являются инструментом обнаружения ненормальных ситуаций, позволяющим оператору предпринимать своевременные управляющие воздействия, возвращающий производственный процесс в пределы заданных норм.

Практическая реализация системы тревожной сигнализации имеет следующие распространенные недостатки, влияющие на качество ее взаимодействия с оператором:

- зачастую событием, о котором надо давать оператору тревожный сигнал, разработчики системы считают каждое возможное изменение в управляемом производственном объекте, даже если это изменение не выходит за нормальный заданный диапазон и не требует текущей реакции оператора. Естественно, это только мешает оператору сосредоточить внимание на действительно требующих его управляющих воздействий нарушениях;

- при достаточно серьезном нарушении часто система генерирует почти одновременно большое число тревожных сигналов о различных событиях, связанных с этим нарушением, т. е. одно нарушение порождает лавинообразно нарастающее число тревожных сигналов, вырабатываемых взаимосвязанными измеряемыми величинами. При этом оператор теряет возможность оперативно правильно осознавать и анализировать ситуацию и выявлять то корневое, конкретное нарушение, которое является причиной возникновения лавины тревожных сигналов;

- распространено неправомерное внесение изменений в нормальные диапазоны рабочего режима объекта, что сказывается на параметрах возникающих тревожных сигналов. Зачастую временные изменения нормального диапазона накапливаются, не фиксируются

документально и порой сохраняются неограниченно долго. В результате фактический статус системы тревожной сигнализации начинает существенно отличаться от нормы [23].

Среди общих причин имеющихся недостатков существующих повсеместно систем тревожной сигнализации можно также отметить отсутствие:

- единых подходов к их разработке, которых недостает в общих российских нормативных документах;
- должного контроля предприятий за внесением изменений в системы тревожной сигнализации при любых изменениях и модернизациях производственного объекта и его системы автоматизации;
- внимания проектных организаций к рационализации систем тревожной сигнализации с учетом их использования операторами;
- специальных программ и архивов в системах автоматизации, позволяющих контролировать работу систем тревожной сигнализации и их использование операторами, и анализировать рациональность ее построения.

21.1. Руководящие документы по организации системы тревожной сигнализации

Международным документом в рассматриваемой сфере взаимодействия системы автоматизации производственного объекта с оператором является стандарт ANSI/ISA 18.2 [24] 2009 года: «Управление системами тревожной сигнализации для производственных процессов».

В нем определяется, что под тревожным сигналом понимается световой и/или звуковой сигнал, который указывает оператору на возникновение такого нарушения работы оборудования или отклонения производственного процесса от заданного режима, которое требует определенной управляющей реакции оператора. Чтобы оператор мог своевременно и эффективно реагировать на тревожный сигнал, он должен достоверно сообщать о нарушении, фиксировать приоритет важности возникшего нарушения, давать оператору добавочную информацию, облегчающую ему определение причины возникшего нарушения.

Управление системой тревожной сигнализации во все время жизненного цикла производственного процесса подразделяется стандартом на десять этапов, примерное краткое содержание которых приведено ниже.

1 этап. Основные принципы управления системой тревожной сигнализации. Анализ производственного процесса по возникновению возможных нарушений, которые должны сигнализироваться оператору для формирования им управляющих воздействий.

2 этап. Идентификация нарушений, требующих тревожной сигнализации. Конкретизация возможных тревожных сигнализаций, выдаваемых оператору.

3 этап. Классификация сигнализируемых нарушений. Подразделение сигнализируемых нарушений на отдельные классы и назначение приоритетов каждому классу нарушений и соответствующих им тревожных сигналов.

4 этап. Детальное проектирование системы тревожной сигнализации. Разработка проекта способов взаимодействия системы тревожной сигнализации с оператором и форм представления ему тревожных сигналов о нарушениях разных классов.

5 этап. Реализация проекта. Внедрение проекта, его тестирование и начальное обучение операторов эффективному использованию системы тревожной сигнализации.

6 этап. Эксплуатация системы тревожной сигнализации. Анализ опыта работы операторов с системой тревожной сигнализации и повышение их квалификации по взаимодействию с ней.

7 этап. Техническое обслуживание управляемого производственного объекта по нарушениям, указанным системой тревожной сигнализации.

8 этап. Мониторинг и экспертиза системы тревожной сигнализации. Контроль ее работы и представление периодических отчетов о ее работе. Расчет ключевых индикаторов тревожных сигналов, определяющих число разных типов нарушений в различные интервалы времени, что позволяет выявить наиболее нестабильные места управляемого объекта и принять меры по их исправлению.

9 этап. Управление изменениями в системе тревожной сигнализации, определяемые текущими изменениями в управляемом объекте и его модификациями, которые заставляют исключать, добавлять, корректировать отдельные тревожные сигналы.

10 этап. Аудит системы тревожной сигнализации. Периодическая проверка системы тревожной сигнализации на ее соответствие текущему состоянию управляемого объекта и проведение ее необходимой корректировки.

В стандарте приведены рекомендации по возможной частоте выдаваемых оператору тревожных сигналов, учитывающие психологические способности оператора по их восприятию, осознанию и эффективной компенсации нарушений:

- приемлемое число обрабатываемых оператором тревожных сигналов – 150 в сутки, а максимальное число – до 300 в сутки;
- среднее число обрабатываемых оператором тревожных сигналов – 6 в час, а максимальное число – до 12 в час;

- среднее число обрабатываемых оператором тревожных сигналов – 1 за 10 минут и не более 2 за 10 минут;
- пиковое число обрабатываемых оператором сигналов – 10 за 10 минут.

Для взрыво- и пожароопасных агрегатов выпущен российский нормативный документ, в котором приводится необходимость регламентации допустимого диапазона изменений значений измеряемых величин, определяющих взрывоопасность процесса, и фиксации их граничных значений, достижение которых подлежит сообщению оператору в виде тревожных сигналов:

Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 марта 2013 г. N 96 [25] «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

В приказе указывается, что перечень измеряемых величин, определяющих взрывоопасность процесса и их пороговые значения нормального состояния, составляются разработчиком процесса и указываются в исходных данных требований на проектирование системы управления процессом. Способы и средства, исключающие выход этих параметров за установленные пределы, должны приводиться в проектной документации и в технологическом регламенте работы данного производственного объекта, который утверждается предприятием.

Технологический регламент содержит описание процесса; безопасные условия его эксплуатации; пороговые значения тех измеряемых режимных величин процесса, при достижении которых должны выдаваться оператору соответствующие тревожные сигналы и, при необходимости, срабатывать заданные блокировки. В связи с тем, что взрыво- и пожароопасные процессы должны вестись в строгом соответствии с технологическим регламентом, все значения тревожных сигнализаций и блокировок в любой момент функционирования объекта должны соответствовать пороговым значениям, указанным в технологическом регламенте. Периодические проверки соответствия действующих пороговых значений утвержденному регламенту могут выполняться при приеме-сдаче смены, в суточные, недельные и месячные интервалы.

21.2. Приоритетное построение системы тревожной сигнализации

Практическое совершенствование системы тревожной сигнализации, направленное на безошибочную, своевременную и эффективную

компенсацию возникающих нарушений в производственном объекте заключается в выполнении ряда правил при ее проектировании, внедрении и эксплуатации. Ниже рассматривается и поясняется содержание этих правил [26].

1. Выявление и устранение некорректных, ошибочных, ложных тревожных сигнализаций, которые не соответствуют нарушениям, требующим соответствующих управляющих решений оператора. Эти ложные тревожные сигналы могут возникать по различным поводам, в частности распространены следующие их причины:

- ошибочное задание пограничных значений измеряемых величин, не соответствующих их заданному диапазону изменения;

- не учтенное изменение в объекте управления; например, демонтаж отдельной единицы оборудования, перевод объекта на использование другого вида сырья или на производство другого класса продукции;

- помехи измерения, вызывающие ложные сигналы датчика.

2. Создание и ведение во время эксплуатации системы тревожной сигнализации отчетного документа, в котором по сменам и суткам отмечаются возникшие нарушения, сопутствующие им тревожные сигналы и используемые воздействия подавления нарушений оператором. Этот документ позволяет проводить периодический анализ причин наиболее часто возникающих нарушений и соответственно срабатывающих конкретных тревожных сигнализаций, выявлять нестабильные компоненты объекта (контроллеры, датчики, оборудование и т. п.) с целью их замены, устранения, корректировки работы, что стабилизирует работу производственного объекта и снижает частоту нарушений.

3. Приоритетное разделение всех возможных нарушений на классы, имеющие разную значимость (разную степень опасности нарушения), требующие разную степень внимания оператора и разный разрешенный интервал времени, необходимый оператору на распознавание нарушения и обработку реагирования на него. Чем выше класс нарушений (чем они важнее и опаснее), тем меньший интервал времени по норме должен иметь оператор для их компенсации. Часто используют деление нарушений на три или четыре класса: от аварийных (первый класс) до незначительных (четвертый класс). Например, нарушения первого класса должны быть осознаны и компенсированы в течение 5-ти минут от момента их возникновения, нарушения второго класса – в течение 20 минут, нарушения третьего класса – в течение 40 минут, нарушения четвертого приоритета могут не иметь временных ограничений в их компенсации, поскольку не сказываются на текущей работе объекта.

4. Практика показывает целесообразность распределения всей совокупности тревожных сигналов по приоритетам их значимости в

следующих объемах:

- 5% всей совокупности тревожных сигналов могут иметь наивысший (первый) приоритет обработки (т. е. должны быть обработаны в кратчайший временной интервал);
- 15% всей совокупности тревожных сигналов могут иметь средний (второй) приоритет обработки;
- 80% всей совокупности тревожных сигналов должны иметь низшие (третий и четвертый) приоритеты обработки.

5. Каждый из этих классов нарушений требуется выделять четкими для восприятия оператора, характерными только для него признаками: цветом и яркостью самих данных и/или рамок, в которые заключаются эти данные на экране; стилем надписи (текста) данных; формой рамки данных и углом ее поворота; соответствующей анимационной фигурой или знаком и т. п.. Сообщения об особо важных аварийных ситуациях, требующие срочного внимания оператора, следует (кроме цвета, контрастности, формы) выделять звуком и/или миганием их изображения до момента квитирования этих сообщений оператором.

6. Важно снабжать тревожный сигнал дополнительной информацией, облегчающей оператору осознать коренную причину возникшего нарушения. Это могут быть изменения взаимных корреляционных связей различных измеряемых величин, тренды ряда величин, мнемосхемы определенных блоков объекта, сообщения об изменениях в параметрах входных компонентов или в работе оборудования, информация о возможных причинах возникновения нарушения, возможных его последствиях, рекомендуемых корректирующих действиях оператора.

7. Целесообразно в отдельной экранной форме показывать перечень не компенсированных на данный момент нарушений, в которых изображение каждого нарушения соответствует его классу значимости.

8. При выдаче на экран монитора тревожного сигнала следует учесть, что текстовые сообщения о нарушениях более сложно воспринимаются оператором, чем их графические изображения разного типа.

9. Рекомендуется при появлении лавины тревожных сигналов, возникших почти одновременно из-за одного корневого нарушения, вызвавшего недопустимые изменения значений многих измеряемых величин (а такая лавина разнообразных сигналов значительно усложняет осознание оператором основного корневого нарушения), временно автоматически отключать большинство из ряда тревожных сигналов, что может быть проведено динамическим подавлением вторичных сигнализаций, которые являются следствием корневого нарушения. Это существенно скажется на точности и реактивности управляющих действий оператора.

10. Полезно при разработке системы тревожной сигнализации создать базу данных нормативных граничных диапазонов тех измеряемых и/или вычисляемых величин, нарушения которых вызывают тревожные сигналы. В процессе эксплуатации в ней должны фиксироваться любые изменения, дополнения и исключения нормативных диапазонов; а также указываться реализующие эти изменения ответственные лица, сроки действия изменений и их причины. Данный документ позволит в процессе эксплуатации всегда проверить правильность функционирующей системы тревожной сигнализации.

11. В потенциально опасных производствах, согласно Приказу N 96 [25] пограничные уставки величин, должны точно соответствовать утвержденному технологическому регламенту, который формируется при внедрении АСУ производственного объекта. Целесообразно внедрить в систему тревожной сигнализации алгоритм контроля соответствия значений реально имеющихся уставок тревожных сигнализаций их значениям в технологическом регламенте [23]. Для этого создается специальный программный модуль, сопоставляющий два массива данных: массив «Значения уставок тревожной сигнализации, согласно технологическому регламенту» и массив «Имеющиеся значения уставок тревожной сигнализации на текущий момент». Сопоставление соответствующих строк этих массивов выявляет имеющиеся несоответствия, что позволяет производственному персоналу оперативно принимать необходимые меры по коррекции значений текущих уставок, если будут обнаружены их отклонения от регламентных значений.

В заключении следует подчеркнуть, что организация и проектирование системы тревожной сигнализации должны производиться при активном участии руководящих лиц производственного персонала, ответственного за нормальную работу данного производственного объекта. Они должны принимать участие в подразделении нарушений на отдельные классы, оценивать предлагаемые способы и формы представления тревожных сигналов разных классов и значений оператору, согласовывать рекомендуемые реакции оператора на отдельные тревожные сигналы разных классов.

Внедрение системы тревожной сигнализации требует тщательного, конкретного обучения операторов работе с ней, а ее эксплуатация нуждается в периодическом мониторинге ее работы, совершенствовании по замечаниям использующего ее персонала, модернизации при любых изменениях в управляемом производственном объекте.

Раздел VIII.

Совершенствование работы персонала с системой автоматизации

Общие положения

Все рассмотренные в предыдущих разделах технические и программные средства являются только частью АСУТП, другой (и решающей) частью АСУТП являются операторы технологических процессов. Поскольку эти системы представляют собою человеко-машинные (так называемые, эргатические) системы управления, то даже при наличии в качестве первой. автоматической части этих систем самого качественного программно-технического продукта, потенциально возможный от его применения эффект может быть полностью или частично погашен второй частью этих систем - операторами, которые на базе этого продукта решают и реализуют задачи управления. Ввиду этого важно рассмотреть и проанализировать существующее на предприятии положение с взаимодействием автоматической части АСУТП с персоналом производства:

- с рациональностью их конкретного применения операторами технологических агрегатов,
- с проведением их необходимого, своевременного и качественного обслуживания службой КИПиА,
- с наличием необходимых требований и нормативов по взаимодействию персонала с программными и техническими средствами АСУТП,
- с имеющейся согласованностью критериев работы при взаимодействии операторов АСУТП с техническими и программными средствами АСУТП,
- с наличием и достаточностью существующего стимулирования конкретных сотрудников производственных объектов эффективному использованию технических и программных средств АСУТП,
- с существующим уровнем квалификации персонала производства и его соответствия требованиям к работе с современными программными и техническими средствами автоматизации.

Необходимо также выявить те существующие организационные и административные особенности работы предприятия, которые ограничивают эффективное использование системы автоматизации любого производственного объекта.

Результатом этих обследований должны явиться рекомендации по различным аспектам совершенствования работы персонала производства и по созданию условий наиболее эффективного использования функционирующих технических и программных средств АСУТП.

В данном разделе подробно обсуждается содержание приведенных задач рациональной работы персонала производственных объектов с существующей системой автоматизации и уделяется внимание методам разрешения имеющихся недостатков функционирования персонала и способам повышения его квалификации для согласованной работы с современными средствами и системами автоматизации.

Глава 22. Совершенствование текущего функционирования операторов

22.1. Психологическое сопровождение операторов [1].

Профессиональная специфика работы операторов требует постоянного и активного внимания к непрерывно поступающей от системы автоматизации информации и достаточно быстрой, точной и адекватной реакции на все сигналы, характеризующие всевозможные отклонения управляемого процесса от нормального состояния в быстро меняющейся обстановке; требует сохранения внимания и высокой работоспособности в течение всей смены. Необходимыми психологическими качествами оператора сложного, ответственного, взрывоопасного объекта являются стрессоустойчивость, концентрация внимания, бдительность, склонность к оправданному риску. Отсутствие у человека всегда или в определенные дни необходимых психологических качеств во многом предопределяет потенциальную опасность его функционирования в качестве оператора достаточно ответственных технологических процессов, поскольку он может допускать поспешные или запаздывающие, или не адекватные решения. Особенно опасно отсутствие таких психологических качеств при развитии аварийных ситуаций, которые могут привести к тяжелым последствиям. В психологии эти важные для работы оператором качества определяются как «Профессионально важные психологические качества» (ПВК). В исследованиях, проведенных как за рубежом, так и в России, установлено, что более половины производственных происшествий совершают около 10% операторов технологических процессов со сниженным уровнем ПВК.

Все этапы функционирования операторов ответственных и взрывоопасных технологических агрегатов целесообразно сопровождать ниже описанными мероприятиями.

При зачислении на работу надо проводить анализ профессионально важных психологических качеств претендента на должность оператора и отбраковывать (не рекомендовать) или добавочно психологически тренировать претендентов со сниженным уровнем ПВК. Такой анализ может быть проведен специалистом-психологом на базе специальной

тестовой компьютерной системы по анализу ПВК. Этот анализ заключается в изучении психологических особенностей испытуемого по его реакциям на предлагаемые тесты типа:

- насколько адекватно и точно он реагирует на сложную ситуацию;
- насколько рискованны его решения в неоднозначной ситуации;
- насколько быстро он утомляется и сохраняет ли он концентрацию внимания к концу смены.

Психологическая тренировка претендентов со сниженным уровнем ПВК выполняется психофизиологическими тренажерами, которые тренируют память, концентрацию внимания, устойчивость к монотонной работе,

При функционировании оператора следует периодически проводить контроль его физического и психологического состояния. В особо ответственных случаях для этого можно использовать специальные приборы, контролирующие текущее функциональное состояние оператора. Они могут предупреждать оператора о нежелательном изменении его функционального состояния и снижения работоспособности.

При управлении агрегатом не одним оператором, а бригадой операторов (что наблюдается на всех достаточно крупных агрегатах) целесообразно для создания необходимой рабочей атмосферы заранее и затем периодически определять социально-психологическую совместимость всех членов единой бригады операторов и фиксировать требуемое соотношение или дополнение профессиональных компетенций у членов бригады операторов.

22.2. Ознакомление персонала производственного объекта с внедряемой системой автоматизации

Повсеместно наблюдается поверхностное (а иногда и чисто формальное) обучение операторов работе с новой или существенно модернизированной системой автоматизации. Это приводит к тому, что все ее возможности не используются операторами и ее функционирование не достигает возможной эффективности. Не останавливаясь на рассмотрении и анализе многочисленных недостатков ознакомления операторов с функциональными и техническими особенностями внедряемой системы и проверки освоения ими ее возможностей, сформируем требуемые правила обучения операторов.

Перед сдачей системы автоматизации в опытную эксплуатацию необходимо конкретное, детальное ознакомление операторов с внедряемой системой. В частности, с способами отбора из системы необходимой операторам оперативной и исторической информации в различных графических, табличных и текстовых формах; с использованием языка

запросов различных сведений – SQL для поиска в базе данных системы необходимых оператору данных, показателей, сведений; с возможностями создавать из имеющейся в базе данных системы информации различных, необходимых оператору отчетов, протоколов, рапортов на основе типовых редакторов без использования программирования.

Придаваемое к системе автоматизации руководство пользователя должно обладать следующими свойствами: быть составлено на обиходном языке операторов (а не на языке программистов), иметь пояснения всех используемых в нем терминов, подробно и конкретно описывать работу по поиску данных на языке SQL и по созданию необходимых документов без помощи программирования.

Весь процесс обучения операторов должен состоять из трех разделов:

- ознакомительный курс,
- практические занятия,
- обязательный зачет с **индивидуальной проверкой** усвоения необходимых знаний.

Отдельно по разделам аналогичного названия, но другого содержания должны быть проведены занятия с сотрудниками отдела КИПиА по обслуживанию внедряемой системы автоматизации.

Завершение обучения персонала, использующего и обслуживающего внедряемую систему автоматизации, позволяет начать опытную эксплуатацию системы, в процессе проведения которой необходима проверка взаимной, согласованной работы системы автоматизации с персоналом, консультативная помощь операторам и сотрудникам КИПиА по общению с системой, оценка эффективности внедряемой АСУТП. Только после проведения следующих работ:

- полного освоения всеми операторами рационального взаимодействия с внедряемой системой автоматизации на всех режимах работы производственного объекта;
- выявления и реакции разработчика на все замечания персонала по работе отдельных компонентов внедряемой системы автоматизации;
- учета разработчиком пожеланий операторов по совершенствованию способов их информирования о результатах текущего хода управляемого процесса;
- проведения предприятием промышленного эксперимента по оценке эффективности построенной АСУТП.

Можно завершить этап опытной эксплуатации и перевести АСУТП в промышленное функционирование. Интервал опытной эксплуатации системы может занимать время от нескольких месяцев до года; он зависит от объема и сложности внедряемой системы, от квалификации

работающего с ней персонала, от партнерского взаимодействия руководства разработчика АСУТП с руководством предприятия - заказчика АСУТП.

Важно отметить, что описанный способ проведения этапа опытной эксплуатации АСУТП обычно не соответствует формальным взаимоотношениям заказчика с разработчиком, поскольку в заключенном ими договоре уже первоначально заложено точное время опытной эксплуатации внедряемой системы. Ввиду этого следует иметь в виду, что в соответствующей статье договора целесообразно отметить необходимость оценки времени опытной эксплуатации системы уже в процессе внедрения АСУТП и согласовать форму расчета стоимости ее проведения.

22.3. Восприятие операторами текущего хода технологического процесса

Усложнение современных систем автоматизации все более остро ставит задачу обеспечения непрерывного внимания операторов к работе агрегата, поскольку им все реже приходится вмешиваться в функционирование работы системы автоматизации и у них возникает естественное желание занять себя время от времени посторонними делами, что, как показывает практика, чревато возможными значительными осложнениями и даже аварийными ситуациями из-за несвоевременного вмешательства оператора в ход процесса или даже отсутствия необходимого вмешательства.

Способом влияния на поведение операторов является объективная фиксация отвлечения операторов от своих прямых обязанностей. Она может быть реализована включением в программное обеспечение системы автоматизации данного агрегата специального модуля, ориентированного на текущую проверку внимания операторов к ходу технологического процесса.

Ниже приведена возможная логика работы данного модуля.

Через случайные моменты времени модуль формирует сообщение на монитор каждого оператора, в котором просит его сообщить текущее значение случайно отобранной модулем измеряемой величины. После ответа оператора модуль фиксирует правильность ответа и время, прошедшее с момента запроса. Результаты работы модуля поочередно фиксируются в специальном протоколе. Предварительно модулю задаются следующие параметры: средняя частота выбора моментов времени запроса каждого оператора (чем опаснее отсутствие непрерывного внимания оператора, тем меньше средний интервал времени между соседними запросами); перечень измеряемых величин, из которых модуль

будет производить отбор, и закон распределения выбора измеряемой величины для очередного запроса (целесообразен возможно более широкий перечень измеряемых величин и равномерный закон их отбора для запроса оператора).

Сменный протокол работы такого программного модуля объективно зафиксировывает непрерывность внимания операторов к управляемому технологическому процессу и может служить объективным показателем наличия непрерывного внимания оператора к ходу работы управляемого объекта.

22.4. Связь числа операторов с уровнем автоматизации производственного объекта

Важнейшим вопросом является обоснование рационального числа операторов для каждого конкретного технологического агрегата при внедрении новой системы автоматизации или при анализе работы существующей бригады операторов, взаимодействующих с функционирующей системой автоматизации. С развитием программных и технических средств автоматизации, они берут на себя все больше функций контроля и управления, все более освобождая операторов от вмешательства в работу агрегата. На предприятиях повсеместно не следят за связью необходимого числа операторов агрегата со степенью его автоматизации (чаще вообще не связывают эти факторы), не решаясь менять уже установившееся число операторов на каждом производственном объекте при расширении, модернизации или замене его системы автоматизации. Ввиду этого наблюдаются как перегрузки операторов, сказывающиеся на снижении реактивности их реакции и на качестве управления; так и недогрузки операторов, отвлекающие их от непрерывного внимания к текущему ходу технологического процесса, позволяющие им заниматься посторонними делами и, также, приводящие к снижению реактивности их реакции и качества управления.

Целесообразно проведение экспертной оценки загрузки операторов, которая должна проводиться руководителями технологической и производственной служб предприятия и начальниками соответствующих производственных цехов, поскольку они наиболее полно и глубоко представляют особенности работы имеющихся на производстве технологических агрегатов, сложности управления отдельными технологическими процессами, взрыво- и пожароопасность промедления реакций на возникающие отклонения от нормального хода производства.

Методика оценки загрузки операторов может быть основана на существующей фиксации самой системой автоматизации каждого агрегата управляющих вмешательств отдельных операторов данного

технологического процесса в ее работу:

- специальный программный модуль системы автоматизации вычисляет среднюю частоту вмешательств каждого оператора в ход технологического процесса и средний интервал времени между моментом выдачи системой автоматизации контрольного сигнала о нарушении и моментом компенсации этого нарушения оператором.

Полученные данные сопоставляются экспертами с частотой подобных вмешательств каждого оператора в ход процесса за смену, которое ими считается нормальной нагрузкой оператора при существующем уровне автоматизации агрегата и действующих формам и способам выдачи операторам контрольной и учетной информации. Результатом этого сопоставления является оценка степени загрузки каждого оператора и обоснование определения необходимого числа операторов для данного технологического агрегата.

Любые изменения, связанные с модернизацией уровня автоматизации агрегата (совершенствования и расширения средств автоматического контроля и управления, улучшения и упрощения форм выдаваемой контрольной информации) могут потребовать коррекцию числа его операторов, что должно определяться проведением выше указанной экспертной процедуры.

Важно отметить, что изменение числа операторов требует документального обоснования, поскольку это влечет соответствующую коррекцию в утвержденный штатный состав предприятия.

Глава 23. Административное и организационное сопровождение персонала производственного объекта

23.1. Недостатки существующей административной и организационной поддержки персонала

Все рассматриваемые технические и программные средства АСУТП являются частью автоматизированных систем контроля и управления, другой (и решающей) частью которых являются использующие их операторы технологических процессов. В целом эти системы представляют собою человеко-машинные системы управления и поэтому даже при наличии в качестве первой части этих систем самого качественного программно-технического продукта, потенциально возможный от его применения эффект может быть полностью или частично погашен второй частью этих систем - операторами, которые на базе этого продукта решают и реализуют задачи управления. Ввиду этого важно рассмотреть и проанализировать существующее согласование взаимодействий операторов АСУТП с техническими и программными средствами АСУТП

и выявить организационные и административные особенности, ограничивающие их эффективное использование.

Как показывает проведенный анализ эксплуатируемых АСУТП на ряде предприятий, без ряда организационных мероприятий и административных изменений, сопровождающих их внедрение и функционирование, затруднительно добиться максимально возможной по эффективности эксплуатации систем автоматизации. При заказе, проектировании, внедрении и функционировании отдельных АСУТП на большинстве предприятий наблюдается следующая картина:

- заказчик, вырабатывая техническое задание на АСУТП, не включает в него никаких запросов к ее разработчику по необходимым квалификации, требованиям и мотивации операторов для эффективной эксплуатации автоматической части АСУТП;

- разработчик АСУТП, в свою очередь, не уделяет внимания рациональному использованию внедряемой в АСУТП автоматической системы операторами, довольствуясь проектированием технических средств и программного обеспечения по имеющимся техническим требованиям, тем самым далеко не полностью удовлетворяя реальным потребностям производства;

- операторы технологических агрегатов, в силу ряда причин, в том числе и естественного консерватизма, не всегда воспринимают все заложенные возможности в новую систему автоматизации, предпочитая привычные, устоявшиеся методы управления, далеко не всегда учитывающие характеристики внедренной АСУТП;

- руководство предприятия и отдельных технологических цехов не проявляют должной настойчивости в требованиях к операторам по современному и эффективному использованию системы автоматизации в АСУТП, а зачастую они и не представляют какие требования надо предъявлять, поскольку плохо ориентируются в возможностях вновь внедряемых средств и систем автоматизации в АСУТП;

- службы КИПиА предприятия не уделяют должного внимания ответственности информации по контролю и учету работы отдельных переделов производства, выдаваемых системами автоматизации, реальным потребностям операторов; не следят за использованием систем при принятии управляющих решений; не модифицируют своевременно программный и технический состав систем при текущих изменениях производства; не проводят во время эксплуатации систем необходимую, периодическую проверку их работы, предотвращающую деградацию систем;

- несмотря на значительные финансовые ресурсы, требуемые на построение АСУТП, руководство предприятия при их планировании не

требует конкретного обоснования прогноза их эффективности (зачастую прогноз основывается на базе «с потолка»), а при их внедрении обычно забывает о необходимости практического определения достигнутой эффективности их функционирования.

Приведенные наблюдения заставляют обратить особое внимание на меры организационного и административного порядка, которые должны исключить эти недоработки, существенно мешающие эффективно функционированию АСУТП.

Ниже рассматриваются описания мероприятий, сопровождающих построение и эксплуатацию любой АСУТП, без проведения которых возможная эффективность АСУТП не может быть достигнута.

23.2. Принципы административного управления производством

Более 50-ти лет назад в США были разработаны, а затем неоднократно совершенствованы, дополнены и модифицированы принципы построения рациональной системы управления предприятием. Эти принципы легли в основу международного стандарта «Administrative Management System (AMS) [2] — система административного управления». Его цель — повышение эффективности и конкурентоспособности предприятия. Подавляющее большинство предприятий развитых зарубежных стран в практике управления опираются на методы, изложенные в стандарте AMS.

Кратко следует отметить, что стандарт «Система административного управления» направлен на качественное решение двух основных задач управления:

- задачу рациональной организации труда на каждом рабочем месте;
- задачу мотивации каждого работника предприятия к производительному и качественному труду.

Для решения этих задач стандарт рассматривает методы построения двух взаимосвязанных составляющих системы административного управления:

- организационной подсистемы управления;
- подсистемы административного управления персоналом.

Одна из основных задач организационной подсистемы:

- за счёт правильной организации и управления обеспечить рациональную работу производства в рамках всего предприятия.

Основные объекты организационной подсистемы, подлежащие анализу и совершенствованию:

- структура управления;
- нормативы работы персонала и их должностные инструкции.

Одна из основных задач подсистемы административного управления персоналом:

- создание эффективной системы оплаты труда, обеспечивающей высокий уровень производительности и качества, а также исполнительской дисциплины.

Основные объекты подсистемы административного управления персоналом, подлежащие анализу и совершенствованию:

- дисциплина и исполнительность на каждом рабочем месте;
- материальная мотивация сотрудников, непосредственно зависящая от эффективности их труда.

Как бы хорошо не была создана организационная подсистема управления предприятием, стандарт фиксирует:

- предприятие не будет работать с максимальной эффективностью, пока не будет решена проблема мотивации каждого работника к высокопроизводительному и качественному труду.

Для решения проблемы мотивации персонала, прежде всего, необходимо правильно урегулировать отношения между каждым начальником и подчиненным в рамках предприятия. Рациональная модель трудовых отношений должна базироваться на такой мотивации персонала, которая формирует оплату каждого работника в зависимости от конкретных результатов его труда.

В целом, стандарт AMS определяет рекомендации по созданию положения о подразделениях, по формированию нормативов и должностных инструкций персонала, по внедрению эффективной системы оплаты труда, повышающей исполнительность персонала, производительность и качество его труда.

На подавляющем большинстве российских предприятий существующая в них система административного управления (по крайней мере, в части автоматизации производства), не соответствует положениям рассматриваемого документа: она весьма мало касается требований и мотиваций рационального и эффективного применения существующих систем автоматизации персоналом, использующим эти системы для принятия управленческих решений.

23.3. Административные меры поддержки персонала АСУТП

Только рациональное управление персоналом производства фактически может обеспечить высокоэффективное внедрение и функционирование АСУТП. Ниже рассмотрены те основные меры, которые способствуют максимально возможной отдаче от АСУТП.

23.3.1. Пересмотр должностных инструкций и нормативов работы персонала

Нормативы рационального использования систем автоматизации обычно на предприятиях отсутствуют, а должностные инструкции и правила работы не содержат никаких конкретных требований к рациональному и полноценному использованию персоналом имеющейся системы автоматизации и никаких обязанностей персонала по их взаимодействию с используемой системой автоматизации. Типичным примером содержания раздела должностной инструкции о правах и обязанностях персонала в отношении его взаимодействия с системой автоматизации являются следующие требования:

«Оператор должен знать назначение контрольно-измерительных приборов, средств автоматики, системы аварийной сигнализации и блокировок, принцип их действия.

Оператор обязан следить за наличием и исправностью контрольно-измерительных приборов на оборудовании агрегата.

От оператора требуется своевременное оповещение старшего оператора технологических агрегатов при отказе работы приборов КИПиА».

Все!

Этим ограничиваются требования к персоналу по работе с используемой системой автоматизации.

Естественно, следует пересмотреть или заново составить должностные инструкции персонала, взаимодействующего с АСУТП, и нормативы его работы. Необходимо конкретизировать документальную базу, заложив в нее необходимые требования к персоналу, правила его взаимодействия со средствами и системой автоматизации и использования результатов их работы в своих решениях и управляющих действиях, сформулировать его функциональные обязанности по **рациональной** эксплуатации системы автоматизации и ответственность за выполнение составленных нормативных документов. В частности, включить в нормативные документы следующие обязанности операторов:

- знание содержания контрольных, учетных, управляющих функций системы автоматизации, их возможных неисправностей, тестов проверки их нормального функционирования;

- возможный перечень управляющих решений, их формы и допустимое время требуемой реакции на отдельные классы сообщений системы автоматизации о нарушениях хода технологического процесса и аварийных ситуациях.

Целесообразно привлечь к составлению должностных инструкций разработчика системы автоматизации, поскольку его компетенция в части использования внедряемой им системы может существенно

превосходить компетенцию специалистов предприятия.

В нормативах должны быть конкретно зафиксированы содержание и формы информации, получаемой оператором от системы, и наименования решений, которые обязан принимать оперативный персонал по получению от системы определенных данных и сигналов. В них должны быть отмечены ответственности администратора системы и обслуживающего ее персонала за правильную работу системы: качество, точность контроля и регулирования, своевременность получаемой от нее информации.

23.3.2. Мотивация персонала за эффективность управления объектом

На подавляющем большинстве российских предприятий существующая система материальной мотивации операторов конкретного АСУТП непосредственно не связана с работой управляемого ими производственного объекта и не стимулирует рациональное использование операторами эксплуатируемой системы автоматизации в АСУТП.

Типичный состав положения о премировании за основные результаты производственно-хозяйственной деятельности предприятия в месячном интервале содержит следующие основные показатели премирования производственного персонала (в том числе, операторов производственных объектов):

«Условия премирования:

- выполнение цехом заданного плана работ,
- выполнение цехом заданных показателей качества,
- выполнение цехом норм технологического регламента,
- соблюдение персоналом цеха дисциплины,
- соблюдение персоналом цеха правил промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды, правил пожарной безопасности».

Получается, что стимулирование операторов отдельного производственного объекта определяется степенью выполнения цехом и предприятием месячного плана и заданных нормативов, в реализации которых оперативный персонал отдельного агрегата вряд ли сможет выделить свою долю труда и, тем самым, точно сопоставить конкретно свою работу с возможной премией. Оторванность результата своего труда от его мотивации значительно сказывается на желании конкретных специалистов наиболее эффективно взаимодействовать с системой автоматизации.

Следует отметить существенное обстоятельство, определяющее понятие «оперативный персонал отдельного агрегата», результаты работы которого могут быть достаточно точно определены и,

соответственно, заслуженно мотивированы. Обычно оперативный персонал агрегата подразделяется на смены, а в каждой смене работает несколько операторов. Естественно, что операторы определенной смены отвечают за работу агрегата в этой смене, но в подавляющем большинстве случаев представляется неверным выделять их и мотивировать за показатели работы агрегата в этой смене, поскольку такая мотивация может привести к тому, что операторы этой смены будут вести технологический процесс в режиме наилучшем для своей смены, но заведомо ухудшающим условия работы и стабилизацию заданного режима последующей смене. В этих обстоятельствах правильно мотивировать за результаты работы агрегата одинаково бригаду операторов, работающих во всех сменах.

В целом, следует пересмотреть положение по премированию, разделив премиальный фонд на одну часть, связанную с общей работой предприятия, и на другую, достаточно существенную часть, зависящую от результатов конкретной работы оперативного персонала отдельного агрегата, т. е. включить в состав основных показателей премирования материальную мотивацию бригады операторов конкретного агрегата за результаты их труда. Пренебрежение указанными изменениями в системе мотивации значительно затрудняет полномасштабное использование персоналом производства отдельных систем автоматизации.

В конкретных решениях по части мотивации, определяемой работой оперативного персонала отдельного агрегата, целесообразно учитывать следующие положения:

- эти премии должны быть существенными, т. е. составлять значительную долю от зарплаты персонала;
- они должны сочетаться с соответствующими по величине штрафами за невыполнение заданных нормативов;
- сами показатели работы, за которые премируется оперативный персонал отдельного агрегата, должны быть конкретно увязаны с общими целями предприятия в рассматриваемое время, с текущими значениями ключевых показателей эффективности работы производства.

В частности, целесообразной бывает установка существенных месячных материальных стимулов для бригады операторов каждого отдельного агрегата за следующие показатели ее работы:

- реальную производительность агрегата и ее соотношение с заданной производительностью;
- качественные показатели выпускаемой агрегатом продукции и отсутствие брака или отклонений от заданного качества;
- достигнутую экономию различных потребляемых энергоресурсов;
- стабильную и безаварийную работу агрегата.

В целом, наименования показателей, так и, особенно, сумма

поощрения за их выполнение могут изменяться в разные временные интервалы в связи с изменениями целей, задач и значениями ключевых показателей эффективности работы производства.

23.3.3. Влияние заинтересованности руководства предприятия в эффективном использовании АСУТП

Ряд крупных компаний технологических отраслей промышленности являются вертикально интегрированными компаниями и их отдельные предприятия работают в режиме «Процессинг», при котором их функциями является переработка заданного им количества сырья в заданный им набор продуктов. Они сами не приобретают сырье и не продают свою продукцию; все это делает компания, которая оплачивает им заданную переработку. Практически в этих условиях руководство предприятий часто заинтересовано в сокрытии своих резервов от компании, чтобы легче переживать периодические ужесточения ее плановых требований, многочисленные коррективы уже утвержденных планов в процессе их реализации, ежегодные требования снижения затрат на переработку сырья. Примеряясь к существующим условиям функционирования руководство предприятий начинает достаточно осторожно относиться к разработке и эксплуатации ряда систем автоматизации. Полученную от различных АСУТП экономию энергоресурсов, повышение производительности и качества и удешевление себестоимости переработки сырья предприятию выгодно не показывать компании, поскольку ее реакцией на эти данные явится ужесточение соответствующих нормативов.

Естественно, что подобный надзор компании над предприятием тормозит внедрение ряда современных систем автоматизации и снижает возможную эффективность их использования. Исправление данной ситуации заключается в необходимости пересмотра взаимодействий предприятий, работающих на процессинге, с руководящей компанией. В частности, требуется:

- строгая фиксация компанией системы нормирования затрат на переработку сырья не на год, а на ряд лет вперед;
- пересмотр существующих мер поощрения деятельности предприятий со стороны компании;
- получение руководством предприятия большей свободы в решении текущих и стратегических задач в части развития производства.

Глава 24. Обучение и тренинг операторов технологических агрегатов [3]

Вопросы необходимой квалификации операторов технологических процессов, их точной оценки возникающих нештатных ситуаций,

реактивности их воздействий на нарушения технологического режима играют первостепенную роль в нормализации работы агрегата. Существует два, взаимно дополняющих друг друга, способа поддержания во времени необходимой квалификации операторов.

Первый способ ставит своей целью повышение квалификации операторов. Он заключается в периодическом (например, в крупных зарубежных предприятиях раз в один или в два года) обязательном направлении операторов на специальные курсы повышения квалификации по управлению агрегатами данной отрасли промышленности с использованием современных средств и систем автоматизации. В России в настоящее время почти полностью отсутствуют обязательные формы и способы повышения квалификации операторов технологических агрегатов. Практически разрушена система профессиональной подготовки операторов.

Второй способ ставит своей целью сохранение квалификационных навыков операторов при работе с вновь внедряемыми системами автоматизации и периодическую тренировку операторов по рациональной компенсации возникающих достаточно редко нештатных ситуаций, поскольку отсутствие периодической тренировки операторов приводит к потере ими навыков необходимой компенсации редких нарушений и аварийных ситуаций. Этот способ предусматривает использование компьютерных тренажерных систем, позволяющих проводить периодический тренаж операторов по взаимодействию с внедряемыми и эксплуатируемыми системами управления технологическими процессами. Подобная тренировка особенно важна после периодических перерывов работы оператора; например, после очередных отпусков. Она может быть реализована с помощью компьютерных тренажеров, в которых заложена динамическая модель управляемого процесса и модель существующей системы автоматизации. Содержание и частота занятий операторов по тренажерной поддержке их квалификации зависит от важности работы агрегата для предприятия, сложности его управления, его взрыво- и пожароопасности (см. [4]).

Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов (КТ) доказали свою эффективность как средство формирования, закрепления и проверки навыков управления технологическими агрегатами в нормальных, нештатных и аварийных ситуациях. Более того, применение КТ все более актуально, на что есть объективные причины. Современное производство усложняется и порождает – разумеется, увеличиваются и риски, связанные с некачественным управлением технологическими агрегатами. В той же мере (если не в большей) усложняются системы управления технологическими

агрегатами, а, как почти тридцать лет назад прозорливо отмечала английская исследовательница Л. Бэйнбридж, ирония автоматизации состоит именно в том, что, чем сложнее и совершеннее система управления, тем труднее задача использующего ее оператора [5]. В рыночных условиях это превращает уровень подготовки и квалификации операторов в ключевой фактор конкурентоспособности предприятия

Важнейшие функции оператора заключаются в обнаружении отклонений текущего режима от заданной нормы, в диагностике причин этих отклонений, в реализации необходимых компенсирующих отклонения действий.

Работа оператора требует знания происходящих в технологическом агрегате процессов и методов управления ими; навыков и рациональных реакций на возникающие в агрегате ситуации; определенных психологических качеств по своевременному реагированию на все сигналы АСУТП и по сохранению высокого уровня работоспособности в течение всего его рабочего времени.

Задачей отбора оператора технологического агрегата и наблюдения за состоянием оператора во время работы является анализ тех психологических и физических качеств работника, которые могут не позволить ему качественно, точно и реактивно выполнять достаточно напряженные по вниманию и необходимой скорости принятия решений функции оперативного управления. Это особенно важно для работы операторов объемных, сложных, взрывоопасных технологических агрегатов.

Задачей обучения оператора технологического агрегата является формирование, закрепление и совершенствование операторских знаний и навыков управления конкретным технологическим агрегатом в разнообразных нормальных, предаварийных и аварийных ситуациях, то есть выработка совокупного умения эффективного и безопасного управления процессом.

Задачей тренинга действующего оператора является проверка используемых им способов управления при стабилизации заданного технологического режима, при переводе агрегата на разные технологические режимы, при разнообразных нормальных, предаварийных и аварийных ситуациях в агрегате, при его пуске и останове; выработка умения наиболее эффективного и безопасного управления технологическим процессом; периодическая тренировка и наработка навыков по компенсации возникающих достаточно редко нештатных и аварийных ситуаций.

На большинстве предприятий отсутствует периодическая тренажерная поддержка операторов, что приводит к потере ими навыков необходимой компенсации редких нарушений и аварийных ситуаций. Она

должна быть реализована с помощью компьютерных тренажеров [6], в которых заложена динамическая модель управляемого процесса и модель существующей системы автоматизации. Содержание и частота занятий операторов по тренажерной поддержке их квалификации зависит от важности работы агрегата для предприятия, сложности его управления, его взрыво- и пожароопасности.

Важно отметить также, что в настоящее время полностью отсутствуют курсы повышения квалификации операторов по управлению отдельными классами технологических агрегатов, что ведет к постепенной деградации квалификации операторов и сказывается на восприятии ими перспективных методов и алгоритмов контроля и управления. Это, кстати, определяет боязнь руководства многих предприятий внедрять усовершенствованный контроль и регулирование технологических процессов, из-за отсутствия возможности их квалифицированного использования.

24.1. Основы обучения и тренинга операторов

Вопросы обучения, повышения квалификации и тренинга операторов должны рассматриваться на всех этапах их функционирования.

Обучение должно проводиться не только при зачислении на работу операторов, но и при любых модернизациях технологического агрегата, введения новых режимов его работы, замены, модификации или расширения системы его автоматизации. Следует отметить, что любой курс обучения должен заканчиваться проверкой усвоения материала каждым обучаемым, поскольку не редко встречаются обучающие курсы, в которых сертификаты об их окончании выдаются всем слушателям, вне зависимости от реального усвоения новых знаний.

Периодические занятия по повышению квалификации операторов позволяют поддерживать и восстанавливать у них необходимые знания по всем аспектам функционирования управляемого ими объекта и информировать их о техническом содержании всех проводимых и планируемых нововведениях, касающихся их работы. К сожалению, повсеместным является отсутствие подобных занятий, что сказывается на постепенном снижении квалификационного уровня операторов, повышении их консерватизма, боязни и отторжения всяких нововведений.

Тренинг операторов на компьютерных тренажерах по рациональному управлению технологическим процессом в различных режимах работы агрегата, по правильной и своевременной реакции на различные нарушения в его функционировании (особенно, на формирование у операторов автоматизма действий при аварийных ситуациях)

целесообразен для всех технологических агрегатов и необходим для крупных, сложных, взрывоопасных агрегатов.

В последние годы разрабатываются различные системы обучения и тренинга операторов. Все эти системы полностью или в значительной степени базируются на использовании компьютерных тренажерных систем.

Обучение операторов на начальном этапе заключается в освоении ими следующих основополагающих знаний:

- о физико-химических процессах, происходящих в агрегате;
- об оборудовании агрегата и его системе контроля, учета и управления;
- о принципах контроля и управления технологическим процессом на основе имеющейся системы автоматизации;
- о правильных реализациях режимов пуска и останова агрегата;
- о возможных нештатных и аварийных ситуациях в агрегате и способах их предотвращения и компенсации.

Обучение всем этим базовым знаниям путем лекционных занятий должно предшествовать комплексу практических занятий, реализуемых с помощью и на базе компьютерного тренажера.

Основной целью тренажерных практических занятий является наработка и закрепление операторами специальных навыков:

- по управлению агрегатом в различных, стабильных и переходных режимах работы,
- по применению рациональных реакций на нештатные и аварийные ситуации,
- по умению прогнозировать изменения технологического режима при определенных управляющих воздействиях.

Все обучающие практические занятия могут быть подразделены на следующие разделы:

- диагностика нарушений и причин их возникновения при появлении определенной совокупности значений ряда измеряемых величин, фиксирующих отклонение от заданного режима;
- влияние возникающих определенных изменений в состоянии оборудования, в характеристиках сырьевых компонентов, во внешних воздействиях - на текущие значения измеряемых величин;
- обнаружение различных неисправностей и нарушений в используемой системе автоматизации по отдельным наблюдениям и тестовым воздействиям;
- формирование соответствующих реакций на сигналы о различных нештатных и аварийных ситуациях;
- прогнозирование поведения управляемого объекта при

определенных управляющих воздействиях в различных режимах его работы.

В качестве примеров практических занятий можно привести упражнения на компьютерном тренажере по первому и второму разделам практических занятий.

1. Инструктор предъявляет изменения значений некоторых измеряемых величин технологического процесса (расходов, температур, давлений, уровней и т.п.), а обучаемый должен указать из перечня возможных нарушений те отказы или возмущения, которые привели к заданному набору симптомов поведения технологического процесса. Далее на тренажере моделируется то нарушение, которое привело к предъявленным изменениям измеряемых величин, и производится оценка ответов обучаемого работника.

2. Инструктор генерирует некоторую нештатную ситуацию, сообщает о ней обучаемому работнику и выделяет перечень некоторых измеряемых величин технологического процесса (расходов, температур, давлений, уровней и т.п.), изменения которых при этой ситуации следует оценить. Обучаемый работник должен указать один из вариантов поведения каждой из измеряемых величин выделенного перечня (например, сильно уменьшилась, уменьшилась, не изменилась, увеличилась, сильно увеличилась) при наступлении заданной инструктором нештатной ситуации. Затем тренажер моделирует истинное поведение этих величин после развития заданной нештатной ситуации и производится оценка ответов обучаемого работника.

Возможны варианты оценки действий обучаемого как самим инструктором, так и системой обучения по заложенному в ней способу определения удаленности ответов обучаемого от правильных ответов.

Тренинг операторов базируется на моделировании их трудовой деятельности, которая обеспечивает получение оператором контрольных данных от объекта и выдачу операторских воздействий на объект в полном соответствии с реальностью по содержанию, объему, последовательности и темпу.

Инструктор компьютерного тренинга операторов может реализовывать различные варианты имитации возможных ситуаций функционирования реального технологического процесса:

- инициализацию моделирования заранее заданных статических режимных состояний и различных переходных режимов,
- ускорение/замедление протекания во времени моделируемых процессов,
- запуск, приостановку, перезапуск моделируемого процесса,
- моделирование возможных нештатных и аварийных ситуаций в

агрегате,

- просмотр действий обучаемого оператора для их последующего анализа,
- детальное протоколирование сессии тренинга,
- различные вмешательства инструктора в ход моделируемого технологического процесса,
- создание, запоминание, модификация сценариев вмешательства инструктора в ход моделируемого технологического процесса.

Особое внимание при тренинге операторов уделяется обучению их выработке не просто правильных, но наиболее эффективных воздействий на процесс в различных условиях его протекания, диагностике причин отдельных нарушений, точному прогнозированию влияния воздействий на дальнейшее развитие процесса.

Важнейшей составляющей тренинга является наработка и закрепление навыков своевременной и рациональной компенсации различных нештатных ситуаций и возможных аварийных событий. Эти события практически являются весьма редкими и операторы часто теряют навык правильного и своевременного реагирования на них, что приводит к значительным потерям из-за так называемого «человеческого фактора». Периодический тренинг на тренажере по компенсации аварийных событий позволяет поддерживать готовность операторов к их правильной компенсации в течение всего времени их работы.

Компьютерные тренажеры могут иметь программы оценки действий операторов до и после тренинга двух типов:

- количественная оценка действий оператора. Так, например, в переходных режимах может быть проведена оценка по отклонению (по способности удерживать процесс в рабочих пределах), по цели (по способности привести переменную к определенному заданному значению за указанный период времени) и по траектории (по способности поддерживать заданную идеальную траекторию, не выходя за пределы допустимого диапазона);

- экономическая оценка действий оператора. Она вычисляется значением заданного экономического критерия работы агрегата на определенном интервале времени (например, экономией расхода энергоресурсов или увеличением производительности агрегата с учетом всех имеющихся технологических ограничений).

24.2. Структура компьютерной тренажерной системы

Компьютерные тренажерные системы разрабатываются большей частью под вновь строящиеся технологические агрегаты и/или вновь разработанные АСУТП. Использование современных компьютерных

тренажеров для вновь строящихся агрегатов позволяет компаниям верить проекты, предпринимать предпусковые проверки, тренировать операторов с тем, чтобы пуск занял меньше времени и был более эффективным. Последующее ведение процесса должно постоянно совершенствоваться и поддерживаться на максимально высоком уровне. Компьютерные тренажеры призваны также нивелировать серьезные проблемы, связанные с текучестью кадров и деквалификацией персонала (вследствие все большего охвата функций контроля и управления современными средствами и системами автоматизации). Кроме того, применение компьютерных тренажеров помогает обеспечивать соответствие все более жестким нормативам промышленной и экологической безопасности.

Очень важно, чтобы каждый следующий тренажерный проект не требовал от заказчика излишних затрат и по максимуму использовал преимущества уже существующих тренажеров. В идеале, компьютерный тренажер для следующего агрегата должен требовать только затраты на другую модель объекта, отладку тренажерной модели и конфигурацию новой системы автоматизации.

Техническая структура тренажерного комплекса состоит из взаимосвязанных информационной сетью следующих компьютерных станций:

- станции инструктора, управляющего процессом обучения и тренинга обучаемого персонала;
- рабочих станций обучаемого персонала (для имитации средств управления «по месту» в состав комплекса может входить также рабочая станция полевого оператора),
- отдельных компьютеров, на которых реализованы модели технологического процесса и его системы автоматизации (рис. 24.1).

Программная структура тренажерного комплекса состоит из следующих функциональных компонентов:

- динамической модели технологического процесса, построенной на базе имеющихся библиотек моделей различных типовых технологических процессов, с использованием необходимых термодинамических расчетов и известных свойств сырьевых и продуктовых материальных потоков;
- модели реализованной на агрегате системы автоматизации, которая воспроизводит программное обеспечение существующей системы автоматизации и имитирует существующие рабочие станции оператора;
- системы обучения и тренинга операторов, состоящей из программного комплекса инструктора, инициализирующего различные ситуации в модели технологического процесса, изменяющего скорость

моделирования, следящего и оценивающего реакции обучаемых операторов на все изменения в ходе технологического процесса.

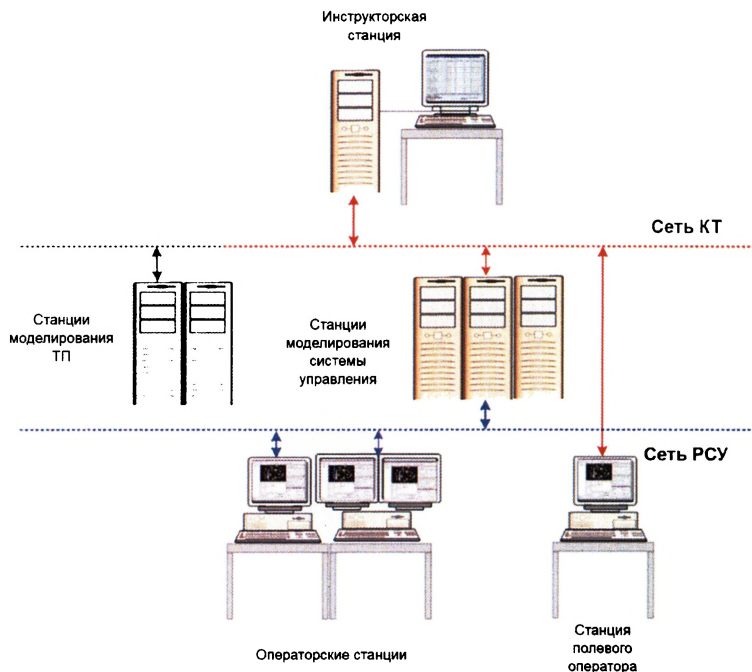


Рис. 24.1. Принципиальная схема компьютерного тренажерного центра

Особенности отдельных компьютерных тренажеров определяются целью их использования, объемом и точностью моделируемых в них технологических процессов, способами имитации системы автоматизации. Распространяются два принципиально разных типа компьютерных тренажеров – типовые и специализированные. В первом случае основная цель тренажерного комплекса – обучение вновь принимаемых работников принципам управления конкретным технологическим процессом, во втором случае - тренировка действующих операторов в принятии ими рациональных управляющих решений в различных режимах работы агрегата и в возможных нештатных и аварийных ситуациях. Различия в компьютерных тренажерах этих типов затрагивают, прежде всего, первые два функциональных компонента их программного обеспечения: модель технологического процесса и реализация его системы автоматизации. Программы обучения и тренинга, в основном, совпадают, поскольку методики обучения, формирующие и закрепляющие

навыки управления динамическими технологическими процессами, принципиально одинаковы для компьютерных тренажеров всех типов.

Для типового компьютерного тренажера достаточно стандартной тренажерной модели, описывающей работу технологического процесса в типовых режимах и при типовых нарушениях. Операторский интерфейс в типовом компьютерном тренажере, как правило, не требуется «привязывать» к конкретному типу системы автоматизации, можно использовать в тренажере недорогую типовую модель такой системы.

Специализированные компьютерные тренажеры снабжаются индивидуально построенными моделями, обеспечивающими высокую точность статических состояний и динамических реакций конкретно-го технологического процесса. Для специализированного компьютерного тренажера необходимо обеспечить высокий уровень совпадения с реальной операторской средой управления, т. е. с конкретным типом применяемой на объекте системой автоматизации. При этом используют либо эмуляцию функциональности конкретной системы автоматизации, либо реальное построение в тренажерном комплексе имеющейся на объекте системы автоматизации. Второй вариант дороже за счет необходимости использовать дополнительное техническое и программное обеспечение, но зато дает возможность легко подстраивать тренажер при изменениях в реальной системе автоматизации. Возможны и многообразные «промежуточные» решения, различные по стоимости и достигаемому уровню подобия с реальной средой управления.

24.3. Особенности выбора компьютерной тренажерной системы [7]

Рассмотрим особенности выбора специализированного компьютерного тренажера для тренинга действующих операторов по принятию рациональных управляющих решений в различных нештатных и аварийных ситуациях. Предлагаемые на рынке разные специализированные компьютерные тренажеры различаются по имеющемуся ресурсу, по применяемой структуре, по свойствам и точности имитации работы технологического объекта, по возможностям инструкторской системы обучения и тренинга операторов, по стоимости.

В случае выбора не специализированного, а типового компьютерного тренажера технические требования к нему модифицируются за счет соответствующего ослабления требований к тренажерной модели объекта и к модели системы автоматизации.

Современный достаточно насыщенный рынок компьютерных тренажеров позволяет заказчику отобрать тренажерную систему, наиболее удовлетворяющую его конкретным потребностям, если он

сформулировал достаточно точные технические требования на нее. Предварять требования должны основные сведения о моделируемых в компьютерном тренажере технологических процессах и их системах автоматизации. Эти сведения, совместно с нижеперечисленными требованиями, должны однозначно определить объем работ по моделированию. Обычно бывает достаточно раздела технологического регламента, содержащего перечень и краткую характеристику моделируемых технологических процессов и оборудования, а также кратких описаний систем автоматизации (структура, конфигурация, реализуемые функции).

Комплект требований должен быть полным, т. е. содержать все необходимые для заказчика указания. Каждое требование должно быть конкретным (не иметь положений, на которые нельзя точно отреагировать) и однозначно понимаемым участниками конкурса. Не подходят формулировки типа «математические модели должны быть максимально приближены к реальному процессу». Где мера такого приближения? Мировой опыт предполагает 2...5% точности для критически важных параметров в статических режимах; можно встретить и указания на 10% – в динамических режимах. Заметим, однако, что и это недостаточно четко прописано: следует определить перечень критически важных параметров (например, регулируемые материальные потоки, температуры, уровни, давления), указать от какого диапазона отсчитывается точность (от шкалы измерения, от допустимых технологических границ и пр.), описать, как фиксируется точность в динамических режимах (например, по принадлежности к «трубке» вокруг номинальной переходной траектории)¹.

Ниже приведен перечень возможных разделов требований к специализированному компьютерному тренажеру и дано их краткое содержание.

Требования к составу моделируемых технологических процессов, реализуемых в них режимов и их нештатных ситуаций.

Основная доля затрат разработчика при создании компьютерного тренажера – построение и настройка тренажерной модели технологического процесса. Поэтому границы моделирования агрегата должны быть представлены в требованиях достаточно ясно. Часто для этого можно перечислить технологические блоки, подлежащие моделированию. Но возможно также дать перечень технологического оборудования, которое должно быть представлено в тренажере.

Требования к точности моделирования отдельных статических и динамических режимов и различных нештатных ситуаций.

В статике близость модели к реальным режимам может быть задана относительно известных нормальных значений технологических

параметров (эти значения либо определены в технологическом регламенте, либо берутся из опыта управления агрегатом). В динамике же приходится прибегать к экспертным оценкам специалистов, особенно при формулировании требований к поведению моделируемого объекта в не встречавшихся ранее на практике нештатных и аварийных ситуациях.

О задании точностной трубки относительно «номинальной» траектории говорить приходится очень редко, поскольку такие траектории определены только для ничтожно малого числа возможных динамических переходов. Получить эти траектории из реального опыта управления технологическим процессом также невозможно как из-за их огромного количества, так и вследствие их принципиальной невоспроизводимости на практике. В этой ситуации остается единственный выход – опереться на представления экспертов (опытных операторов, технологов) о том, какими должны быть динамические реакции моделируемого технологического процесса на различные изменения внутренних и внешних возмущений. Для динамического режима возможно в ряде случаев требовать не точности воспроизведения, а правильности реакций технологического процесса, поскольку именно в таких терминах рассуждает эксперт. Вместе с тем, корректное поведение модели в разнообразных динамических условиях – важнейшее требование к компьютерным тренажерам, и уже на стадии анализа различных вариантов компьютерных тренажеров можно с помощью тестов рассмотреть, как в них будут реализовываться динамические модели.

Требования к моделированию системы автоматизации и интерфейса ее с оператором.

Требование использования в тренажере программного обеспечения реальной системы автоматизации в части функций контроля, управления, противоаварийной защиты и операторского интерфейса является наиболее затратной, но при этом гарантируется полная функциональность тренажера и конкретного АСУТП. При более дешевой, приближенной, полной или частичной эмуляции системы автоматизации должен быть обеспечен необходимый для целей тренинга уровень подобия среды управления на реальном рабочем месте и в тренажере. Для этого в тренажере должны быть воспроизведены технологические экраны, исторические тренды, тревожные и аварийные сообщения на мониторе рабочей станции оператора; панели управления и функциональные клавиатуры; другие компоненты реальной АСУТП.

Требования к автоматической оценке эффективности действий обучаемого оператора при его работе на тренажере.

Автоматическая оценка работы обучаемого оператора может быть

двух типов:

- оценка действий оператора при наступлении непредвиденных возмущений или при переводе моделируемого технологического процесса из одного режима в другой по разработанным правилам решения задачи. При этом в тренажере выделяются показатели процесса, каждому из которых присваивается индивидуальная оценка, составляющая часть общей оценки за исполнение задачи. Как правило, используются методы оценки по способности удерживать процесс в рабочих пределах в различных технологических обстоятельствах, по способности привести показатель к определенному целевому значению за указанный интервал времени) и по способности поддерживать заданную идеальную траекторию, не выходя за пределы допустимого диапазона;

- оценка эффективности операторского управления в форме текущих и интегрированных на заданном интервале времени значений заданного критерия.

Требования к различным вариантам проведения тренинга и функциям инструктора при его проведении.

Возможности инструктора, определяющие широту методического обеспечения тренинга, оставляют большой простор для выбора. Конечно, некоторый набор инструкторских опций должен быть обеспечен. Среди них в требованиях обязательно должно быть отмечено:

- запоминание динамических состояний («моментальных снимков») технологического процесса и инициализация их в произвольный момент в качестве нового начального состояния тренажерной модели;

- реализация разнообразных вмешательств инструктора в ход моделируемого технологического процесса (одномоментных и организованных в виде запоминаемых и редактируемых сценариев);

- протоколирование всех событий тренинга (действий оператора, вмешательств инструктора, сообщений системы тревожных сообщений и пр.);

- приостановка/запуск/ускорение/замедление моделирования и др.

Требования к технической и программной структуре тренажера, возможностям ее модификации и расширения.

Следует указать желаемый вариант технической структуры компьютерного тренажера (обычно, клиент-серверная структура). Технические требования должны также содержать желаемое количество инструкторских и операторских рабочих мест (включая рабочие места полевых операторов и операторов-обходчиков). Целесообразен запрос о возможности реализации операторских станций в виде тонких клиентов. Естественно, что число и характеристики серверов не могут быть определены в технических требованиях, поскольку они могут быть оценены

разработчиком только на основе заданного объема моделирования. Отдельно может быть сформулировано требование о включении в тренажерный комплекс программного обеспечения конкретной системы автоматизации вместо ее эмуляции. Важно запросить возможности модификации и расширения моделей технологических процессов и системы управления, расширения функций инструктора, увеличения числа операторских мест в тренажерном комплексе.

Требования к эргономике тренажерного комплекса.

В зависимости от желаемого расположения (в учебном классе или на самом технологическом агрегате) заказчик должен определить условия развертывания тренажера – характеристики помещения (размер, цветовое решение, освещение, температурный и воздушный режим, ограничения по шуму, вибрации и статическому электричеству), рабочих мест операторов и инструкторов (характеристики дисплеев, параметры пространства для письма, стульев), наличие демонстрационного и коммуникационного оборудования (проекторов, LCD-панелей, телефона, и пр.).

Требования к обучению инструкторов работе с тренажером.

Необходимо определить продолжительность, принципиальный состав и максимально возможное число участников инструкторских курсов (как и курсов сопровождения компьютерного тренажера).

24.4. Источники эффективности применения компьютерного тренажера

Ниже приведены основные факторы эффективности компьютерного тренажера.

Нормативные факторы:

- компьютерные тренажеры представляют собой эффективное средство сертификации технологических агрегатов по сложности управления режимами их работы. Моделирование различных режимов работы этих агрегатов и возможных методов контроля и управления ими позволяет обосновать возможность реализации режимови уровень сложности управления агрегатом;

- компьютерный тренажер является инструментом оценки профессионального уровня действующих операторов. Проверка работы операторов на компьютерных тренажерах может служить средством сертификации операторов технологических процессов - как при регулярной тарификации, так и при обыкновенном допуске к работе после длительного перерыва.

Факторы повышения безопасности работы агрегатов:

- на компьютерных тренажерах операторы практикуются в

рациональной компенсации различных, предаварийных и аварийных ситуаций, что позволяет снизить частоту их возникновения из-за человеческого фактора и снизить ущерб при их возникновении ввиду рациональных компенсирующих воздействий. Тренажер позволяет воспроизводить аварии, имевшие место на агрегатах данного типа; демонстрировать возможные последствия аварий; использовать компьютерный тренажер в режиме реального времени для отработки действий оператора по локализации и ликвидации реальных аварий;

- компьютерный тренинг помогает операторам предотвращать или минимизировать вредные выбросы с управляемых агрегатов, поскольку они обучаются диагностике и компенсации экологически опасных ситуаций;

Факторы повышения квалификации операторов:

- компьютерные тренажеры незаменимы для обучения операторов, выработки и закрепления навыков рационального управления, правильной реакции при возникновении нештатных и аварийных ситуаций;

- компьютерный тренажер может сформировать опыт работы оператора в условиях “ненаблюдаемых” в реальности по соображениям безопасности или экономии средств ситуаций, которые весьма редки на практике, а их наступление застигают оператора врасплох;

- при внедрении новых технологических агрегатов компьютерный тренажер является наиболее быстрым и эффективным средством обучения операторов, причем он может использоваться даже в режиме усвоения моторных навыков управления.

Факторы повышения эффективности работы агрегатов:

- компьютерный тренажер может использоваться для анализа технологического процесса. С его помощью исследуются режимы работы процесса в разнообразных условиях; проверяется работа системы автоматизации; проводится предварительная проверка и настройка системы управления процессом;

- применение компьютерного тренажера ускоряет и делает более безопасным и эффективным пуск нового технологического процесса за счет априорного усвоения операторами особенностей функционирования процесса;

- на тренажерной модели технологического процесса могут проверяться и верифицироваться самые разнообразные методы и процедуры управления процессом (пуском и остановом, изменением требований к режимам, нештатными ситуациями), что способствует достижению различных целей: снижению потребления энергии, уменьшению потерь и выпуска некачественной продукции.

Социально-организационные факторы:

- компьютерный тренажер – эффективное средство повышения профессионализма и надежности работы операторов за счет развития и закрепления их навыков и умений, что, несомненно, следует рассматривать как важный социальный фактор, не говоря уже о чисто экономической выгоде повышения надежности управления;

- компьютерный тренажер является весьма простым и удобным средством приобретения знаний о данном технологическом процессе и способе его контроля и управления для персонала производства, косвенно связанных с работой этого агрегата (для технологов, диспетчеров, экономистов, плановиков, энергетиков и др.).

Глава 25. Повышение квалификации персонала КИПиА по выбору и обслуживанию средств и систем автоматизации

На многих российских предприятиях наблюдается недостаточная квалификация персонала КИПиА (служб контрольно-измерительных приборов и систем автоматизации) для эффективного обслуживания современных средств и систем автоматизации производственных объектов. Полностью отсутствуют обязательные способы повышения квалификации персонала КИПиА предприятий разных отраслей. Практически разрушена система их профессиональной подготовки.

Разрыв между существующей квалификацией персонала служб КИПиА на предприятиях и той квалификацией, которая необходима для того, чтобы рационально выбирать современные средства и системы автоматизации, контролировать их проектирование, руководить их внедрением, реализовывать их эффективную эксплуатацию в последние годы становится все более ошутимым.

Целый ряд объективных обстоятельств способствовал появлению этого разрыва и приводит к его росту в последние годы:

- все более усложняющиеся средства и системы автоматизации и все более частая их модификация, что повышает требования к квалификации эксплуатирующего и обслуживающего их персонала, а также предусматривает необходимость непрерывного слежения заказчиков систем за текущим состоянием данного рынка;

- практическое отсутствие каких-либо способов периодического, объективного обновления знаний у инженерного персонала КИПиА; в частности, из-за того, что еще в начале 90-х годов прекратили существование отраслевые курсы повышения квалификации персонала КИПиА предприятий, а новые курсы никем не организовывались и не организуются;

- сведения о новых современных программных и технических

средствах отдельных производителей заводской персонал получает лишь на выставках, на конференциях и на организуемых производителями презентациях своей продукции (частично эти сведения публикуются и в соответствующих журналах, но их можно не учитывать из-за мизерных тиражей и полного отсутствия внимания к ним предприятий). Однако все указанные сведения являются достаточно отрывочными, носят заведомо рекламный, недостаточно объективный характер, не позволяют составить целостную картину современного рынка автоматизации и, тем более, не содержат сопоставительных данных, специфических характеристик средств и систем различных классов, их целесообразных областей применения и рационального обслуживания.

Последствия этого разрыва для работников, заказывающих, организующих и эксплуатирующих средства и системы автоматизации производства, проявляются в ряде недоработок при их построении и применении:

- в неправильных и несовременных решениях в области расширения и углубления имеющихся систем автоматизации производства (в частности, в формировании недостаточно конкретных и качественных, а также далеко не полных по содержанию технических требований на АСУТП);

- в неэффективном планировании мероприятий по дальнейшей автоматизации производства (в частности, в создаваемых недостаточно грамотных и перспективных концепциях повышения уровня автоматизации и не обоснованной экономически необходимой последовательности внедрения отдельных систем автоматизации);

- в неполном использовании возможностей современных средств автоматизации (в частности, в отсутствии внимания к наблюдаемой деградации АСУТП и к необходимым мерам по ее предотвращению).

Последнее время наблюдаемый недостаток квалификации инженерного персонала КИПиА стал замечаться и руководством некоторых крупных предприятий и их объединений (холдингов), которые стали более внимательно относиться к развитию автоматизации на производстве, поскольку ее рациональное расширение и углубление реализуемых ею функций может существенно увеличить конкурентоспособность выпускаемой продукции.

Ниже обсуждается целесообразный в современных условиях способ стажировки сотрудников КИПиА предприятий технологических отраслей, требуемый для периодического повышения их квалификации и рационального выполнения ими рабочих функций.

25.1. Организационные аспекты стажировки персонала КИПиА

Достаточно очевидным путем поддержки персонала КИПиА

предприятий на необходимом квалификационном уровне является создание (или воссоздание) специализированных отраслевых или холдинговых центров стажировки инженерного персонала КИПиА предприятий. Такие центры могут быть образованы различными соучредителями:

- крупными холдингами, в качестве самостоятельных организаций в их составе;
- кафедрами автоматизации учебных технологических университетов, в качестве отдельных подразделений;
- промышленными министерствами или их функциональными департаментами, в качестве подчиненных им организаций.

Следует подчеркнуть целесообразность организации таких центров стажировок персонала КИПиА предприятий кафедрами автоматизации учебных технологических университетов, поскольку у них большей частью имеется достаточно квалифицированный преподавательский штат; они оснащены некоторыми современными программными и техническими средствами разных производителей, используемых ими в лабораторных занятиях; их сотрудники имеют наработанные курсы автоматизации типовых процессов отраслей, для которых они готовят специалистов. Правда, при этом следует иметь в виду существенную разницу в обучении студентов и в стажировке сотрудников КИПиА предприятий определенного класса при проведении лекционных и практических занятий:

- достаточно глубокие знания в областях технологии и автоматизации своего класса предприятий и имеющийся опыт работы у сотрудников предприятий кардинально отличает их от студентов; это должно конкретно учитываться во всех лекционных и практических занятиях;
- студентам важно дать общие сведения о существующих средствах и системах автоматизации производства; сотрудникам предприятий необходимо представить характеристики новейших средств и систем автоматизации разных производителей, очертить область их рационального применения, по возможности продемонстрировать их работу;
- для студентов содержание занятий обычно базируется на имеющихся учебниках, учебных пособиях и монографиях и поэтому значительно запаздывает относительно новейших предлагаемых на рынке инноваций; содержание занятий для сотрудников предприятий должно основываться на новейших документальных материалах производителей средств и систем автоматизации, еще не вошедших не только в учебники, но и не всегда опубликованных в периодической печати. Знание характеристик, особенностей, рациональных областей применения именно новейших программных и технических средств необходимо сотрудникам служб КИПиА.

Ниже приводятся основные организационные особенности формирования и функционирования центров стажировки вне зависимости от их подчиненности:

- центр должен иметь постоянный педагогический и технический персонал и непрерывный режим функционирования, чтобы его сотрудники могли следить за новейшими разработками программных и технических средств и за соответствующими изменениями, происходящими на рынке систем автоматизации;

- стажировка в центре должна не только информировать слушателей о современных средствах, их характеристиках, отличиях продукции отдельных производителей; но и на практических примерах раскрывать особенности использования средств различных классов;

- основной персонал центра должен состоять из преподавателей - специалистов по автоматизации производства данной отрасли промышленности; из алгоритмистов и программистов, реализующих и поддерживающих программное обеспечение стендов практических занятий; из инженерных сотрудников, обслуживающих технические средства центра;

- в помещения центра должны входить лекционные аудитории и компьютерные классы практических занятий, причем последние должны быть оснащены средствами моделирования отдельных, типовых процессов контроля и управления и в них реализованы примеры рационального применения новейших средств и систем автоматизации;

- время одноразовой стажировки инженерного континента не должно превышать двух недель, чтобы минимально отрывать сотрудников предприятий от их текущей работы;

- примерно одна половина времени стажировки должна отводиться на лекционные занятия, а другая половина на ознакомление с образцами программных и технических средств разных производителей и на практические занятия по настройке и использованию отдельных средств;

- число слушателей в каждой группе не должно превышать 10-15 человек, чтобы практические занятия могли отрабатываться индивидуальной работой каждого слушателя на компьютере;

- необходимо предусмотреть проведение зачетов слушателей на заключительном этапе стажировки, что позволит объективно фиксировать усвояемость полученных знаний отдельными слушателями;

- периодичность стажировок для инженерных сотрудников отделов КИПиА предприятий целесообразно устанавливать раз в 2 года, поскольку в настоящее время этот интервал времени в среднем определяет появление на рынке новых и заметно модернизированных программных и технических средств автоматизации;

- центр ни в коем случае не должен быть рекламной площадкой отдельных производителей программных и технических средств. Это должно быть основополагающим правилом сопоставления средств разных производителей одного класса, при которых анализируются заданные производителем характеристики, области применения, стоимости средств, но не должны даваться какие-либо сравнительные оценки работы отдельных средств или мнения преподавателей о целесообразности применения средств определенных производителей. Это правило должно учитываться также при установке демонстрационных стендов и разработке практических примеров, которые не должны фокусироваться на продуктах только одной или нескольких производителей, а должны для занятий в компьютерных классах использовать программные и технические средства самых разных отечественных и зарубежных фирм;

- для расширения фронта практического ознакомления с работой отдельных средств автоматизации центром могут приобретаться стенды, средства и модельные установки у различных производителей конкретных средств (большинство производителей безвозмездно передают свои средства и модельные установки их применения, поскольку это позволяет им знакомить потенциальных заказчиков с образцами своей продукции), возможны организации презентаций выпускаемой продукции разными фирмами, полезны посещения в процессе стажировки действующих современных систем автоматизации на заводах в месте расположения центра.

Функционирование подобных центров повышения квалификации позволит предприятиям поддерживать персонал служб КИПиА на таком квалификационном уровне, который позволяет грамотно определять потребности дальнейшей автоматизации, конкретно формулировать требования к планируемым средствам и системам, рационально отбирать, внедрять и эксплуатировать средства и системы автоматизации.

25.2. Тематика лекционных занятий по изучению современных средств и систем автоматизации

Естественно, центр стажировки должен предлагать предприятиям ряд различных тем, курсов и программ стажировок, рассчитанных на отдельные специальности инженерного персонала КИПиА, на текущие потребности определенных предприятий, на требования заказчиков ознакомить слушателей с возможностями и характеристиками отдельного класса программных и/или технических средств. Все эти варианты курсов в значительной степени являются частными случаями более широких, общих курсов по теме ознакомления с современными средствами и системами автоматизации. Примерный набор тем, который может быть

охвачен в различных вариантах курсов, предлагаемых центром стажировки различным предприятиям, приводится ниже.

Тема 1. Типовые современные средства полевого уровня: датчики и измерительные комплексы различных количественных и качественных показателей, исполнительные механизмы и регулирующие органы дросселирующих и дозирующих вариантов. Их основные особенности: самодиагностика, цифровая, проводная и беспроводная связь с контроллерами, встроенность в технологическое оборудование, особенно рассматриваемых средств для систем противоаварийной защиты. Свойства, характеристики, рациональные области применения средств полевого уровня различных классов.

Тема 2. Виртуальные измерения качественных показателей материальных потоков. Методы, алгоритмы и программы статистической оценки текущих значений качественных показателей; способы настройки их параметров по лабораторным замерам искомых показателей; применение нейросетей для виртуального измерения качественных показателей.

Тема 3. Типовые сети полевого, промышленного, информационного уровней. Характеристики наиболее распространенных типовых сетей: Modbus, Profibus, Interbus, HART-протокол, Foundation Fieldbus. Агрессия информационной сети Ethernet на промышленный и полевой уровни: Industrial Ethernet, Modbus/TCP, ControlNet, ProfiNet, Foundation Fieldbus HSE. Беспроводные промышленные сети по стандарту IEEE 802.11. Беспроводные полевые сети стандарта ISA 100a, Bluetooth, ZigBee, WirelessHART и их основные параметры. Защита и надежность работы беспроводных сетей. Области применения проводных и беспроводных сетей.

Тема 4. Структура и характеристики современных промышленных контроллеров. Выпуск семейств контроллеров от нано- и микроконтроллеров на единицы входов/выходов до мощных многоядерных контроллеров на тысячи и более входов/выходов с распределением прикладных программ по различным ядрам центрального процессора контроллеров. Построение контроллеров на базе стандартных компонентов (например, сборка центральных блоков контроллера из модулей стандарта VMEbus и сборка его блоков ввода/вывода из мезонинных модулей стандарта IndustryPack). Программирование контроллеров на языках IsaGRAF и CoDeSys по стандарту IEC 61131.3.

Тема 5. Стандарты построения и эксплуатации систем противоаварийной защиты (ПАЗ). Содержание международных стандартов ПАЗ: общего стандарта IEC 61508 и базирующегося на нем и поясняющего его применение для предприятий перерабатывающих отраслей стандарта IEC 61511. Отличия большинства проектируемых и действующих

на предприятиях систем ПАЗ от предъявляемых к ним в стандартах требований. Необходимость анализа проектов систем ПАЗ и функционирующих систем ПАЗ с точки зрения требований указанных стандартов и их корректировка при выявлении не соответствия действующим требованиям.

Тема 6. Особенности, структура, состав и характеристики современных микропроцессорных распределенных систем управления. Перспективы развития распределенных систем контроля и управления производственными процессами. Структура и реализация единой операторной всего производства.

Тема 7. Новые, усовершенствованные способы и средства регулирования (Advance Process Control – APC) и области их приложения: нечеткий регулятор (FuzzyController) и его сочетание с ПИД регулятором; использование нейрорегулятора, субоптимальное регулирование на базе предикт-контроллера,. Два класса предикт-контроллеров: многосвязные предикт-контроллеры, заменяющие ПИД регуляторы и управляющие несколькими взаимосвязанными величинами; многопараметрические предикт-контроллеры, являющиеся надстройкой над ПИД регуляторами и управляющие десятками режимных величин управляемого объекта. Методы построения и внедрения указанных средств регулирования, их характеристики, четкие границы целесообразного использования.

Тема 8. SCADA программы и их современное развитие. Работа SCADA программы под различными операционными системами. Открытость SCADA программы к различным прикладным программным пакетам. Поддерживаемые протоколы связи. Проектирование динамических информационных объектов на экране монитора оператора на основе имеющейся библиотеки заготовок без программирования. Эмуляция объекта при отладке SCADA программы. Расширение функций SCADA программы на области обслуживания контроллеров и на информационную платформу MES. Новые, перспективные способы представления информации оператору.

Тема 9. Комплексная автоматизация производственных служб – методы построения и эксплуатации систем класса MES. Стандарт – ISA-95 “Enterprise Control System Integration”, определяющий основные положения разработки MES и его применение для класса технологических производств. Типовой состав систем класса MES, взаимосвязи отдельных систем и их связи с АСУТП. Функции отдельных систем класса MES, их зависимости от полноты и качества исходных данных, получаемых от всех АСУТП производства. Особенности разработки и внедрения систем класса MES на российских предприятиях.

Тема 10. Системы технического обслуживания и ремонта

оборудования (ТОиР), иначе называемые также системами управления основными фондами предприятия (ЕАМ-системы). Их оснащение средствами текущего, автоматического мониторинга и прогнозирования состояния отдельных единиц оборудования технологических агрегатов. Анализ методов и средств автоматизированной оценки текущего состояния оборудования, анализа и прогнозирования его износа. Функции систем ТОиР. Способы рационального планирования и проведения ремонтов. Особенности применения систем ТОиР на российских предприятиях.

Тема 11. Автоматизированные системы оперативного диспетчерского контроля и управления (АСОДУ) электро- и теплоресурсов предприятия, реализующие, в том числе, оперативный контроль и учет энергоресурсов как по отдельным энергетическим объектам, так и по отдельным технологическим агрегатам. Структура, состав и функции систем. Их взаимосвязи с АСУТП различных производственных объектов. Расчет баланса энергоресурсов, определение потерь и мест их возникновения. Требования к системе энергоменеджмента отдельных цехов и технологических агрегатов. Особенности построения АСОДУ электро- и теплоресурсов на предприятиях технологических отраслей, обеспечивающие их экономически эффективное функционирование.

Тема 12. Лабораторная информационно-управляющая система (ЛИМС). Типовой состав функций ЛИМС и их программная и техническая структура. Требования к лаборатории от отдельных технологических агрегатов по точности, частоте и времени анализа качественных показателей их входных и выходных материальных потоков. Формирование лабораторией контрольных карт, определяющих стабильность поддержания АСУТП заданных режимов работы технологических агрегатов. Особенности отбора проб для анализов в отдельных технологических агрегатах и их влияние на точность контроля качества продукции. Выбор и основные черты внедрения ЛИМС на конкретном предприятии.

Тема 13. Метод проведения объективных тендеров (конкурсов) на средства и системы автоматизации технологических агрегатов. Состав, особенности, конкретные свойства основной части конкурсной документации - технических требований на средства/системы автоматизации и на работы по их проектированию и внедрению. Выбор критериев оценки конкурсных предложений, их содержательная интерпретация и ранжировка по важности. Особенности формирования экспертной группы по оценке представленных на тендер предложений. Проведение экспертизы предложений экспертной группой способом автоматического решения задачи многокритериального выбора.

Тема 14. Методы оценки эффективности планируемой, внедряемой

и функционирующей системы автоматизации. Различные составляющие эффективности автоматизации: экономическая, техническая, социальная, экологическая компоненты. Организация промышленного эксперимента по выявлению исходных данных для расчета эффекта. Методы оценки изменений производственных показателей от внедрения средств/систем автоматизации. Методика расчета экономической эффективности систем автоматизации на разных этапах их проектирования, внедрения, функционирования. Определение основной оценки экономической составляющей эффективности – интегрального дисконтированного экономического эффекта (чистого дисконтированного дохода) от работы системы за все время ее разработки, внедрения, эксплуатации. Роль срока окупаемости при оценке экономической эффективности.

Тема 15. Компьютерные обучение и тренинг операторов АСУТП. Варианты создания, структуры и функционирования компьютерных тренажерных центров для обучения, тренинга, повышения квалификации, сертификации операторов, поддержки их навыков по управляющим воздействиям при появлении специфических нештатных и аварийных ситуаций. Программный и технический состав тренажерного класса. Варианты моделей технологических процессов, используемых для тренинга операторов. Особенности отдельных курсов по обучению и по тренингу операторов и периодичности их проведения.

Тема 16. Организационные и административные методы сопровождения систем автоматизации, обеспечивающие их эффективную эксплуатацию. Основы разработанной в США системы административного управления предприятием (Administrative Management System): организационного управления производством, охватывающего построение рациональной структуры управления, необходимую конкретизацию содержания нормативов и должностных инструкций; административного управления персоналом производства, включающего, в частности, необходимые методы стимулирования персонала и поддержания его необходимой квалификации. Нормативы рационального использования систем автоматизации, переработка должностных инструкций персонала, работающего с системами автоматизации. Мотивация персонала за правильную эксплуатацию систем автоматизации и эффективное их применение. Связь стимулов работы операторов отдельного агрегата с критериями рационального функционирования управляемой ими системы автоматизации.

Общее число лекционных занятий – примерно до 40 часов.

25.3. Тематика практических занятий по изучению современных средств и систем автоматизации

Естественно, каждый центр стажировки должен иметь свой периодически обновляемый набор демонстрационных стендов различных средств; презентаций новых разработок отдельных производителей; модельных примеров внедрения и использования средств и систем определенного типа. Важно при этом иметь в виду, что для слушателей анализ на конкретных, практических примерах нужен в первую очередь для наиболее актуальных, современных, эффективных задач автоматизации производства.

Ниже приведена, в качестве примеров, небольшая часть возможных практических занятий с указанием их использования слушателями.

Пример №1 по теме 1. На установке, демонстрирующей связь ряда беспроводных датчиков с контроллером, просмотреть надежность их соединения при наличии различных радиопомех, помех от различных препятствий, расстояний между датчиками и контроллерами. Оценить рациональную область их применения в конкретных условиях.

Пример №1 по теме 2. На установке, моделирующей стохастическую, линейную связь ряда непрерывно измеряемых величин с искомым качественным показателем, измеряемым через отдельные интервалы времени, провести отбор регрессоров и настроить по прилагаемой методике коэффициенты линейного уравнения регрессии, реализующего виртуальное измерение искомого показателя.

Пример №1 по теме 5. На модели объекта, являющегося звеном первого порядка с запаздыванием, рассмотреть работу ПИД регулятора при различных действующих на объект стохастических возмущениях и возникающих во времени достаточно существенных изменениях параметров объекта, нарушающих заданную точность регулирования. Использовать в процессе регулирования типовые алгоритмы самонастройки и адаптации параметров регулятора; настраивать амплитуду их воздействий на объект с тем, чтобы не нарушать заданный режим работы объекта и, одновременно, за достаточно короткий интервал времени оценивать необходимые для подстройки регулятора изменившиеся параметры объекта.

Пример №2 по теме 5. На модели объекта, состоящего из двух взаимосвязанных звеньев первого порядка, просмотреть и отработать аналогично предыдущему пункту, применение алгоритма самонастройки связанных систем ПИД регулирования.

Пример №3 по теме 5. На модели объекта, аналогичного предыдущему пункту, но с добавочной сигнализацией о достижении регулирующим органом крайних положений, продемонстрировать и

проанализировать функционирование системы автоматического мониторинга работы системы регулирования и фиксацию ею всех нарушений в поведении последней.

Подобное формирование примеров практических занятий может быть произведено и по другим темам, обсуждаемым в процессе стажировки. Необходимо отметить, что построение любых практических занятий должно иметь целью конкретизацию лекционного материала и анализ способов использования описанных средств и систем автоматизации в реальных производственных условиях.

Общее время практического ознакомления с конкретными средствами и системами автоматизации разных классов, с их внедрением, настройкой и эксплуатацией – примерно до 40 часов.

25.4. Принципиальные положения функционирования центра стажировки

Ведущий персонал центра стажировки должен быть достаточно авторитетен в части автоматизации производства предприятий определенных отраслей. Для этого особо тщательно должны соблюдаться ранее приведенные принципиальные положения функционирования центров стажировки инженерного персонала КИПиА предприятий, важнейшие из которых подчеркнуты ниже:

- сотрудники центра не должны быть в какой-либо прямой или косвенной зависимости от любого поставщика продукции и услуг на рынке автоматизации;

- в процессе стажировки не допускается рекламирование любых производителей, системных интеграторов, проектных, монтажных и наладочных организаций;

- в практических примерах, в демонстрационных стендах, в презентациях желательно рассмотрение однотипной продукции разных производителей;

- преподавательский персонал центра должен непрерывно отслеживать развитие рынка автоматизации и вносить необходимые коррективы в соответствующие лекционные и практические занятия.

При соблюдении этих положений центры могут расширить функциональный состав предлагаемых предприятиям услуг и дополнительно начать объективную, экспертную и консалтинговую деятельность по анализу работы действующих на предприятиях систем автоматизации, по их рациональной модернизации или обновлению, по развитию автоматизации производства и экономической и технической целесообразности приобретения современных программных и технических средств и систем автоматизации.

Четвертая часть

Перспективные методы автоматизации работы технологических агрегатов

Общие положения

Подавляющее большинство подразделений предприятия базирует свою деятельность на получаемой оперативной информации о работе производства, которая в значительной части является обработанной текущей информацией о работе технологических агрегатов. При этом полнота, точность и достоверность фиксации текущего состояния технологических процессов непосредственно влияет на качество принимаемых ими решений по их управлению. Вся информация о работе агрегатов может быть подразделена на две части: подробные данные текущего протекания в них технологических процессов, которые необходимы операторам этих агрегатов, и обобщенные данные об оперативной работе агрегатов (ключевые показатели эффективности их работы), которые необходимы руководству и большинству служб производства, поскольку эти обобщенные данные фиксируют ход выполнения плана и выделяют все оперативные обстоятельства отдельных участков производства, влияющие на производительность, качество и себестоимость продукции, которые требуют внимания дирекции предприятия и руководителей служб производства для принятия оперативных, рациональных управляющих решений.

Наименования измеряемых, контролируемых и учитываемых данных, которые использует система автоматизации агрегата и его операторы достаточно специфичны для каждого производственного процесса и каждого агрегата.

Естественно, что каждое предприятие также имеет свою специфику в определении того, какие из текущих показателей контроля и учета работы технологических агрегатов и других производственных объектов следует включить в комплекс ключевых показателей эффективности, но есть перечень показателей, которые являются важнейшими для производств любого типа, и он, большей частью, с некоторыми добавлениями и/или сокращениями может считаться типовым перечнем ключевых показателей эффективности. Ниже представлен такой типовой перечень:

- массы (объемы) поступивших в агрегат сырьевых компонентов за заданный интервал времени и их соотношение с планом/графиком поступления сырья;
- производительность технологического агрегата по отдельным видам его продукции за заданный интервал времени;
- соотношение «план-факт» по производительности агрегата за

заданный интервал времени;

- запасы материальных компонентов в взаимосвязанных с агрегатом хранилищах на конец заданного интервала времени и их изменение за прошедший интервал;

- выявленные в течение заданного интервала времени сверхнормативные материальные и энергетические потери в агрегате и прилегающих к нему производственных объектах;

- удельные расходы различных энергоресурсов на выпущенную агрегатом продукцию в заданном интервале времени и их соотношение с имеющимися нормативами;

- качественные показатели сырьевых компонентов агрегата и его продукции, если они выходят за пределы установленных норм или если они экономически неоправданно превышают заданные нормы за заданный интервал времени;

- сведения о неисправностях и остановках основного оборудования, влияющего на нормальный ход производства в течение заданного интервала времени;

- затруднения с обеспечением нормальной работы агрегата энергетическими ресурсами, которые сказались на его производительности в заданном интервале времени;

- возникновение любых нештатных или аварийных ситуаций, требующих вмешательства и решений руководства предприятия.

Периодические отчеты (сменные, суточные, иногда часовые) со значениями ключевых показателей эффективности работы технологического агрегата формируются по заданным формам, сохраняются в базе данных сервера АСУТП и предоставляются периодически или по запросам пользователей, имеющим к ним доступ. Те полученные значения показателей, которые требуют немедленной реакции руководства, должны, сразу по их получению передаваться через Internet на мобильные устройства соответствующих пользователей, вне зависимости от их местоположения.

Последние годы значительно повысились требования к текущему контролю и учету хода производства; причем особенное внимание начало уделяться полноте контроля и учета работы технологических агрегатов, поскольку достоверность, точность и оперативность фиксации всех аспектов текущего состояния технологического процесса непосредственно влияет на качество его управления, к которому с годами предъявляют все более жесткие требования.

Если полная оперативная информация о текущем состоянии каждого технологического агрегата необходима его операторам, а важнейшая

ее часть используется руководством и технологом соответствующего цеха, то обобщенные интегрированные сведения о его текущей работе должны включаться в общую систему контроля и учета текущего хода производства, на которой и базируются распоряжения диспетчера производства, и формируются ежедневные управляющие решения дирекции и руководителей разных подразделений и служб предприятия.

Практически, при отсутствии такой общей системы контроля и учета работы производства, работникам разных подразделений предприятия ежедневно для принятия решений приходится производить отбор и анализ большого объема данных, получаемых как через информационные сети от разнородных систем контроля и учета, так и через телефонную связь от персонала разных подразделений. Эти данные присутствуют в различных не связанных между собой приложениях, отличающихся по составу и форме их выдачи; зачастую в них приводится не стыкующаяся или даже противоречивая информация. Все это значительно осложняет работу руководства и производственных служб и сказывается на оперативности и качестве принимаемых ими управляющих решений.

Указанные обстоятельства обусловили повышенное внимание руководства предприятий к построению общей, единой автоматизированной системы контроля и учета работы производства и к расчету ключевых показателей эффективности работы производства, поскольку в него входят важнейшие текущие показатели работы всех его технологических агрегатов. Эти показатели фиксируют ход выполнения плана предприятия и выделяют все оперативные обстоятельства, влияющие на производительность, качество и себестоимость продукции, которые требуют внимания дирекции предприятия и руководителей его служб для принятия оперативных, рациональных управляющих решений.

В данном разделе рассматриваются перспективные методы и алгоритмы контроля и учета работы технологических агрегатов и связанных с ними участков производства, которые дополняют и уточняют повсеместно используемые способы их измерения, контроля и учета (см. главу 8). Они играют важную роль в полноценном информировании оператора о текущем состоянии технологического процесса и являются значимой частью формируемых ключевых показателей эффективности работы технологического агрегата.

Глава 26. Вычислительные способы учета расходов материальных потоков

Любые передаваемые по путепроводам (трубопроводам или транспортерам) материальные потоки, одной границей которых является рассматриваемый технологический агрегат, имеют другой границей следующие варианты производственных переделов:

- хранилище (склад, силос, резервуар), из которого в агрегат поступает поток или в которое поток поступает из агрегата;
- узел транспортной сети производства, в котором выходящий из агрегата поток смешивается с другим потоком.

Обычное определение учета (суммарного расхода за заданный интервал времени) материального потока производится расходомером или весами в соответствующем путепроводе, в которые заложен интегратор (счетчик) измеренных мгновенных значений расхода, производящий непрерывное суммирование текущего расхода и по разности значений перемещенных масс в моменты начала и конца заданного интервала времени определяет искомое учетное значение расхода.

Непосредственное измерение учетного значения расхода производственного потока.

Погрешность прибора, выдающего суммарное значение расхода нарастающим итогом во времени, задается в паспорте его классом точности, который для большинства рассматриваемых типов приборов определяет диапазон максимально допустимой относительной погрешности прибора, выраженной в процентах от измеренного значения. Поскольку наиболее распространенной характеристикой точности полученного значения \bar{X} является его среднеквадратичная погрешность измерения – σ_x , то далее она используется как показатель точности измерения. Ввиду этого необходим перевод паспортного класса точности прибора в его среднеквадратичную погрешность измерения.

Приблизленно класс точности прибора – A определяет случайную составляющую погрешности, поскольку систематическая составляющая погрешности при нормальной работе прибора, реализуемой его необходимой метрологической поверкой и периодической калибровкой, близка к нулю. Перевод значения класса точности прибора A в максимально возможную, при имеющемся классе точности прибора, абсолютную погрешность измерения – Δ может быть проведен по следующей формуле:

$$\Delta = 10^{-2} A \bar{X},$$

где \bar{X} – значение измеряемой прибором величины (в нашем случае

это суммарное значение расхода за заданный интервал времени).

Это значит, что истинное значение величины X лежит в диапазоне $\tilde{X} - \Delta \leq X \leq \tilde{X} + \Delta$.

Среднеквадратичная погрешность измерения величины $X - \sigma_x$, при принимаемом обычно условии нормального распределения погрешности измерения, оценивается известным выражением

$$\sigma_x = \Delta / 3 = \left(\frac{10^{-2}}{3} A \right) \tilde{X}.$$

Существуют варианты автоматических расчетов текущего учета расхода отдельного **не измеряемого** материального потока за определенный интервал времени:

- вычислением учета одного из материальных потоков технологического агрегата по балансному уравнению учета всех потоков данного агрегата;

- вычислением учета материального потока, заполняющего/опорожняющего хранилище, по изменению массы принятого/отпущенного хранилищем материала за заданный интервал времени или за время перемещения материала;

- вычислением расхода одного из потоков участка транспортной сети алгебраическим суммированием расходных значений измеряемых остальных потоков данного участка сети и расчетом его учета за заданный интервал времени последующим интегрированием вычисленных дискретных расходных значений.

Ниже кратко раскрываются указанные варианты вычисления учета расхода искомого материального потока. В приведенных вариантах предполагается, что не измеряемые потери отсутствуют и используемые при вычислении искомого материального потока измеряемые значения других потоков получены от исправных приборов, погрешность измерения которых соответствует их заявленному классу точности.

26.1. Учет расхода материального потока агрегата по балансному уравнению всех потоков агрегата

Ограничим рассматриваемый в агрегате технологический процесс некоторыми условиями, которые выполняются в подавляющем большинстве практических приложений:

- масса материала, находящегося в самом агрегате, примерно постоянна во времени;

- преобразование входящих сырьевых компонентов в выходные продукты не ведет к изменению их физического состояния.

Учет расходов всех его материальных потоков, проводимых за интервал времени Δt , должен значительно превосходить время всех переходных режимов технологического процесса, что позволяет

пренебречь динамикой технологического процесса в агрегате. Для подавляющего большинства технологических процессов такой интервал времени заведомо меньше смены. Для этих учетных значений справедливо следующее балансовое уравнение:

$$\sum_{i=1}^{i=n} x_i(\Delta t) - \sum_{j=1}^{j=m} y_j(\Delta t) = 0,$$

где $x_i(\Delta t)$ - значение учета i -ого входного (сырьевого) потока за интервал времени Δt при общем числе сырьевых потоков n ,

$y_j(\Delta t)$ - значение учета j -ого выходного (продуктового) потока за интервал времени Δt при общем числе продуктовых потоков m .

Отсюда непосредственно следует, что суммарный расход (учетное значение) за время Δt одного сырьевого или продуктового потока можно вычислить по уравнению баланса для рассматриваемого агрегата. Так, например, учетное значение m -ого продуктового потока за интервал Δt определяется равенством:

$$y_m(\Delta t) = \sum_{i=1}^{i=n} x_i(\Delta t) - \sum_{j=1}^{j=m-1} y_j(\Delta t).$$

Если среднеквадратичная погрешность измерения суммарного расхода i -ого входного (сырьевого) потока за интервал времени Δt есть $\sigma_i(\Delta t)$ при $i=1 \dots n$, а среднеквадратичная погрешность измерения суммарного расхода j -ого выходного (продуктового) потока за интервал времени Δt есть $\sigma_j(\Delta t)$ при $j=1 \dots m-1$, то среднеквадратичная погрешность вычисляемой величины $y_m(\Delta t) - \sigma_m(\Delta t)$ определяется следующим равенством:

$$\sigma_m(\Delta t) = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} \sigma_i^2(\Delta t) + \sum_{j=1}^{j=m-1} \sigma_j^2(\Delta t)}.$$

26.2. Учет расхода материального потока агрегата, заполняющего или опорожняющего хранилище

Для учета передачи материального потока из хранилища в агрегат или из агрегата в хранилище необходимо измерение следующих величин: меток времени начала и окончания перемещения материала; значения массы материала в хранилище при указанных метках времени и вычисление разности между отмеченными значениями массы материала.

Косвенная оценка суммарного расхода потока, заполняющего/опорожняющего хранилище за заданный интервал времени может производиться по алгебраической сумме суммарных за это же время расходов

остальных потоков, контактирующих с хранилищем, и изменению количества материала в хранилище за заданное время. Необходимое условие правильности этой оценки заключается в отсутствии неучтенных потоков в хранилище.

Для суммарных значений расходов входящих и выходящих потоков за время Δt справедливо следующее балансовое уравнение:

$$\sum_{i=1}^n x_i(\Delta t) + z(\Delta t) = 0,$$

где $x_i(\Delta t)$ – суммарное значение расхода i -ого входящего (со знаком +) или выходящего (со знаком -) потока за интервал времени Δt при общем числе связанных с хранилищем потоков n ,

$z(\Delta t)$ – алгебраическое значение изменения массы материала в хранилище за интервал времени Δt .

Отсюда непосредственно следует, что суммарный расход за время Δt одного потока можно вычислить по уравнению баланса для рассматриваемого хранилища. Так, например, учетное значение n -ого потока за интервал Δt определяется равенством:

$$x_n(\Delta t) = - \sum_{i=1}^{i=n-1} x_i(\Delta t) - z(\Delta t).$$

Если среднеквадратичная погрешность измерения суммарного расхода i -ого потока за интервал времени Δt есть $\sigma_i(\Delta t)$ при $i=1 \dots n-1$, а среднеквадратичная погрешность измерения изменения массы материала в хранилище за интервал времени Δt есть $\sigma_z(\Delta t)$, то среднеквадратичная погрешность вычисляемой величины $x_n(\Delta t)$ – $\sigma_n(\Delta t)$ определяется следующим равенством:

$$\sigma_n(\Delta t) = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n-1} \sigma_i^2(\Delta t) + \sigma_z^2(\Delta t)}$$

26.3. Учет расходов материальных потоков в транспортной сети продуктопроводов

Материальные потоки агрегатов поступают в разветвленную транспортную сеть материальных продуктов производства, состоящую из совокупности узлов типа перекрестия материальных потоков, которыми могут быть любые объекты, масса материалов в которых пренебрежимо мала (например, поточные смесители потоков или разделители потока) и соединяющих их продуктопроводов. Участок такой сети выделен на рис. 26.1.

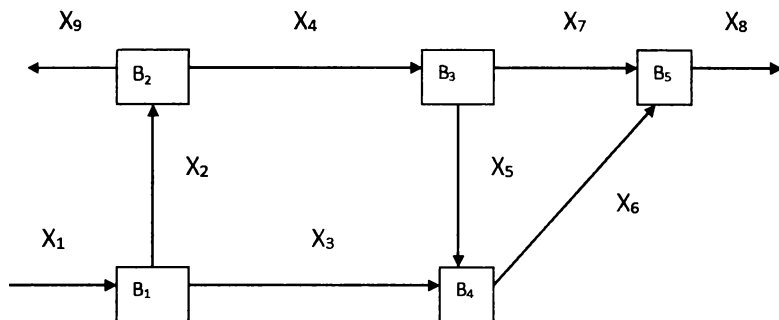


Рис. 26.1. Участок транспортной сети материальных потоков.

Обозначения:

B1.....B₅ - узлы транспортной сети;

X₁.....X₉ - транспортные линии.

Будем, в общем случае, считать, что измерители текущего расхода материала есть только у части транспортных линий; а интегрирование мгновенных расходов у измерителей, позволяющее получать от них учетные значения расхода за заданный интервал времени, отсутствует. Но при этом число и расположение имеющихся измерителей текущего расхода достаточно для вычисления расходов по всем другим линиям сети, которые не оснащены измерителями. Пусть на транспортных линиях X₁, X₃, X₆, X₇ – есть исправные, поточные измерители расходов материала, средние квадратичные погрешности измерения которых - $\sigma_1, \sigma_3, \sigma_6, \sigma_7$, а на остальных линиях их нет. Тогда, измеряя текущие значения расходов на транспортных линиях, имеющих расходомеры, - x_1, x_3, x_6, x_7 , можно все расходы материалов на остальных линиях сети и погрешности их оценок определить из следующих очевидных соотношений:

$$x_2 = x_1 - x_3,$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2};$$

$$x_5 = x_6 - x_3,$$

$$\sigma_5 = \sqrt{\sigma_6^2 + \sigma_3^2};$$

$$x_8 = x_6 + x_7,$$

$$\sigma_8 = \sqrt{\sigma_6^2 + \sigma_7^2};$$

$$x_4 = x_5 + x_7,$$

$$\sigma_4 = \sqrt{\sigma_5^2 + \sigma_7^2};$$

$$x_9 = x_2 - x_4;$$

$$\sigma_9 = \sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_4^2}.$$

Таким образом, если все четыре расходомера текущего расхода исправны и их измерения находятся в установленном для них классе точности, то в данном участке транспортной сети четырех приборов достаточно для определения текущих расходов по девяти транспортным линиям и погрешностей их оценок.

Далее учет расхода любого потока данной транспортной сети за заданный интервал времени может быть вычислен путем ступенчатой интерполяции между соседними значениями дискретных мгновенных расходов.

Также во всех других случаях, когда в производственных подразделениях используются расходомеры без интеграторов, применяется такой же способ расчета учетного значения: замеряемые мгновенные значения расхода через равные интервалы времени по сети передаются в сервер системы автоматизации, который и производит расчет учетного значения расхода за заданное время путем ступенчатой интерполяции между принятыми по сети соседними значениями дискретных мгновенных расходов. Естественно, что чем меньше будет интервал между соседними замерами расхода, тем точнее аппроксимированная кривая расхода будет соответствовать истинной кривой и тем меньше будет погрешность учетного значения.

26.4. Учет расходов материальных потоков в транспортной сети продуктопроводов с хранилищами

Определение учетных значений расходов отдельных потоков после их вхождения в общую транспортную сеть продуктопроводов и хранилищ можно рассмотреть на примере участка производственной транспортной сети, состоящей из совокупности транспортных узлов разного типа (агрегатов, хранилищ, перекрестий потоков) и соединяющих их путепроводов. Участок такой сети выделен из общей транспортной сети производства и приведен на рис. 26.2.

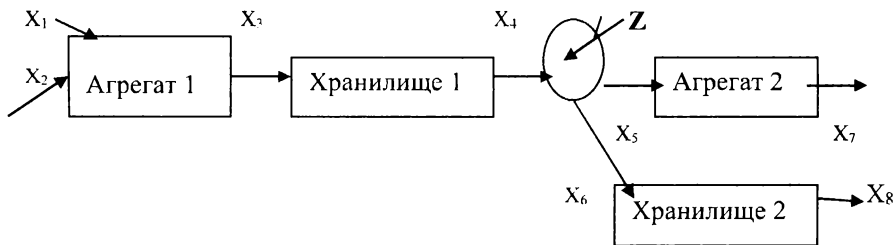


Рис.26.2. Участок общей транспортной сети производства.

Обозначения:

Z— узел - перекрестие путепроводов;

$X_1 \dots X_8$ - потоки отдельных путепроводов.

На этом участке измеряются исправными приборами суммарные

расходы потоков X_1, X_2, X_7 за заданный интервал времени и изменения количества материала в хранилищах 1 и 2 за этот же интервал времени. Ни неизвестных потерь, ни неучтенных потоков нет.

Пусть значения измеряемых суммарных потоков есть x_1, x_2, x_7 , а изменения количества материала в хранилищах за анализируемый интервал времени равны z_1, z_2 . Тогда учетные значения суммарных расходов в остальных путепроводах вычисляются из следующей системы уравнений:

$$x_3 = x_1 + x_2;$$

$$x_4 = x_3 + z_1;$$

$$x_5 = x_7;$$

$$x_6 = x_4 - x_5;$$

$$x_8 = x_6 + z_2.$$

Если среднеквадратичные погрешности измерения суммарных расходов - x_1, x_2, x_7 соответственно есть $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_7$, а измерения изменений количества материала z_1, z_2 имеют погрешности σ_9, σ_{10} , то погрешности вычисляемых учетных значений расходов определяются из указанной системы равенств:

$$\sigma_3 = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2};$$

$$\sigma_4 = \sqrt{\sigma_3^2 + \sigma_9^2};$$

$$\sigma_5 = \sigma_7;$$

$$\sigma_6 = \sqrt{\sigma_4^2 + \sigma_5^2};$$

$$\sigma_8 = \sqrt{\sigma_6^2 + \sigma_{10}^2}$$

26.5. Дублирование оценки учетного значения расхода материального потока различными независимыми способами

В наиболее ответственных случаях для уменьшения погрешности оценки и повышения ее достоверности учетное значение расхода материального потока определяется несколькими независимыми способами, причем это большей частью происходит не из-за дублирования приборов на транспортной линии потока (что является достаточно редким случаем), а естественным путем различных способов оценки учетного значения расхода потока; например, оценкой учетного значения расхода выходного потока агрегата его измерением и его вычислением по балансовым соотношениям в транспортной сети; измерением учетного значения расхода выходного потока агрегата и измерением изменения массы материала в хранилище, куда этот поток поступал. В общем

случае фиксируются две оценки одного и того же потока, отличающиеся как по значению, так и по точности этого значения.

Пусть первая оценка учета потока X_1 , получена со среднеквадратичной погрешностью σ_1 , и вторая оценка учета этого же потока X_2 , имеет среднеквадратичную погрешность σ_2 . Будем считать, что $\sigma_2 \geq \sigma_1$.

Если оценки расхода X_1 и X_2 отличаются друг от друга менее двух σ_2 , то есть диапазоны оценок в значительной части совпадают, то исходные средства, по которым получены эти оценки, исправны и соответствуют указанным классам точности, а полученные оценки можно использовать для усреднения с целью уточнения значения расхода. При этом усреднение оценок целесообразно проводить с учетом их точности, то есть рассчитывать искомое значение расхода \tilde{X} по формуле:

$$\tilde{X} = \alpha_1 X_1 + (1 - \alpha_1) X_2,$$

$$0 < \alpha_1 < 1.$$

Тогда коэффициент α_1 , обеспечивающий минимум дисперсии оценки \tilde{X} , находится из условия:

$$\min \sigma_{\tilde{X}}^2 = \alpha_1^2 \sigma_1^2 + (1 - \alpha_1)^2 \sigma_2^2,$$

$$\text{то есть } \frac{\partial \sigma_{\tilde{X}}^2}{\partial \alpha_1} = 2\alpha_1 \sigma_1^2 - 2(1 - \alpha_1) \sigma_2^2 = 0,$$

$$\text{откуда } \alpha_1 = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}.$$

$$\text{Значение искомого расхода: } \tilde{X} = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} X_1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} X_2.$$

$$\text{Дисперсия оценки } \tilde{X}: \sigma_{\tilde{X}}^2 = \left(\frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right)^2 \sigma_2^2 = \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2},$$

$$\text{а среднеквадратичная погрешность оценки } \tilde{X}: \sigma_{\tilde{X}} = \frac{\sigma_1 \sigma_2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}$$

Если при дублировании оценок показателя X , то есть при оценке показателя X двумя независимыми способами, их значения X_1 и X_2 отличаются друг от друга больше, чем на $2\sigma_2$, где $\sigma_2 \geq \sigma_1$, то истинное значение показателя с большой вероятностью не есть усредненное значение этих оценок. Такой результат сопоставления оценок свидетельствует, что либо в одну из оценок вкралась ошибка, либо одна из оценок получена от измерительных средств, которые не соответствуют

указанному в них классу точности. В любом из этих случаев требуется детальная проверка обоих способов оценки показателя и либо компенсация ошибки, либо перенастройка (или замена) тех средств, которые ответственны за имеющееся расхождение оценок. Только после нахождения неверной оценки другую оценку можно считать значением показателя X .

Глава 27. Совершенствование лабораторного контроля показателей качества продукции

На любом производстве технологического типа для точного управления агрегатами требуется знание значений текущих качественных показателей сырьевых компонентов, полуфабрикатов и конечных продуктов. Принципиально, непосредственными способами измерения значений качественных показателей являются поточные анализаторы, встроенные в транспортные линии продуктопроводов (см. 5.7), и лабораторные анализаторы, размещенные в лабораториях предприятия и периодически во времени оценивающие значения качественных показателей по отобранным из продуктопроводов пробам.

Применение поточных анализаторов на практике имеет достаточно ограниченный характер по ряду причин:

- отсутствие поточных автоматических приборов измерения многих качественных величин;
- слишком большая стоимость ряда поточных анализаторов, что превышает возможности предприятий по их приобретению;
- сложность и высокая стоимость обслуживания многих поточных анализаторов, из-за требуемой частой и дорогой их калибровки в производственных условиях, которую, в ряде случаев, еще и должна проводить посторонняя организация;
- большое транспортное запаздывание отдельных поточных анализаторов, составляющее десятки минут, что препятствует их непосредственному применению в системах регулирования технологических процессов.

Применение лабораторных анализов качества, напротив, распространено повсеместно на предприятиях любых отраслей и является основным источником оценки текущих значений показателей качества сырьевых компонентов, полуфабрикатов и конечных продуктов. Используемая периодичность лабораторных анализов различных показателей обычно находится в диапазоне примерно от четырех часов до нескольких суток. Практически, технологи цехов и операторы технологических агрегатов, которые должны корректировать технологический режим агрегата по текущим значениям соответствующих качественных

показателей, могут оценивать значение каждого показателя в любой момент времени между соседними его анализами по последнему по времени результату анализа, выданного лабораторией.

Естественно, что имеющаяся при этом погрешность оценки текущего значения показателя качества в диапазоне времени между соседними замерами зависит от частоты анализов и становится максимальной в момент, предшествующий очередному анализу. Общая погрешность складывается из погрешности анализатора и погрешности прогноза анализа на интервал времени между соседними анализами и, в подавляющем числе практических случаев, погрешностью анализатора можно пренебречь по сравнению с погрешностью прогноза значения последнего по времени анализа на время интервала между замерами. Чем чаще происходит лабораторный анализ показателя, тем меньше погрешность оценки его текущего значения и, следовательно, тем точнее могут поддерживаться заданные нормативы качества продукции при управлении технологическим процессом. Однако, комплекс существующих на практике факторов:

- технических ограничений на частоту взятия проб,
- финансовых ограничений на число и состав лабораторных анализаторов,

- организационных ограничений на лабораторный персонал –

значительно ограничивают максимально возможную частоту лабораторных анализов качества. Реально частота анализов отдельных показателей качества есть компромисс между желанием технологов и возможностями лаборатории. Разница в периодичности анализов отдельных показателей задается в допустимых для лаборатории пределах технологами, которые ранжируют показатели по важности их влияния на качество и количество выпускаемой продукции, а также ориентируются на имеющуюся опытную оценку возможной скорости изменения во времени значений отдельных показателей, ведущей к нарушению заданного качества продукции.

Ниже рассматривается способ расчета частоты проведения анализа показателя качества по заданной технологом необходимой точности его оценки в любой момент времени. Этот способ не только определяет требуемую частоту анализов отдельных показателей, но и показывает зависимость частоты их анализа от заданной точности их оценки в промежутках между анализами.

27.1. Выбор рациональной частоты проведения лабораторных анализов качественных показателей

Ход технологического процесса в любом агрегате может быть подразделен на два состояния:

- поддержание во времени определенного режима работы агрегата, который характеризуется фиксированными, неизменными требованиями на качество и количество вырабатываемой агрегатом продукции. При этом отсутствуют резкие скачкообразные внешние возмущения, нет остановок и поломок отдельных единиц основного оборудования агрегата; преобладающие низкочастотные колебания качества сырьевых компонентов находятся в заранее известной отмеченной области;

- перевод агрегата на другой режим работы, что может быть вызвано одним из следующих обстоятельств: изменением требований к качеству и количеству выпускаемой агрегатом продукции; выходу из строя отдельных единиц основного оборудования агрегата; смене состава и качества поступающих сырьевых компонентов.

Функционирование агрегата в первом состоянии может продолжаться неограниченное время, тогда как второе состояние всегда ограничено определенным интервалом времени, зависящим от динамики переходных процессов в агрегате.

Число и частота требуемых лабораторных анализов качественных показателей в переходных режимах носит внеплановый характер, зависит от вида изменения режима и не могут быть заранее просчитаны, поэтому дальнейшее изложение касается работы технологического агрегата в определенном, фиксированном, постоянном режиме работы.

При функционировании агрегата при определенном, заданном режиме работы поведение во времени каждого показателя качества близко к поведению случайного стационарного процесса, пока накопленные возмущения не вызовут изменений характеристик этого процесса (свойств его распределения), выражающихся в виде тренда его среднего значения или увеличения амплитуд его колебаний и приводящих к выходу за заданные нормативы значений данного показателя.

Рассмотрим поведение показателя качества в стабильном режиме работы агрегата, т. е. когда его характеристики постоянны и его колебания во времени можно считать случайным стационарным процессом.

На рис 27.1 и 27.2 приведены типичные фрагменты промышленных примеров поведения во времени значений качественных показателей при стабильном режиме работы агрегата, которые фиксируются лабораторными анализами с частотой 4 часа.

Основной задачей оператора и технолога является недопущение выхода качественных показателей процесса за пределы заданного им нормативного диапазона, а для этого они должны знать в любой момент времени, а не только в момент выдачи им очередных результатов анализа, значения качественных показателей с определенной точностью, чтобы предвещать ситуации их выхода за нормативный диапазон коррекцией определенных, влияющих на их поведение физических параметров технологического процесса.

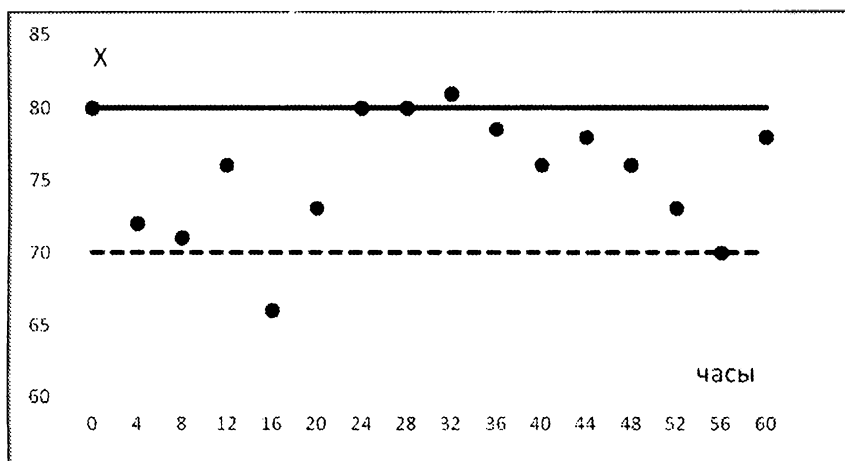


Рис.27.1. Последовательность значений лабораторных анализов качественного показателя М за 60 часов в условных единицах Х.

Обозначения:

- - оценки лабораторных анализов в условных единицах Х,
- - верхняя граница заданного норматива значений показателя М,
- - - нижняя граница заданного норматива значений показателя М.

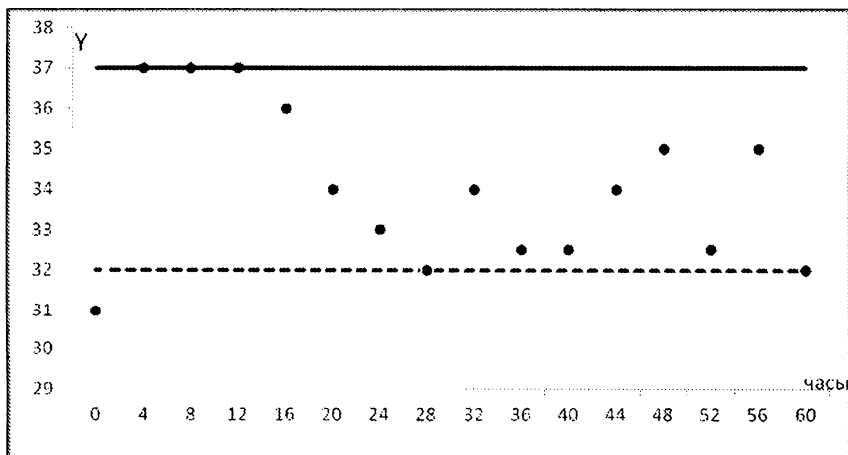


Рис. 27.2. Последовательность значений лабораторных анализов качественного показателя N за 60 часов в условных единицах Y.

Обозначения:

- - оценки лабораторных анализов в условных единицах Y,
- - верхняя граница заданного норматива значений показателя N,
- - - нижняя граница заданного норматива значений показателя N.

Рассмотренные факторы позволяют обосновать формальную процедуру вычисления необходимой частоты лабораторных анализов каждого показателя качества статистическими методами анализа: эта частота должна позволить определять с заданной технологом точностью оценку значения качества в любой момент времени из интервала между соседними, дискретными лабораторными анализами [2].

На первом этапе для каждого анализируемого показателя качества отбирается достаточно представительная выборка его значений, по которой можно определить его основную статистическую характеристику – автоковариационную функцию. В такой выборке должно содержаться порядка 60-100 последовательных значений анализов показателей качества, полученных с интервалом между последовательными анализами значительно меньшим возможного времени спада автоковариационной функции, чтобы по ним можно было бы приближенно оценить данную функцию. В силу значительной инерционности технологических процессов время спада автоковариационной функции почти всегда превосходит 30 часов, а нередко превосходит и 100 часов. Ввиду этого в подавляющем большинстве случаев для получения представительной выборки надо иметь десятисуточный или больший набор последовательных анализов показателей качества, проводимых с частотой один раз в четыре часа.

На втором этапе по полученной представительной выборке значений показателя качества вычисляются статистические характеристики поведения показателя качества во времени.

Оценка среднего значения показателя качества, которое примерно соответствует заданному оператором в данном технологическом режиме значению показателя качества:

$$m = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{n}, \quad (1)$$

где y_t - полученная оценка показателя качества в момент t ,

n - число анализов показателя качества в используемой выборке.

Оценки значений автоковариационной функции показателя качества, разделенных j числом последовательных анализов, $\text{cov}(y_t, y_{t-j})$, вычисляются по k формулам:

$$\text{cov}(y_t, y_{t-j}) = \frac{1}{n} \sum_{t=j+1}^n (y_t - m)(y_{t-j} - m), \quad \text{при } j = 0, 1, \dots, k, \quad (2)$$

где $t - j$ - последовательный номер анализа, отстоящего от

текущего анализа, выполняемого в момент t на время $t_q j$ (t_q - время между соседними анализами), k - заключительная вычисляемая точка автоковариационной функции, лежащая в окрестности ее нуля, т. е. определяющая время, при котором связь между значениями анализов становится незначительной.

Поскольку поведение во времени показателя качества считаем стационарным случайным процессом, то его корреляция между двумя анализами зависит только от интервала времени между ними, т. е. от величины сдвига j между этими анализами.

Автоковариация при нулевом интервале времени между точками:

$$\text{cov}(y_i, y_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=j+1}^n (y_i - m)^2 \text{ представляет собой дисперсию отклонений}$$

показателя качества от его среднего значения, т. е. $\text{cov}(y_i, y_i) = \sigma_y^2$,

где σ_y^2 квадрат среднеквадратичного отклонения показателя от его среднего значения.

Таким образом, поведение во времени качественного показателя в определенном заданном технологическом режиме работы агрегата определяется средним значением показателя, среднеквадратичным отклонением от него и автоковариационной функцией.

Рассчитанное время спада автоковариационной функции определяет значение интервала между соседними анализами, превышение которого указывает на отсутствие взаимосвязи между ними, т. е. при интервале между анализами превышающем время спада автоковариационной функции прогноз значения будущего анализа по его прошлым значениям невозможен и можно лишь считать, что его значение с вероятностью 95 % будет находиться примерно в пределах трех среднеквадратичных отклонений σ_y от его среднего значения.

На рис. 27.3 и 27.4 показаны вычисленные дискретные значения точек автоковариационных функций для показателей M и N , поведение которых во времени показано на рис. 27.1 и 27.2. Временной интервал

между показателями X_i и X_{i-j} (Y_i и Y_{i-j}) составляет $4j$ часов.

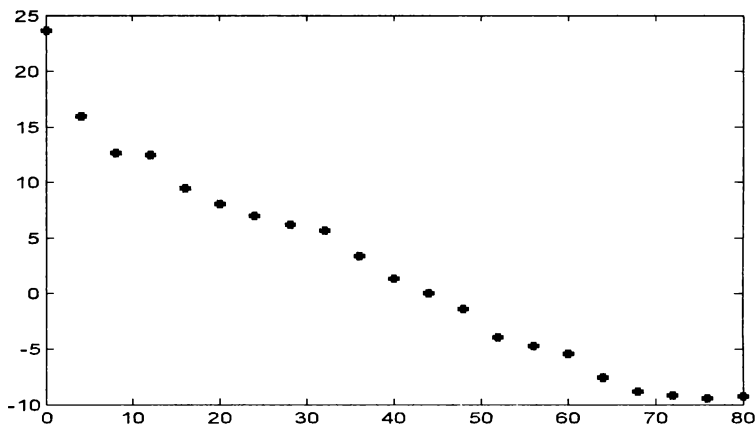


Рис.27.3. Оценки дискретных точек автоковариационной функции показателя качества М.

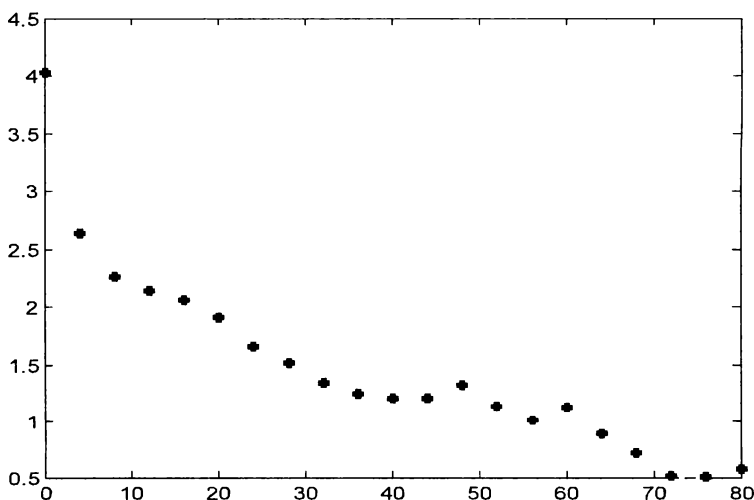


Рис.27.4. Оценки дискретных точек автоковариационной функции показателя качества N

На третьем этапе определяется точность оценки качественного показателя на интервале времени между соседними анализами при разной их частоте.

Применяемая повсеместно оценка значения качественного показателя, сделанная в любой момент времени от t до $t+1$, равна значению показателя качества в момент времени t .

$$y_{1,t+1|t} = y_t \quad (3)$$

Ошибка этого способа прогноза на момент следующего анализа:

$$e_{1,t} = y_t - y_{1,t|t-1} = y_t - y_{t-1} \quad (4)$$

Отсюда следует, что среднеквадратичная погрешность оценки показателя в интервале времени между соседними лабораторными анализами есть:

$$\sigma_{1,e} = \sqrt{2\sigma_y^2(1 - \rho_y(1))} \quad (5),$$

где $\rho_y(1)$ - коэффициент корреляции между двумя последовательными анализами.

Полученный общий результат ниже проиллюстрирован на рассмотренных примерах анализов показателей M и N .

Дисперсия отклонений качественного показателя M от среднего значения, вычисленная на основе результатов лабораторных анализов (см. значение ординаты при нулевом значении абсциссы на рис. 27.3) равна 31,63; соответственно, его среднеквадратичное отклонение от среднего (заданного) значения равно 5,62.

На рис. 27.5 представлен график изменения среднеквадратичной погрешности оценки показателя на интервале между анализами в зависимости от частоты проведения анализов: через 4 часа, через 8 часов, через 12 часов и так далее. Горизонтальная линия вверху графика обозначает уровень среднеквадратичного отклонения показателя качества M от его среднего значения- σ_M . По вертикальной оси отложены значения среднеквадратичной погрешности оценки показателя на интервале между анализами, по горизонтальной – интервалы времени между анализами в часах.

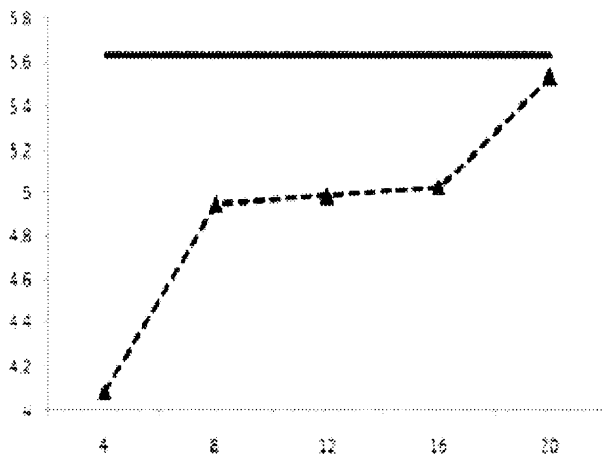


Рис.27.5. Среднеквадратичная погрешность оценки показателя M на интервале между анализами при различном временном интервале между анализами.

Обозначения:

— - уровень среднеквадратичного отклонения показателя качества M от его среднего значения;

▲ - - - среднеквадратичная погрешность оценки показателя на интервале между соседними анализами.

Автоковариационная функция показателя N спадает существенно медленнее, чем у показателя M (см рис. 27.3 и 27.4). Дисперсия отклонений качественного показателя N от среднего значения, вычисленная на основе результатов лабораторных анализов (см. значение ординаты при нулевом значении абсциссы на рис. 27.4) равна 3,63; соответственно, его среднеквадратичное отклонение от среднего (заданного) значения равно 1,9. На рис. 27.6 представлен график изменения среднеквадратичной погрешности оценки показателя на интервале между анализами, в зависимости от частоты проведения анализов: через 4 часа, через 8 часов, через 12 часов и так далее. Горизонтальная линия вверху графика обозначает уровень среднеквадратичного отклонения показателя качества N от его среднего значения. По вертикальной оси отложены значения среднеквадратичной погрешности оценки показателя на интервале между анализами, по горизонтальной – интервалы времени между анализами в часах.

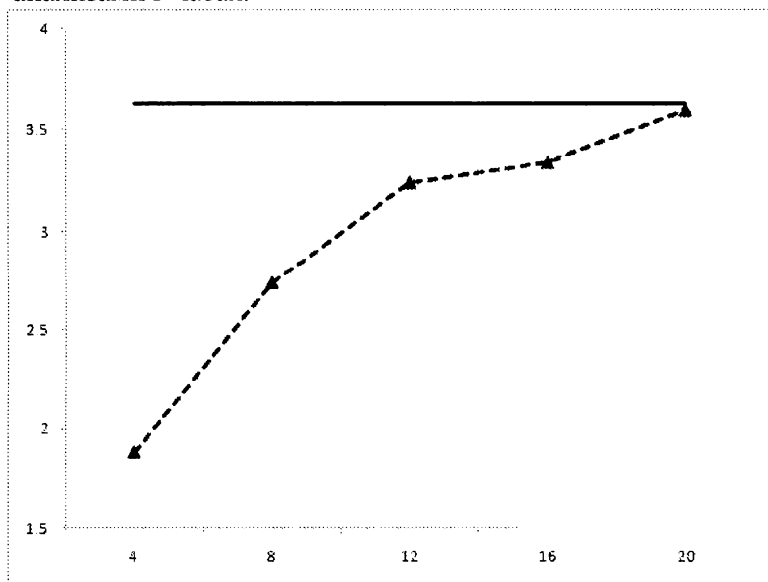


Рис 27.6. Среднеквадратичная погрешность оценки показателя N на интервале между анализами при различном временном интервале между анализами.

Обозначения:

— - уровень среднеквадратичного отклонения показателя качества N от его среднего значения;

▲ - - среднеквадратичная погрешность оценки показателя на интервале между соседними анализами.

Таким образом, определение рациональной частоты лабораторных анализов может быть реализовано следующими действиями персонала предприятия или сотрудниками привлеченной организации:

- технолог, курирующий работу соответствующего технологического агрегата, указывает примерное значение среднеквадратичной погрешности или максимальной погрешности (последняя легко переводится в среднеквадратичную погрешность), с которой ему в любой момент времени надо знать значения каждого показателя качества, анализируемого лабораторией;

- специалисты ИТ или службы автоматизации выбирают необходимую выборку анализов каждого показателя из архива лаборатории и проводят описанный выше статистический анализ выборки анализов каждого показателя;

- совместным решением руководства лаборатории и технолога фиксируется рациональная частота его анализов.

Естественно, данная процедура должна быть заново повторена при любых модификациях режима работы технологического агрегата, существенно изменяющих статистические характеристики поведения качественных показателей.

Отдельно следует отметить, что даже если лабораторные анализы качественных показателей сырьевых компонентов, полуфабрикатов, готовой продукции выполняются с рационально заданной частотой, это может не давать требуемую точность, поскольку качество анализируемого образца может отличаться от истинного качества анализируемого материала в месте отбора образца в момент времени, фиксируемый в лаборатории как момент отбора образца. Действительно, при определении качественных показателей материальных потоков особое значение имеет точная фиксация момента времени взятия (отбора) образца для анализа и привязка получаемого результата анализа именно к этому моменту времени. Только тогда можно правильно сопоставить результаты анализа имеющемуся в этот момент технологическому режиму работы агрегата. В действительности, в лаборатории фиксируется момент приезда лабораторного транспорта за образцом к месту его отбора из транспортной линии, но далеко не всегда этот момент совпадает с моментом реального взятия образца из проходящего потока. Зачастую

необходимое взятие образца проводят сами операторы технологических агрегатов из-за значительного запаздывания лабораторного транспорта, собирающего образцы по всему производству (хотя формально это может быть незаконно); при этом, если они видят по режимным показателям, что качество может не соответствовать нормативам, они произвольно сдвигают момент времени взятия образца, естественно не фиксируя это нарушение и, тем самым, нарушая точность получаемого анализа. Ввиду этого целесообразно на транспортных линиях важнейших материальных потоков, установить автоматические пробоотборники, запрограммированные на требуемые моменты времени отбора образцов. Тогда будет обеспечена заданная точность выдаваемых лабораторией результатов анализов качества материальных потоков.

При анализе качественных показателей материала, находящегося в хранилище (складе, силосе, резервуаре), достоверность и точность лабораторного анализа материала, заполняющего определенный объем хранилища определяется тем, насколько анализируемый образец отражает качество всей массы хранимого материала. Естественно, перед отбором образца материал обычно подвергается перемешиванию, однако далеко не всегда его результатом является одинаковость качества материала во всем объеме хранилища. А это не всегда и не полностью учитывается при заключении о качественных показателях материала в хранилище. Для подтверждения достоверности полученного результата анализа образца истинному качеству материала во всем хранилище целесообразно отбирать несколько образцов материала в разных точках хранилища и при совпадении результатов анализов этих образцов (в пределах класса точности проведения анализов) судить о достоверности полученной оценки качественных показателей хранимого материала, а при различии результатов анализа образцов (при разнице результатов анализов отдельных образцов, превышающих погрешность проведения этих анализов) считать необходимым продолжить процедуру перемешивания материала в хранилище.

27.2. Повышение точности оценки текущих качественных показателей по их дискретным лабораторным анализам использованием алгоритмов экстраполяции

Статистическое прогнозирование значения качественного показателя материального потока, полученного в его очередном лабораторном анализе, на момент оценки его значения в следующем по времени лабораторном анализе, позволяет точнее оценить текущее состояние непрерывного технологического процесса, вырабатывающего этот материальный поток и, следовательно, эффективнее управлять этим

процессом, не допуская его выхода за границы заданного технологического диапазона.

Если в качестве прогнозного значения показателя на момент времени получения результата следующего лабораторного анализа используется (как это повсеместно существует и рассмотрено в 27.1.) значение результата последнего по времени выполненного анализа, то такой прогноз будем называть «наивным». Если же в качестве прогнозного значения на момент времени получения результата следующего лабораторного анализа используется алгоритм экстраполяции, основанный на учете статистической взаимосвязи ряда последовательных лабораторных анализов, результат будем называть «статистическая экстраполяция».

Как было выше отмечено в 27.1, изменения во времени качественно показателя материального потока, близки случайному стационарному процессу. При этом, повсеместно, ряд последовательных лабораторных анализов качественных показателей материальных потоков в непрерывном технологическом производстве, несмотря на невысокую частоту их проведения (обычно, интервал между соседними анализами составляет от 4-х до 24-х часов), статистически взаимосвязан ввиду существенной инерционности технологических процессов, вырабатывающих материальные потоки. Это позволяет применить к такому ряду алгоритмы статистической экстраполяции, которые реализуют прогноз большей точности, чем существующий наивный прогноз. Ниже рассматриваются методы построения такого прогноза по реальным данным лабораторных анализов[3].

Пусть значения анализов, полученных до момента времени t , описываются временным рядом:

$$y_1, y_2, \dots, y_{t-1}, \dots \quad (1)$$

где $y_i, i = 1, 2, \dots$ - результаты лабораторного анализа пробы, взятой в момент времени $t = i$.

Метод статистической экстраполяции основан на описании значений указанного временного ряда моделью авторегрессии – скользящего среднего (АРСС), учитывающей наличие статистической взаимосвязи между рядом последовательных значений лабораторных анализов. В случае стационарного ряда эта модель представляется разностью двух линейных комбинаций: прошлых значений показателя и прошлых значений ошибок его прогноза на один шаг [4]. Первая линейная комбинация называется «авторегрессия» (АР), вторая - «скользящее среднее» (СС). Число членов в каждой линейной комбинации определяется свойствами статистических взаимосвязей ряда (1). Таким образом, прогноз

текущего значения ряда может быть вычислен на основе прошлых наблюдений. Поскольку на значения анализа в момент времени t влияют неконтролируемые случайные возмущения на технологический процесс, то наблюдаемое истинное значение анализа будет отличаться от его вычисленного значения прогнозом АРСС.

Усредненное значение отклонений прогноза от истинных значений анализов оценивается среднеквадратической ошибкой прогноза σ . При построении прогноза статистической экстраполяцией его параметры выбираются таким образом, чтобы σ было минимальным. Статистическая экстраполяция позволяет оценить тенденцию изменений дискретно измеряемого во времени показателя непрерывного процесса на основе значений имеющихся измерений и, в зависимости от свойств процесса, на 10-40% уменьшить среднеквадратическую ошибку прогноза по сравнению с «наивным» прогнозом. При прогнозе методом статистической экстраполяции нельзя предсказывать будущие «резкие» скачки показателя (вызванные внешними изменениями), но можно определить тенденцию его изменения и построить доверительный интервал прогноза, вероятность выхода за границы которого не превышает заданных значений.

Для одного и того же временного ряда можно построить несколько моделей, различающихся между собой числом членов, их параметрами (весами) в каждой из имеющихся линейных комбинаций, величиной среднеквадратической ошибки прогноза. Для вычисления прогноза может быть использована любая из моделей, но для получения прогноза хорошего качества следует выбирать число членов и их параметров таким образом, чтобы получить модель, наиболее точно описывающую изменения во времени рассматриваемого показателя.

Принципы статистической экстраполяции моделью авторегрессии —скользящего среднего (АРСС)

Вычисление статистического прогноза последовательности значений анализов на один шаг, т. е. на интервал времени от момента $t-1$ до момента t при известных значениях прошлых анализов для ряда (1) реализуется с использованием следующей формулы [4]:

$$\hat{y}_{t|t-1,t-2,\dots,t-m} = \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \dots + \alpha_p y_{t-p} - \beta_1 (y_{t-1} - \hat{y}_{t-1|t-2,t-3,\dots,t-(q-1)}) - \dots - \beta_q (y_{t-q} - \hat{y}_{t-q|t-(q+1),t-(q+2),\dots,t-2q}), \quad (2)$$

где $\hat{y}_{t|t-1,t-2,\dots,t-m}$ - прогноз значения (2) ряда в момент времени t по разностям значений анализов $\hat{y}_{t-1}, \dots, y_{t-m}$,

$m = \max(p, q)$,

p - порядок линейной комбинации авторегрессии (АР),

q - порядок линейной комбинации скользящего среднего (СС),

$\alpha_i, i = 1, 2, \dots, p;$ - коэффициенты авторегрессии,

$\beta_j, j = 1, 2, \dots, q$ - коэффициенты скользящего среднего,

$(y_{t-1} - \hat{y}_{t-1|t-2,t-3,\dots,t-(q-1)}) \dots (y_{t-q} - \hat{y}_{t-q|t-(q+1),t-(q+2),\dots,t-2q})$ - ошибки про-

гноза в моменты времени $t - 1, \dots, t - q$.

В зависимости от свойств описанного ряда один из порядков p или q может быть равен нулю.

Если $q = 0$ (прогноз по модели АРСС($p, 0$)), то уравнение (2) принимает вид:

$$\hat{y}_{t|t-1,t-2,\dots,t-p} = \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \dots + \alpha_p y_{t-p}. \quad (2a)$$

Если $p=0$ (прогноз по модели АРСС($0,q$)), то уравнение (2) принимает вид:

$$\begin{aligned} \hat{y}_{t|t-1,t-2,\dots,t-q} = & \beta_1 (y_{t-1} - \hat{y}_{t-1|t-2,t-3,\dots,t-q-1}) + \dots \\ & \dots + \beta_q (y_{t-q} - \hat{y}_{t-q|t-(q+1),t-(q+2),\dots,t-2q}). \end{aligned} \quad (2b)$$

Среднеквадратическая ошибка прогноза по формулам (2) – (2б) вычисляется по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=k+1}^n (y_i - \hat{y}_{i|t-1,\dots,t-k})^2, \quad (3)$$

где n - объем выборки, по которой вычисляются коэффициенты АРСС,

$k = m + 1$ - максимальный порядок формулы для вычисления прогноза по ряду (2),

$$m = \max(p, q).$$

Принципы построения алгоритма статистической экстраполяции АРСС

Разработка алгоритма статистической экстраполяции показателя включает определение следующих параметров: выбор числа членов в каждой из линейных комбинаций алгоритма, оценку их коэффициентов, расчет среднеквадратичной погрешности прогноза, т. е. анализ качества полученного прогноза.

Этап I. Для построения алгоритма статистической экстраполяции на один шаг необходимы две выборки результатов последовательных лабораторных анализов: обучающая и контрольная. По обучающей выборке проверяется наличие статистической взаимосвязи, определяется ее характер, выбирается число членов авторегрессии и скользящего среднего, оцениваются их коэффициенты и ошибка прогноза. Ошибка прогноза, вычисляемая по обучающей выборке, оценивает точность

прогноза, на основании которой выбирается наилучший вариант алгоритма прогноза для данной выборки. Проверка на контрольной выборке позволяет оценить устойчивость качества построенного прогноза к возможным отклонениям технологического процесса от наблюдаемого в обучающей выборке, но при которых он находится в режиме нормального функционирования, т.е. анализируемый показатель находится в заданном для него диапазоне.

Обучающая выборка представляет собой значения лабораторных анализов показателя, числом не менее 70-100 последовательных анализов качественного показателя процесса, когда он находится в режиме нормального функционирования. Длина и число контрольных выборок определяются требованиями к контролю качества алгоритма статистической экстраполяции.

Этап II. Проверка наличия статистической взаимосвязи между последовательными лабораторными анализами качественного показателя. Первым шагом построения статистической экстраполяции по экспериментальным данным является проверка наличия статистической взаимосвязи между последовательными анализами. Поскольку модель строится по ряду (1), то для проверки взаимосвязи используется ряд разностей обучающей выборки. По этому ряду строится автокорреляционная функция, представляющая собой значения коэффициентов автокорреляции ρ_k ряда (1) с различными сдвигами $k = 1, 2, \dots$. Коэффициент автокорреляции ρ_k оценивает величину зависимости между последовательными членами ряда (2) y_t и y_{t-k} . Значения ρ_k лежат в интервале от $[-1, 1]$. Если $\rho_k = 0$, то стохастическая связь между анализами y_t и y_{t-k} - отсутствует. Построение алгоритма статистической экстраполяции прогноза имеет смысл только, если $\rho_k \neq 0$ для значений $k = 1, 2, \dots, r$, где r - некоторое целое положительное число.

Этап III. Определение порядков модели p и q в формуле (2). В зависимости от значений выбранных порядков на этом шаге, получается для прогноза одна из формул (2), (2a), (2b). Для каждого из прогнозируемых процессов существуют такие значения порядков p и q , которые дают наименьшую среднеквадратичную ошибку прогноза на обучающей выборке.

Основными требованиями, предъявляемыми к построенной формуле, являются: точность прогноза и возможность применения этой формулы ко всем участкам существующего процесса без существенного изменения точности прогноза. Лишние члены модели p и q вносят незначительный вклад в описание прогнозируемого показателя, но увеличивают погрешности оценивания коэффициентов модели. В результате ошибка прогноза увеличивается, в особенности, при использовании

этой формулы на контрольном участке процесса. При уменьшении порядков модели p и q относительно модели, дающей наименьшую среднеквадратичную ошибку прогноза, получают прогноз с меньшей точностью, так как из него исключаются члены, описывающие изменение прогнозируемого показателя.

Для выбора порядков p и q по обучающей выборке используется подход, основанный на применении информационных критериев [5]. Задаются максимальным числом членов в линейных комбинациях АР и СС. наибольшие значения порядков p и q в рассматриваемых вариантах алгоритмов, обычно, можно ограничить тремя. Для наиболее распространенного шага лабораторных анализов порядка 8-ми часов это обозначает, что существенная взаимосвязь лабораторных анализов ограничивается суточным интервалом инерционности технологического процесса. Если число значимых коэффициентов автокорреляции r меньше трех, то максимальный порядок полагают равным $m = \min(r, 3)$. Рассматриваются алгоритмы всевозможных комбинаций $p \leq m$ и $q \leq m$ в интервале $[0, m]$. Всего строится и сопоставляется $(m+1)^2 - 1$ вариантов алгоритмов. Например, если $m = 2$, то следует сопоставить алгоритмы следующих вариантов значений порядков (p, q) :

$(0, 1), (0, 2), (1, 0), (1, 1), (1, 2), (2, 0), (2, 1), (2, 2)$.

Для каждого алгоритма по разностям значений обучающей выборки оцениваются коэффициенты в одной из формул (2) – (2b) и среднеквадратическая ошибка прогноза σ .

Этап IV. Выбор формулы статистической экстраполяции и оценка ее качества. При выборе формулы для прогноза оценивается несколько характеристик ее работы, каждая из которых оценивает свойства формулы с различных сторон.

Для каждой из $(m+1)^2 - 1$ построенных формул вычисляются три характеристики.

Первой характеристикой является критерий, который фиксирует алгоритм, имеющий наименьшую ошибку прогноза. Он накладывает небольшой штраф за увеличение порядков p и q относительно алгоритма, имеющего наименьшую ошибку прогноза, поскольку это может привести к тому, что в формуле окажутся «лишние члены», которые вносят незначительный вклад в значение прогноза на обучающей выборке, но могут значительно увеличивать ошибку прогноза на контрольной выборке.

Второй характеристикой является величина относительного уменьшения σ статистической экстраполяции в % относительно σ наивного

прогноза. Эта величина дает качественную оценку улучшения прогноза за счет статистической экстраполяции и отвечает на вопрос нужно ли применять для данного качественного показателя алгоритм статистической экстраполяции или для него достаточно ограничиться имеющимся «наивным прогнозом».

Третьей характеристикой является оценка устойчивости модели, которая определяется величиной относительного изменения σ статистической экстраполяции в % на обучающей и контрольной выборках.

Окончательный выбор алгоритма по перечисленным характеристикам выполняется по определенным правилам их компромиссного учета.

На Рис. 27.7 представлен конкретный промышленный пример фактического значения анализов за 4,5 суток и их прогнозных значений существующим на практике способом наивного прогноза и рассматриваемым способом статистической экстраполяции, принципы построения которого изложены выше.

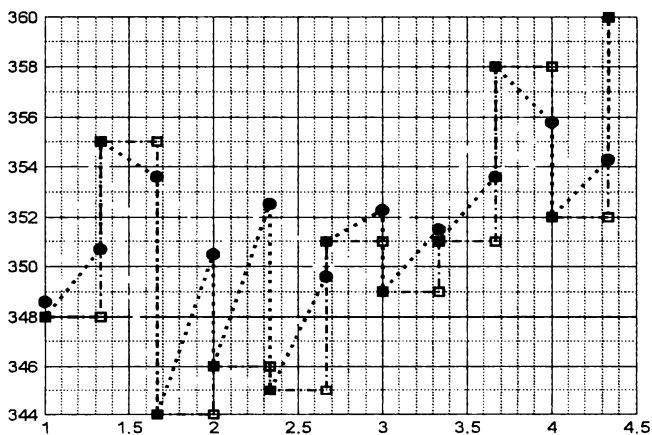


Рис. 27.7. Пример фактического значения анализов за 4,5 суток и их прогнозных значений разными способами.

По горизонтальной оси отложено время в сутках, по вертикальной - значения лабораторных анализов и их прогноз.

Обозначения:

- (■) - фактические значения лабораторных анализов,
- (●) - статистическая экстраполяция - АРСС,
- (□) - наивный прогноз.

Глава 28. Виртуальные анализаторы показателей качества продукции

Все виды автоматического определения текущих значений любой величины на производстве можно подразделить на три категории:

- непосредственное измерение значения величины поточным прибором, когда чувствительный элемент (сенсор) прибора реагирует на изменение самой искомой величины (например, измерение температуры жидкости вставленной в нее термопарой);

- косвенное измерение значения величины поточным прибором, когда его определяют известной точной зависимостью по непосредственным автоматическим измерениям прибором значений других величин, с которыми искомая величина связана функционально (например, определение расхода газа по трубе точной расчетной формулой по измеренным значениям перепада давления на вставленной в трубу диафрагме, температуры и абсолютного давления газа);

- оценка текущего значения величины статистическими методами по измеренным значениям других величин, статистически связанных с искомой величиной.

Первые две категории измерений часто объединяются наименованием «Прямые измерения».

Указанная третья категория измерений, под распространенным наименованием «Виртуальные измерения», получает все большее практическое распространение. Этому способствует наблюдаемое увеличение вычислительной мощности микропроцессорных средств и развитие различных математических методов, создающих условия для отслеживания изменений значений определенных качественных величин без их непосредственного измерения. Приближенная оценка их текущих значений может производиться различными методами в зависимости от свойств самих величин, частоты их дискретных лабораторных замеров, характера их статистических связей с измеряемыми величинами.

Рассматриваемые в данной главе виртуальные анализаторы качественных показателей продукции (в отличие от достаточно редких лабораторных анализов) производят непрерывные текущие оценки значений искомых качественных показателей выходной продукции агрегатов методами математической статистики на базе определенных измеряемых значений физических, режимных величин агрегата. Это дает возможность непосредственного оперативного регулирования качества выпускаемых агрегатами продукции. При линейных связях искомого показателя с измеряемыми величинами оценка производится

построением линейного уравнения регрессии, аргументами которого являются значения отобранных измеряемых режимных величин, а определяемой функцией – оценка значения искомого показателя. При сугубо нелинейной связи искомого показателя с измеряемыми величинами используется трехслойная нейронная сеть, входами которой являются измеряемые режимные величины, выходом – оценка значения искомого показателя.

28.1. Виртуальные анализаторы на базе регрессионных уравнений

При оценке значения показателя качества продукта по имеющимся статистическим зависимостям линейного вида между ним и рядом измеряемых режимных величин технологического процесса можно применить метод регрессионного анализа, заключающийся в построении линейного уравнения регрессии, аргументами которого являются значения отобранных режимных, измеряемых величин (так называемых регрессоров), а определяемой функцией - значение искомого показателя качества выпускаемого продукта.

При этом следует учесть временные соответствия между искомым показателем и каждым регрессором – измеряемой величиной. Поскольку регрессоры, в общем случае, отделены от искомого показателя различными динамическими каналами, то сопоставление значений любого регрессора и искомого показателя в единый момент времени не определяет их истинную статистическую связь: значение показателя на выходе динамического канала зависит от значения режимной величины на входе не только в данный момент времени, но и во все предшествующие моменты, которые сохраняет память канала. Улучшить оценку можно было бы за счет учета и компенсации динамической связи между искомым показателем и регрессором, но это достаточно сложно и в подавляющем большинстве случаев представляется мало реальным. На практике применяется метод сдвига во времени входящих в уравнение регрессии значений регрессоров относительно времени оценки искомого показателя, который частично усиливает имеющуюся между ними динамическую связь. Для этого в уравнение регрессии, определяющее значение искомого показателя в текущий момент времени, подставляют значение каждого регрессора в момент времени, сдвинутый относительно текущего момента на интервал времени, соответствующий максимальному значению модуля взаимной корреляционной функции данного регрессора и искомого показателя.

В общем случае виртуальная оценка искомого показателя Y в момент времени t линейным уравнением регрессии, в котором аргументами

являются p измеряемых величин (регрессоров) X_1, \dots, X_p , имеет вид:

$$y(t) = \alpha_0 + \alpha_1 [x_1(t - t_{\max 1}) - m_{x_1}] + \alpha_2 [x_2(t - t_{\max 2}) - m_{x_2}] + \dots + \alpha_p [x_p(t - t_{\max p}) - m_{x_p}], \quad (1)$$

где $y(t)$ - оценка значения величины Y в момент времени t ;

$\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_p$ - коэффициенты уравнения регрессии;

$m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_p}$ - оценки математических ожиданий величин X_1, X_2, \dots, X_p ;

$x_1(t - t_{\max 1})$ - значение величины X_1 в момент времени, сдвинутый относительно текущего времени t на значение $t_{\max 1}$, соответствующее максимальному значению модуля взаимной корреляционной функции между величинами Y и X_1 ;

$x_2(t - t_{\max 2})$ - значение величины X_2 в момент времени, сдвинутый относительно текущего времени t на значение $t_{\max 2}$, соответствующее максимальному значению модуля взаимной корреляционной функции между величинами Y и X_2 и т. д.

Расчет коэффициентов уравнения регрессии выполняется методом наименьших квадратов. В соответствии с этим методом определяются такие значения коэффициентов, при которых сумма квадратов отклонений истинных значений искомого показателя от значений, рассчитанных по уравнению регрессии, будет минимальной.

Для реализации этого метода производится набор обучающей выборки значений искомого показателя, измеряемых лабораторным анализатором в отдельные моменты t_i и соответствующих им по времени значений регрессоров (непрерывно измеряемых величин), и по этой выборке объемом n указанным методом вычисляют коэффициенты уравнения регрессии.

Ниже представлен математический вид минимизируемой функции:

$$\sum_{i=1}^n [y(t_i) - y_{изм}(t_i)]^2 = \sum_{i=1}^n \left\{ \alpha_0 + \alpha_1 [x_1(t_i - t_{i \max}) - m_{x_1}] + \dots + \alpha_p [x_p(t_i - t_{i \max}) - m_{x_p}] - y_{изм}(t_i) \right\}^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $y_{изм}(t_i)$ - измеренное лабораторным анализатором значение искомого показателя Y в момент t_i ,

n - объем обучающей выборки, состоящей из измеряемых датчиками в соответствующие моменты времени значений регрессоров и определяемых лабораторным анализатором значений искомого показателя.

Область применения линейного уравнения регрессии определяется следующими факторами:

- наличие в технологическом агрегате различных измеряемых физических величин входных компонентов и режимных параметров, которые статистически взаимосвязаны с искомым, измеряемым только в дискретные моменты времени показателем в лаборатории;

- близость к линейности статистических связей измеряемых величин и искомого показателя (последнее существенно повышает точность оценки);

- стабильность во времени технологического процесса, когда все изменения его входных, режимных и выходных показателей можно считать на достаточно длительных интервалах времени стационарными, случайными процессами.

Возникающие время от времени значительные изменения параметров статистических связей, вызванные сменой производительности агрегата или подачей входных компонентов другого качества, или переменой требований к выходным продуктам, то есть переход технологического процесса на существенно другой стабильный режим, в ряде случаев требует пересчета коэффициентов построенного уравнения регрессии.

Принципиально, любые измеряемые величины, имеющие значительные связи с искомым показателем, могут быть использованы для его оценки, но на практике следует ограничиваться теми величинами, статистические взаимосвязи которых между собою минимальны (что позволяет охватить влияние на искомый показатель разных независимых факторов и, тем самым, повысить точность его оценки), а между ними и искомым показателем - максимальны.

Конкретное построение уравнения регрессии, определяющего зависимость оценки искомого показателя от значений измеряемых величин, предусматривает наличие обучающей выборки, состоящей из временных рядов измеряемых величин и искомого показателя. Временные ряды измеряемых регрессоров и лабораторных анализов искомого показателя обычно имеются в исторической базе данных сервера системы автоматизации рассматриваемого технологического процесса.

Выборка регрессоров из всей совокупности измеряемых в технологическом агрегате величин может быть проведена разными путями, различающимися исходными данными, простотой реализации и, соответственно, точностью получаемой по уравнению регрессии оценки искомого показателя.

Приближенный, часто используемый метод формирования набора регрессоров с помощью парных коэффициентов корреляции величин, несмотря на свою относительную простоту и практическую

распространенность, имеет изложенный ниже достаточно существенный недостаток, сужающий рациональную область его применения и снижающий точность оценивания значения показателя.

Метод включает ряд последовательно реализуемых этапов.

Первый этап. Экспертное выделение из всего множества измеряемых величин в рассматриваемом технологическом агрегате той совокупности измеряемых величин, которые являются возможными регрессорами. На основе качественного анализа технологического процесса и опыта работы по его управлению выделяются измеряемые величины, претендующие на роль регрессоров.

Второй этап. Вычисление парных коэффициентов корреляции между искомым показателем и каждым предполагаемым регрессором и выделение группы значимых регрессоров, то есть регрессоров, парные коэффициенты корреляции которых с искомым показателем превосходят некоторое граничное, задаваемое пользователем значение, например, 0,4 или 0,5. Для выделенных регрессоров вычисление, кроме парных коэффициентов корреляции, определяющих тесноту связи при линейной зависимости, также корреляционных отношений между каждым из них и искомым показателем, которые вычисляют тесноту связи при зависимости любого вида. По сопоставлению для каждого регрессора полученных значений парного коэффициента корреляции с корреляционным отношением отобрать из выделенных регрессоров те, которые имеют статистическую связь с искомой величиной, близкую к линейной зависимости. Линейность статистической связи между двумя величинами характеризуется близостью значений их парного коэффициента корреляции и корреляционного отношения, поскольку корреляционное отношение характеризует степень связи независимо от ее формы, а парный коэффициент корреляции характеризует степень линейной связи. Приблизительно можно также судить о линейности связи между любой измеряемой величиной и искомым показателем путем построения графика, по осям которого откладываются отдельные их значения.

Третий этап. Вычисление парных коэффициентов корреляции между отдельными регрессорами из полученной на предыдущем этапе группы. Удаление из выделенной группы регрессоров тех, которые имеют значимую связь с другими регрессорами этой группы. Степень связи двух регрессоров определяется значением коэффициента парной корреляции между ними. Если этот коэффициент превосходит некоторое задаваемое пользователем значение, например, 0,7 или 0,8, то из этой пары удаляется регрессор, у которого меньший парный коэффициент корреляции с искомым показателем.

Четвертый этап. По оставшимся в группе регрессорам вычисляются методом наименьших квадратов коэффициенты уравнения регрессии. Для этого используется обучающаяся выборка измеряемых величин (регрессоров) и соответствующих им по времени лабораторных анализов искомого показателя. Построенное уравнение линейной регрессии действительно либо для одного режима работы агрегата, либо для некоторого множества близких режимов; в зависимости от того, в каких условиях работы агрегата получена данная выборка. Практически она должна состоять из ряда десятков лабораторных анализов искомого показателя и соответствующих им измерений регрессоров, то есть должна охватывать достаточно длительный интервал времени работы агрегата.

Недостаток метода. Приведенный способ отбора регрессоров, хотя и используется на практике, является недостаточно корректным и может иметь повышенную погрешность оценки искомого показателя. Это произойдет, если среди выбранных регрессоров двое (коллинеарность) или большее число (мультиколлинеарность) величин окажутся связанными между собой близкой к линейной **функциональной** зависимостью. В этом случае одна из зависимых величин является линейной комбинацией остальных. При указанной взаимозависимости регрессоров влияние отдельного регрессора на оценку искомой величины может быть искажено (как в большую, так и в меньшую сторону) воздействиями связанных с ним регрессоров. В рассмотренном способе нельзя про ранжировать регрессоры по силе их **независимого** влияния на искомый показатель, так как используемые в нем коэффициенты парной корреляции характеризуют тесноту связи между искомым показателем и каждым регрессором с учетом взаимосвязей его с другими регрессорами. Полученные оценки коэффициентов уравнения регрессии, при наличии существенно взаимосвязанных регрессоров, становятся ненадежными: они имеют сравнительно большие ошибки и изменяются с изменением объема обучающей выборки. Поэтому, в общем случае, целесообразно использовать другую процедуру отбора регрессоров, которая исключает присутствие в уравнении регрессии зависимых регрессоров. Она основана на формировании набора регрессоров с помощью частных коэффициентов корреляции величин. Эта процедура подробно изложена в [6].

Общие замечания по разработке и использованию регрессионных уравнений

1. Полученные любым способом регрессионные уравнения действительны для виртуального измерения показателя Y в тех режимах работы агрегата, в которых по обучающей выборке определены коэффициенты уравнения. При других, **существенно** отличных режимах следует заново набирать статистику измеряемых автоматически величин

X_k и измеряемой лабораторными замерах показателя Y и корректировать отдельные коэффициенты уравнения (1). При отличных, но все же сравнительно близких режимах, может быть достаточна корректировка только коэффициента a_0 в уравнении (1).

На практике существенные изменения режима работы агрегата, свойств перерабатываемого сырья, характеристик оборудования происходят зачастую непредсказуемо для оператора агрегата и иногда непрерывно во времени, поэтому важно при использовании регрессионных уравнений предусмотреть один из вариантов его коррекции во времени:

- коррекцию оценки искомого показателя по ряду его последовательных лабораторных замеров путем изменения среднего значения искомого показателя m_y , чтобы в последующие моменты лабораторных замеров их значения были достаточно близки (коррекция оценки по единичному лабораторному замеру может быть ошибочной из-за, например, несовпадения момента времени взятия пробы для лабораторного анализа принятому в расчете моменту оценки величины);

- возможную постепенную автоматическую подстройку коэффициентов регрессионного уравнения на основе совокупности полученных за значительный временной интервал функционирования виртуального анализатора значений регрессоров и лабораторных замеров искомого показателя Y ;

- непрерывную коррекцию значения показателя, вычисляемого регрессионным уравнением, путем включения в уравнение новых слагаемых (см. предыдущую главу), являющихся моделью авторегрессии – скользящего среднего (АРСС), которые будут отслеживать изменения лабораторных анализов во времени, что позволит учитывать в виртуальном анализаторе достаточно плавные изменения режима или возмущений.

2. Значения всех используемых при разработке регрессионного уравнения статистических характеристик могут автоматически рассчитываться при использовании любого типового статистического пакета программ (например, Statistica, SPSS, MESOSAUR), поэтому получение всех используемых при построении регрессионных уравнений показателей и параметров не требует отдельного программирования.

28.2. Виртуальные анализаторы на базе нейросетей

В общем случае наличия сугубо нелинейных связей между искомым показателем качества и статистически связанными с ним измеряемыми режимными величинами технологического процесса целесообразно использовать в качестве виртуального измерителя нейронную сеть. В типовых промышленных применениях используется трехслойная нейронная сеть, схема которой приведена на рисунке.

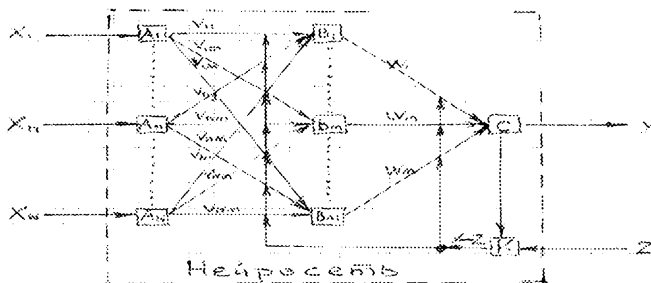


Рис. 28.1. Схема нейронной сети - виртуального анализатора.

На рисунке:

- x_n - значение n -ой измеряемой величины ($n=1 \dots N$),
- \hat{Y} - оценка значения искомого показателя,
- Z - лабораторное измерение искомой величины,
- A_n - n -й элемент входного слоя сети ($n=1 \dots N$),
- B_m - m -й элемент промежуточного слоя сети ($m=1 \dots M$),
- C - элемент выходного слоя сети,
- V_{nm} - веса связей элементов входного и промежуточного слоев ($n=1 \dots N, m=1 \dots M$),
- W_m - веса связей элементов промежуточного слоя ($m=1 \dots M$) с элементом C ,
- K - элемент сопоставления оценки искомого показателя с его лабораторным анализом,
- $Y - Z$ - обучающее воздействие (корректировка весов связей).

Значения измеряемых величин поступают на элементы входного слоя (каждый его элемент соединен с определенным датчиком). Число входных элементов соответствует числу измеряемых величин, задействованных в системе оценки искомого показателя. Каждый элемент промежуточного слоя взаимосвязан со всеми элементами входного и выходного слоев. Выходной слой, в котором в рассматриваемом случае находится один элемент, связан со всеми элементами промежуточного слоя и имеет выход, являющийся оценкой искомого показателя. Взаимные связи элементов внутри каждого слоя отсутствуют. Имеющиеся значения связей любых элементов друг с другом определяются их весами (коэффициентами связи), изменения которых меняют общую зависимость между измеряемыми величинами и искомым показателем. Настройка сети осуществляется процедурой обучения, которая

заключается в подаче на сеть обучающего набора пар значений измеряемых величин и соответствующих им значений искомого показателя (в качестве последних значений используются лабораторные анализы показателя), сделанные в один и тот же момент времени. Сам процесс настройки, автоматически реализуемый в нейросети, заключается в таком изменении весов связей между всеми элементами сети, которое уменьшает различие между имеющимся выходом сети в определенный момент времени и требуемым выходом - лабораторно измеренным значением искомого показателя в этот же момент времени.

Практически обучающий набор должен иметь порядка сотни и более совпадающих во времени значений измеряемых величин и лабораторных анализов показателя, из которых примерно 70% значений используются для обучения нейросети, а 30% - для тестирования результата настройки и оценки полученной точности виртуального измерения. Если в архиве системы автоматизации данного технологического агрегата присутствует необходимое число таких пар, полученных ранее при существующем режиме и свойствах технологического процесса, то обучение нейросети может быть проведено достаточно быстро и точно; в противном случае обучающий набор должен быть получен во время текущей работы объекта, что может значительно удлинить процесс настройки нейросети. Уже включенная в работу нейросеть непрерывно адаптируется: каждое лабораторное измерение поступает в нейросеть, там сравнивается с выходом сети и полученная разность их значений используется для текущей корректировки весов связей элементов сети. Это позволяет сохранять достигнутую точность виртуального измерения при постепенных, достаточно плавных изменениях режима и/или свойств технологического процесса. При резких и значительных изменениях технологического процесса нейросеть должна быть переведена в режим обучения и процесс ее обучения необходимо проводить заново.

Следует отметить, что первоначальная совокупность измеряемых величин, подключенных к входному слою нейросети, может быть уменьшена после окончания процесса обучения, если окажется, что некоторые измеряемые величины дают очень малый или даже нулевой вклад в оценку искомого показателя (веса связей элементов, к которым подключены эти величины, с элементами промежуточного слоя сети получились близкими к нулю).

Хорошие результаты настройки нейросети дают обучающие выборки порядка 200...300 измерений режимных величин и соответствующих им лабораторных анализов показателя. При переходе технологического агрегата на другой режим управление по выходу нейросети останавливается и происходит корректировка (уточнение)

модели, реализуемой в нейросети; после чего управление по выходу нейросети восстанавливается.

Необходимость оценки многих, не измеряемых непосредственно показателей качества со временем все более увеличивается, поскольку для создания современных систем автоматизации производства, базирующихся на совершенных алгоритмах управления, требуется достаточно полная информация обо всех показателях технологического агрегата, а она не может быть получена без использования различных методов виртуального измерения. Кроме того, в ряде случаев, даже когда для оценки текущего значения показателя можно выбрать установку поточного анализатора или виртуального измерителя, целесообразно предпочесть второй вариант, поскольку он значительно дешевле и может удовлетворять по требованиям к точности оценки показателя.

В связи с указанными обстоятельствами следует ожидать значительного возрастания интереса предприятий, проектных организаций, системных интеграторов к возможностям и существующим методам виртуального измерения качественных показателей продукции.

Раздел X. Развитие методов автоматизированного управления

Общие положения

В настоящее время повсеместно распространенным способом автоматического управления непрерывным технологическим процессом является ПИД регулирование его режима в различных модификациях: одноконтурное, каскадное, многосвязное, соотношение, слежение.

Предприятия крупнейших компаний (особенно, работающие на экспорт) последнее десятилетие стали все более строго подходить к повышению качества управления и совершенствовать работу систем регулирования:

- автоматически проводить непрерывный мониторинг существующего качества регулирования и фиксировать для операторов моменты его ухудшения;

- автоматически адаптировать работу ПИД регуляторов к изменяющимся во времени свойствам регулируемого процесса;

- включать в ПИД регуляторы различные логические условия и правила, изменяющие структуру системы управления при наступлении определенных событий в технологическом процессе или в действующих на него возмущениях;

- дополнять правила регулирования элементами нечеткой логики, обеспечивающими коррекцию управления по качественным показателям технологического процесса;

- заменять или дополнять ПИД регуляторы более эффективными алгоритмами управления на основе модели регулируемого объекта, позволяющей прогнозировать его поведение во времени;

- реализовать динамическую или статическую оптимизацию технологического процесса по заданному критерию.

В разделе не приводятся общие методы расчета параметров различных вариантов ПИД регулирования, поскольку этому посвящены многочисленные книги и учебники для ВУЗов, но рассматриваются имеющие достаточно широкую практическую апробацию алгоритмические и программные средства, улучшающие качество регулирования технологических процессов и анализируются особенности их внедрения и эксплуатации.

Глава 29. Совершенствование существующих систем ПИД регулирования

Функционирующие на предприятиях сотни систем ПИД регулирования повсеместно не обеспечивают то качество управления, на

которое они способны при их рациональной разработке, настройке и эксплуатации. Существует ряд способов улучшения их работы, которые находят все более широкое практическое применение. Содержание таких основных способов приводится в данной главе.

29.1. Автоматическая инспекция работы системы ПИД регулирования

Наиболее простым способом, способствующим совершенствованию использования систем ПИД регулирования, является внедрение программы наблюдения за их работой, которая контролирует и анализирует их функционирование, и сигнализирует оператору о возникновении любых нештатных ситуаций, затрагивающих качество регулирования.

Примерный перечень функций этих программных модулей по каждому контуру регулирования приведен ниже:

- фиксация моментов времени включения и отключения регулятора (с пометкой оператора о причине перевода управления на ручной режим) и учет посменного времени работы регулятора;
- определение текущей посменной среднеквадратичной погрешности стабилизации заданного оператором значения регулируемой величины и сигнализация при превышении ее определенного значения, что требует перенастройки регулятора;
- выделение интервалов неустойчивости работы системы регулирования в процессе ее функционирования и сигнализация оператору о необходимости перенастройки регулятора;
- фиксация взаимного влияния контуров управления друг на друга, когда управляющие воздействия изменяют не только свои регулируемые величины, но и регулируемые величины соседних контуров управления (наличие так называемых взаимосвязанных или многосвязанных контуров регулирования);
- посменный учет времени нахождения регулирующего органа в каждом из крайних положений;
- определение неисправностей работы регулирующего органа: неполное закрытие/открытие, замедленное движение, гистерезис и т. п. нарушения и сигнализация о них оператору;
- выявление недостатков в работе средств полевого уровня данного контура регулирования: потеря регулятора связи с ними, неверные или недостаточно точные измеренные датчиком значения регулируемой величины; неправильные отработки исполнительного механизма и т.п. нарушения.

В целом, при обнаружении выхода каких-либо из выше перечисленных контролируемых и учетных показателей за заданные им границы,

программа фиксирует время и наименование этого события и выдает соответствующее сообщение оператору и обслуживающему данное АСУТП персоналу КИПиА с возможной рекомендацией по принятию необходимых мер для исправления наблюдаемой нештатной ситуации. В формируемом программой сменном протоколе о работе систем ПИД регулирования данного АСУТП приводятся все отмеченные нештатные ситуации, а также статистические и учетные данные о работе контуров регулирования. Используя архивные данные результатов работы программы можно сопоставлять текущее качество работы регуляторов с их работой в прошлые интервалы времени и с работой в сменах при хорошо настроенных регуляторах и исправности всех средств контуров регулирования.

Данная программа инспекции работы ПИД регуляторов имеет различные формы исполнения:

- она реализуется в сервере ПТК и охватывает циклическим контролем все системы ПИД регулирования данного АСУТП;

- она входит в программное обеспечение отдельного контроллера и тогда она контролирует системы регулирования, реализуемые этим контроллером;

- она строится как отдельная система автоматизации; контролирует контуры регулирования всех производственных объектов цеха или даже всего производства; имеет собственную информационную сеть, связывающую ее со всеми ПТК; свой сервер, обрабатывающий и хранящий всю информацию о качестве работы контуров регулирования объектов цеха или производства, а также передающий в отдельные АСУТП результаты анализа работы контуров регулирования их ПТК; центральную рабочую станцию в том отделе службы КИПиА предприятия, персонал которого отвечает за качество работы контуров регулирования всех объектов цеха или производства и формирует свои действия на основе получаемой от системы информации.

Программы рассмотренного вида имеются, под разными наименованиями и с несколько разным набором функций, у многих крупных производителей программных средств автоматизации АСУТП. Частью они входят в состав современных ПТК. Время их внедрения, в основном определяемое временем их освоения операторами производственных объектов и персоналом КИПиА, занимает порядка нескольких месяцев.

29.2. Автоматическая настройка ПИД регуляторов [1].

Основным и наиболее распространенным методом совершенствования работы ПИД регуляторов является их автоматическая настройка: адаптация их параметров под изменяющиеся свойства объекта

регулирования.

Распространенные алгоритмы автоматической адаптации базируются на следующей последовательности действий:

- задание оператором АСУТП или персоналом КИПиА действующему регулятору входных тест сигналов различной формы (наиболее распространенной формой являются синусоидальные сигналы разной частоты). Амплитуда тест сигналов и общее время тестирования задается оператором АСУТП или персоналом КИПиА заранее из соображений компромисса между минимальным влиянием тест сигналов на ход технологического процесса и заметным выделением реакций регулируемой величины на тест сигналы по сравнению с ее реакциями на существующие возмущающие факторы;

- автоматическое построение динамической модели объекта регулирования по полученному набору данных из воздействий тест сигналов на процесс и его реакций на эти воздействия;

- автоматический расчет по полученной динамической модели объекта регулирования новых значений параметров регулятора, базирующийся на одном из типовых методов настройки ПИД регулятора. Используются, например, расчет параметров регулятора по критерию минимума среднеквадратичной ошибки регулирования или расчет при ограничении частотного показателя колебательности регулируемой величины;

- автоматическая или ручная установка рассчитанных значений параметров в регулятор и проверка полученного качества его работы на построенной модели: настроенный заново алгоритм ПИД регулирования проверяется на устойчивость и качество управления в полученной в процессе адаптации динамической модели объекта при подаче на нее практически возможных возмущений, смене задания регулятору, изменения в некотором диапазоне параметров объекта (учете неточности моделирования);

- возможна и непосредственная проверка настроенного регулятора на объекте регулирования.

Практически реализуются два разных способа адаптации параметров регулирования, имеющие разное наименование:

- адаптивный регулятор: автоматическое слежение за текущей погрешностью стабилизации и включение алгоритма адаптации в моменты превышения погрешности заданного значения без вмешательства оператора;

- самонастройка регулятора: алгоритм адаптации параметров регулятора включается только по команде оператора и он контролирует его проведение.

Последний вариант адаптации предпочтительнее при управлении сложными, ответственными, взрывоопасными объектами регулирования, когда оператор должен подтверждать возможность в данное время работы алгоритма адаптации и перенастройки параметров регулятора.

Сохранение полученных при адаптации динамических моделей объекта в базе данных АСУТП позволяет проследить историю изменения свойств объекта регулирования во времени.

Программы адаптивного регулирования и самонастройки ПИД регуляторов либо встраиваются в отдельные контроллеры ПТК, либо являются отдельными программными модулями в базе данных АСУТП. Модули настройки ПИД регуляторов обычно входят в типовую поставку ПТК и, естественно, не имеют отдельного от ПТК времени внедрения.

29.3. Добавление логических функций в систему ПИД регулирования

Расширение возможностей ПИД регулирования может происходить за счет использования в реализуемых ими системах управления:

- определенных сигналов, характеризующих наступление каких-либо важных событий, влияющих на свойства объекта регулирования;
- качественно фиксируемых, но не измеряемых количественно, показателей протекания технологического процесса, указывающих на необходимость изменения режима работы объекта;
- достаточно грубых оценок изменения отдельных внешних воздействий, сказывающихся на точности регулирования.

В ряде случаев, при управлении сложными, многосвязными технологическими процессами или процессами с нестабильными характеристиками, из-за неполноты используемой ПИД регуляторами информации, качество работы типовых систем регулирования уступает качеству квалифицированного ручного управления, поскольку операторы при управлении, кроме измеряемых ПИД регулятором величин, используют еще ряд сигналов о текущих общих свойствах входных потоков и возмущающих факторов, о некоторых характеристиках процесса, которые или не имеют точного количественного выражения или технически не могут быть измерены и только качественно выделяются.

Эти обстоятельства послужили причиной разработки нового технического средства управления, использующего грубо приближенные оценки показателей, так называемого нечеткого регулятора (Fuzzy Controller), построенного на базе теории нечетких множеств.

Используемое в нем логическое управление реализуется правилами типа “если..., то...” над лингвистическими переменными, образующими нечеткие множества. Так, например, лингвистическая переменная

«Качество сырья» может иметь следующие нечеткие значения: существенная нехватка основного компонента в сырье, малая нехватка основного компонента в сырье, нормальное содержание основного компонента в сырье, малый избыток основного компонента в сырье, большой избыток основного компонента в сырье. Для формализации этих качественных обозначений используют некоторую функцию принадлежности нечеткого множества (она может задаваться в виде треугольника или трапеции, или колокола) и экспертным путем (используются знания управляющего персонала) каждому значению лингвистической переменной присваивается степень (вероятность) принадлежности ее к данному нечеткому множеству. Такая операция переводит качественные лингвистические понятия наблюдаемых изменений процесса в количественные значения, которые преобразуются нечетким регулятором в управляющие воздействия.

Важно отметить следующие особенности использования нечеткого регулятора в системе управления:

- в такой системе может использоваться вся значимая измеряемая количественная и сигнализируемая или грубо оцениваемая качественная информация об автоматизируемом процессе. Для этого либо нечеткий регулятор является надстройкой над ПИД регуляторами и корректирует их уставки или некоторые параметры их работы, либо он заменяет ПИД регулятор, для чего количественная измеряемая информация переводится в нечеткую форму и далее перерабатывается нечетким регулятором наряду с качественными данными;

- сами логические правила, по которым работает нечеткий регулятор, могут быть разными для разных условий работы объекта (в том числе, для нештатных ситуаций), для разных критериев управления, для разных требований к продукции, что делает управление адаптируемым к текущим потребностям производства.

Управляющие воздействия нечеткого регулятора могут использоваться различным образом в общей системе регулирования. Простейшие примеры автоматического выполнения определенных логических условий в системах регулирования приведены ниже:

- при наблюдаемом изменении ряда качественных характеристик выпускаемой продукции производится переключение системы регулирования некоторой величины: она начинает стабилизироваться другим ПИД регулятором, воздействующим на другой управляющий орган;

- в зависимости от фиксируемой логическими переменными общей оценки текущего качества сырья изменяются задания (уставки) работающих ПИД регуляторов, т. е. меняется заданный режим работы технологической установки;

- изменения характеристик управляемого процесса (например, изменение его производительности) меняет параметры работающих ПИД регуляторов по заранее рассчитанной таблице соответствия «значения характеристик – значения параметров регуляторов».

Программа реализации нечетких логических условий управления обычно выполняется в отдельном контроллере.

Типовой нечеткий регулятор некоторыми производителями передается заказчику, приобретающему ПТК, бесплатно, но его внедрение в систему управления требует высококвалифицированных экспертных знаний в области управления данным технологическим процессом.

Глава 30. Усовершенствованное управление технологическими процессами

В последние годы практически наиболее популярным классом систем совершенного регулирования для нелинейных объектов, объектов со значительным транспортным запаздыванием, объектов с рядом взаимосвязанных величин, объектов с множеством одновременно соблюдаемых ограничений стали предикт-контроллеры. Фактически, этот класс систем совершенного регулирования является одним из наиболее экономически эффективных средств автоматического управления для наиболее сложных технологических процессов. Основной целью систем данного класса является уменьшение погрешности стабилизации регулируемых величин, что позволяет более строго соблюдать их заданные значения; а значит приближать эти значения к тем границам допустимого режима, работа агрегата вблизи которых наиболее экономически эффективна. Например, дать возможность приблизить поддерживаемый режим к границе требуемого качества продукции, что позволит избежать дополнительного расхода по поддержанию избыточного значения среднего качества продукции.

Когда в литературе применяют английский аналог русского наименования – «Усовершенствованное управление»: Advance Process Control (APC), то в большинстве случаев имеют в виду именно предикт-контроллер.

30.1. Принцип работы предикт-контроллера [2]

В программу работы многопараметрического предикт-контроллера встроена предварительно экспериментально полученная, достаточно точная динамическая модель регулируемого объекта по всем регулируемым контроллером величинам от всех управляющих воздействий и ему задан критерий оценки стратегии управления (например, минимум

текущей дисперсии регулируемых величин). На каждом такте работы предикт-контроллер вводит в модель текущие значения регулируемых величин и измеряемых возмущений, а дальше в быстром масштабе времени реализует один из следующих вариантов работы:

- либо вначале перебирает на модели объекта ряд достаточно случайно отобранных вариантов будущих управляющих воздействий на определенное число тактов управления, определяемое динамикой объекта; затем по каждому варианту на модели объекта определяет будущие значения регулируемых величин на время промоделированных тактов и по ним вычисляет значение заданного критерия, присущего каждому варианту управления. В качестве конкретных управляющих воздействий на объект на данном такте или на нескольких соседних тактах контроллер принимает воздействия того варианта, который дал лучшее значение критерия, и эти воздействия он вводит на вход модели объекта и передает на объект;

- либо на встроенном в предикт-контроллер модуле линейного или квадратичного программирования по заданному критерию вычисляет оптимальную последовательность управляющих воздействий на определенное число тактов управления и на данном такте или на нескольких последовательных тактах реализует управляющие воздействия, соответствующие оптимальной стратегии, т. е. эти воздействия он вводит на вход модели объекта и передает на объект.

На последующих тактах (интервал между тактами обычно в диапазоне от нескольких десятков секунд до минуты) управляющие воздействия предыдущего принятого варианта (хотя они рассчитаны на значительно большее число тактов) уже не используются. Заново проводится весь цикл перебора вариантов или оптимизации с учетом вновь полученных значений регулируемых величин и измеряемых возмущений, которые позволяют ввести поправки в прогнозируемую модель поведения объекта, и опять реализуются только первые такты вновь рассчитанных управляющих воздействий.

Сопоставление реакций объекта и модели на реализуемые управляющие воздействия позволяет судить о близости модели текущему состоянию объекта. Естественно, что для правильной работы данного способа регулирования используемая в предикт-контроллере модель должна достаточно точно соответствовать объекту, а при значительном изменении свойств и характеристик объекта и условий его работы (например, при изменении характеристик отдельных единиц его оборудования или при существенном изменении параметров обрабатываемого сырья) модель должна своевременно перестраиваться (адаптироваться).

30.2. Варианты использования предикт-контроллера [3]

Использование предикт-контроллера в качестве многосвязного регулятора

Для технологических процессов с существенно взаимосвязанными контурами регулирования, с многими измеряемыми возмущающими факторами, со значительным транспортным запаздыванием целесообразно использование предикт-контроллеров в качестве многосвязных регуляторов, рассчитанных на регулирование от нескольких до одного десятка величин и влияющих на них равного числа различных регулирующих органов. Такой предикт-контроллер имеет достаточно малый интервал между соседними тактами управляющих воздействий (порядка нескольких секунд) и поэтому может по быстродействию удовлетворить большинству технологических процессов. Варианты предикт-контроллера для многосвязных процессов на небольшое число входов/выходов производят в виде отдельного, специального контроллера ряд фирм. Время внедрения таких контроллеров составляет 3-6 месяцев и более.

Использование многопараметрического предикт-контроллера в качестве задатчика ПИД регуляторов

Достаточно широкое практическое использование имеет многопараметрический предикт-контроллер, в котором число регулируемых величин, также как число управляющих воздействий исчисляется многими десятками, а у предикт-контроллеров отдельных производителей вообще не имеет ограничений. Такой предикт-контроллер используется в виде надстройки над ПИД регуляторами. Он воздействует на задания всех регуляторов ПТК данного объекта или даже на задания регуляторов нескольких ПТК взаимосвязанных объектов. Программно он размещается не в отдельном контроллере, а реализуется в специальной системе клиент-серверной структуры, которая связывается со SCADA программой технологического агрегата и с регуляторами ПТК по стандартному интерфейсу OPC.

Внедрение многопараметрического предикт-контроллера представляет достаточно сложную задачу и состоит из ряда последовательно реализуемых этапов.

Вначале проводится достаточно тщательное технологическое обследование объекта, на котором предполагается установка предикт-контроллера, с целью определения его реализуемости и (при ее подтверждении) прогнозирования его общей и экономической эффективности. Результаты этого обследования позволяют принять обоснованное решение либо о целесообразности внедрения предикт-контроллера, либо об отказе от этого намерения.

Затем (в случае положительного решения) выполняется ряд мероприятий, готовящих базу для реализации многопараметрического предикт-контроллера:

- уточняются и при необходимости выполняются мероприятия по обеспечению стабильной работы объекта автоматизации и его оборудования;

- объект автоматизации дооснащается необходимыми современными средствами КИПиА;

- производится разработка и внедрение виртуальных анализаторов качественных показателей, текущие значения которых необходимы для управления, но не измеряются поточными приборами (иногда доходит до внедрения нескольких десятков виртуальных анализаторов на один технологический агрегат);

- в случае необходимости обновляются настройки параметров работающих на объекте ПИД регуляторов;

- проверяются и настраиваются типовые интерфейсы (в основном, интерфейс OPC) взаимосвязи предикт-контроллера с эксплуатируемыми на объекте регуляторами разных производителей.

На следующем этапе проводится разработка предикт-контроллера и проверка его работы:

- выполняется автоматическая генерация многопараметрической модели технологического процесса путем тестирования его контуров управления в разомкнутом и замкнутом режимах специальными тест сигналами (аналогично тестированию объекта регулирования при работе адаптивного регулятора) и ввод полученной модели в предикт-контроллер;

- путем имитации на модели проверяется работа предикт-контроллера: рассчитываются управляющие воздействия на уставки регуляторов и анализируется полученное при этом поведение объекта в разных вариантах его работы: при изменении режима, при приложении различных возмущений, при рассогласовании построенной модели с регулируемым процессом. Это позволяет утвердить либо скорректировать воздействия, улучшающие качество технологического процесса согласно заданному критерию оптимизации.

На заключительном этапе внедрения реализуются следующие мероприятия:

- опытная эксплуатация разработанного предикт-контроллера с возможной доводкой его параметров;

- ввод предикт-контроллера в промышленную эксплуатацию и проведение анализа эффективности его функционирования по сравнению с работой объекта до его внедрения.

Предикт-контроллер может представлять оператору два параметра коррекции его функционирования: один из них усиливает реакцию контроллера на имеющиеся возмущения, другой уменьшает величину управляющих воздействий, что замедляет скорость регулирования.

Следует особо подчеркнуть необходимость достаточно высокой квалификации технологического и управленческого персонала, эксплуатирующего агрегат с работающим предикт-контроллером. На нем лежит обязанность проведения периодической проверки качества работы виртуальных анализаторов и точности используемой модели объекта; а, в случае выявления значительных нарушений, проведения необходимых мероприятий по их компенсации. Как показывает практика, без соблюдения указанных эксплуатационных мероприятий в течение одного или полутора лет происходит деградация используемого предикт-контроллера.

Программное обеспечение предикт-контроллера состоит из ряда отдельных программных модулей:

- программы многопараметрического прогнозирующего контроллера размерностью в несколько сотен переменных со встроенным оптимизатором;

- программы идентификации технологического процесса путем автоматического пошагового тестирования процесса в разомкнутых и замкнутых контурах и построения модели процесса технологической установки. Возможно также использование модели процесса, полученной от внешних источников: от производителей систем имитационного моделирования типовых технологических процессов;

- программ разработки виртуальных анализаторов и подстройки их параметров в процессе функционирования по лабораторным анализам;

- программы мониторинга работы предикт-контроллера и его диагностики.

Многопараметрические предикт-контроллеры выпускают все ведущие производители средств и систем автоматизации.

Стоимость реализации многопараметрического предикт-контроллера на технологическом агрегате достаточно высока, но срок его окупаемости по многочисленным зарубежным и отдельным отечественным, достаточно обоснованным данным находится в пределах года. Время внедрения предикт-контроллера существенно зависит от исходного состояния средств КИПиА на агрегате, от квалификации обслуживающего установку персонала, от затрачиваемого времени на построение модели технологических процессов в агрегате. Длительность всего процесса внедрения, вместе с доводкой системы до ее точного рабочего состояния и полного освоения персоналом заказчика, составляет

примерно 12 месяцев.

Наиболее экономически эффективно внедрение многопараметрических предикт-контроллеров на основных агрегатах химико-технологического производства. Примеры таких установок на предприятиях химии и нефтехимии: реакторы, печи, колонны ректификации. Примеры таких установок на нефтеперерабатывающих заводах: установки АВТ, гидрокрекинг, риформинг.

Особенности использования предикт-контроллеров

Целями большинства усовершенствованных систем регулирования технологическими процессами являются изменения показателей экономического функционирования технологических агрегатов: повышение их производительности или увеличение выхода ценных продуктов, или стабилизация качества продукции, или снижение энергетических затрат на единицу продукции и т. п..

При обычном ПИД регулировании стабилизация технологического процесса задается в достаточно “безопасном” диапазоне, обеспечивающем приемлемые, но не лучшие эксплуатационные характеристики. Ввиду этого, например, может существовать значительное расхождение между фактической и потенциально возможной производительностью технологического агрегата. Зарубежные исследования показывают, что до 5% производительности агрегатов могут быть утеряны в результате этого расхождения.

В иностранных источниках приведены различные примеры высокой доходности функционирования различных систем совершенного регулирования. Так, применение многопараметрического предикт-контроллера, охватывающего в качестве объекта управления достаточно сложный технологический агрегат, позволяет, по этим примерам, получить следующие измеряемые экономические преимущества:

- уменьшение операционных затрат на 2-5 %;
- увеличение производительности по сырью на 1-5 %.

Следует отметить, что получаемая на практике эффективность различных систем совершенного регулирования в значительной степени определяется квалификацией персонала, внедряющего эти системы как со стороны их разработчика, так и со стороны самого предприятия. Сами процедуры обследования объекта, оснащения его виртуальными анализаторами, моделирования зависимостей между управляющими воздействиями и регулируемыми величинами, настройки систем регулирования различных классов требуют достаточно высокой квалификации реализующих их специалистов и соответствующих знаний в технологии работы автоматизируемого агрегата и в используемых и проектируемых системах автоматизации.

Не меньшее значение для постоянного получения возможного эффекта имеют и условия эксплуатации этих систем оперативным персоналом, поскольку их использование и обслуживание значительно сложнее типовых автоматизированных систем АСУТП.

Рациональным путем внедрения различных систем перспективного регулирования технологических процессов на любом предприятии химико-технологического типа является проведение ряда последовательных, а возможно (при наличии высококвалифицированных кадров служб автоматизации и при наличии ресурсов) параллельных мероприятий:

- повсеместное внедрение на технологических агрегатах, оснащенных современными ПТК пакетов программ инспекции работы ПИД регуляторов;

- постепенное внедрение алгоритмов самонастройки ПИД регуляторов или адаптивных ПИД регуляторов, начиная с агрегатов, обслуживаемых наиболее квалифицированными кадрами;

- выявление входных, режимных, выходных потоков технологических агрегатов, качественные показатели которых не измеряются поточными анализаторами, но знание их текущих значений может улучшить качество управления агрегатами. Разработка, внедрение и освоение виртуальных анализаторов на указанных агрегатах;

- обследование основных технологических агрегатов производства с целью выбора тех из них, которые удовлетворяют следующим условиям:

- внедрение предикт-контроллеров на них должно дать значительный экономический эффект;

- они достаточно полно оснащены современными ПТК и средствами полевого уровня;

- их персонал по своей квалификации достаточен для освоения рациональной эксплуатации предикт-контроллеров.

На отобранных агрегатах целесообразно внедрение предикт-контроллеров.

30.3. Моделирование технологических процессов как основа их оптимального управления

Динамическая или статическая оптимизация работы отдельного технологического агрегата или комплекса взаимосвязанных технологических агрегатов реализуется путем решения соответствующей задачи математического программирования. Система оптимизации устанавливается либо вместо, либо (что гораздо чаще) над ПИД или предикт-контроллерами отдельных агрегатов. Обычно она реализуется в режиме

реального времени на базе достаточно точной и периодически калибруемой (актуализируемой) модели работы агрегатов. Такие модели приобретаются у их производителей, которыми являются ряд крупных зарубежных компаний и некоторые российские фирмы.

30.3.1. Модели типовых процессов химико-технологического производства

Многие зарубежные фирмы, выпускающие средства и системы автоматизации производства, специализируются также на разработке статических и динамических моделей типовых процессов химико-технологического производства. Модели строятся на базе кинетических, термодинамических, химических соотношений и калибруются при внедрении на конкретном технологическом агрегате. Точность таких моделей в стационарном режиме работы агрегата доходит до 3-5%. Они применяются не только для оперативной оптимизации технологического процесса, но и для имитации процесса в компьютерных тренажерах, для проверки проектных решений при строительстве технологических агрегатов или при их модернизации.

Разрабатываются и распространяются различные варианты моделей типовых технологических процессов:

- динамические и статические модели работы отдельных блоков технологических агрегатов, модели работы самих агрегатов, модели работы ряда взаимосвязанных материальными потоками агрегатов;
- модели линейной и нелинейной математической структуры, различающиеся классом точности имитации технологического процесса.

Достижение достаточно высокой точности воспроизведения реальных текущих характеристик технологических процессов базируется, в том числе, на постоянной проверке, актуализации и корректировке параметров моделей по текущим показателям работы технологических агрегатов.

Имитация на компьютере работы технологических агрегатов и их взаимодействующих комплексов на базе моделей имеет достаточно широкий диапазон использования:

- руководство предприятий на этой базе проводит стратегические исследования по устранению узких мест производства, по внедрению новых технологических агрегатов и модернизации действующих, по изменению выпускаемой продукции;
- технологические службы применяют модели отдельных агрегатов для анализа режимов их работы и для решения оперативных задач выбора рациональных режимов, связанных, например, с изменением свойств сырья, путем просмотра на модели вариантов работы агрегатов

типа “что, если”;

- производственные службы на моделях определяют максимально возможную производительность агрегатов, фиксируют насколько существующая производительность отличается от нее и оценивают имеющиеся ограничения;

- службы автоматизации на базе динамических и статических моделей агрегатов проверяют работу системы контроля и управления отдельными агрегатами и их взаимосвязанными комплексами;

- проектные организации имитируют на моделях отдельных агрегатов и модели всего производства различные варианты работы агрегатов, различные конфигурации технологической схемы производства и выбирают рациональную производственную схему;

- фирмы, разрабатывающие компьютерные тренажеры, используют модели технологических процессов при создании учебных и тренажерных комплексов для операторов отдельных агрегатов.

Модели могут быть реализованы на серверах и на персональных компьютерах. Они имеют интерфейс OPC, могут интегрироваться с программой Excel, работают с типовыми реляционными СУБД: SQL Server, Oracle, Access и др.. Доступ к СУБД реализуется с помощью языка SQL и драйвера ODBC.

Системы оптимального управления технологическими агрегатами, построенные на базе подобных моделей, реализуются на отдельных компьютерах со значительными вычислительными ресурсами и непосредственно связываются с ПТК агрегатов, которые охватываются системой оптимизации.

Модели работы технологических агрегатов и производства в целом являются эффективным инструментом для работ по рациональному построению и функционированию производства технологического типа. Модели приобретаются для персонала разных специальностей: проектантов технологических установок и производства в целом, разработчиков систем контроля и управления технологическими процессами, технологов действующих предприятий, специалистов по автоматизации производства, создателей компьютерных тренажеров. Каждый тип пользователей имеет свои требования к составу, структуре и точности моделей, к диапазону их моделирования реальных процессов, к их методике использования для необходимых ему целей, к требуемой для моделирования и удобной для него технической базе.

Одни и те же модели позволяют разным специалистам решать разнообразные производственные задачи, что устанавливает взаимопонимание между ними и экономит расходы на решение разнотипных задач. Рационализация проектов и совершенствование функционирования

технологических производств, а также повышение квалификации обслуживающих их специалистов во многом базируются на использовании моделей технологических агрегатов и производства в целом. По данным зарубежных источников применение непрерывно актуализируемых моделей агрегатов для оптимизации их функционирования дает существенный экономический эффект.

Стоимость модели любого технологического агрегата очень сильно зависит от большого числа факторов и может достигать до 100 тысяч долларов.

Интервал времени от приобретения модели агрегата или ее сборки из готовых моделей блоков агрегата до ее установки, калибровки и освоения персоналом занимает не менее нескольких месяцев.

Моделирование технологических агрегатов и производства в целом обычно касается работы в стационарном режиме, что и реализуется разнообразными моделями типовых технологических процессов разных отраслей промышленности. Например, разными производителями разработаны и предлагаются следующие варианты моделей:

- статические и динамические модели технологических агрегатов нефтеперерабатывающего производства: модели каталитического крекинга, каталитического риформинга, гидрокрекинга, гидроочистки, атмосферной и вакуумной перегонки, висбрекинга, ректификационных колонн, процесса смешивания и т. д.;

- статические и динамические модели агрегатов нефтехимического и химического производства: различных теплообменников (трубчатых, с поперечным потоком, экономайзеров), циклонов, фильтров, холодильников, термодинамических агрегатов, реакторов различных типов, нагревательных печей, компрессоров т. д.;

- модели процессов очистки стоков, процессов очисток газов, процессов алкилирования, процессов изомеризации в производствах разных классов;

- модели взаимосвязанных технологических агрегатов для построения общей модели производства.

Все эти модели всегда используются после предварительной конкретной калибровки, т. е. После подстройки их параметров под текущие показатели работы агрегата. Распространенные варианты применения моделей:

- разработка и функционирование, на основе модели, системы оптимизации работы агрегата путем решения соответствующей задачи математического программирования по заданному критерию (обычно, алгоритм оптимизации по заданному критерию есть решение задачи линейного или нелинейного, или квадратичного, или целочисленного

программирования математического выражения актуализированной модели технологического процесса). Одним из вариантов системы оптимизации работы агрегата является использование экономического критерия оптимизации, учитывающего текущие цены на сырьевые компоненты и выпускаемые продукты.

- предсказание на модели будущего режима работы агрегата при любых изменениях возмущающих факторов;

- выбор на модели наилучшего по текущим экономическим данным режима работы агрегата;

- анализ на модели возможных вариантов работы агрегата типа, “что, если”;

- оптимизация смешения компонентов на базе модели смешения.

Практическое внедрение систем оптимального управления отдельными технологическими агрегатами носит пока скорее не массовый, а единичный характер в мировой практике.

Технические требования к конкретным моделям полностью определяются целью их приобретения, а поскольку таких целей множество и специализация и квалификация их потенциальных пользователей в работе с моделями сугубо различна, то и сами модели по сложности построения и наладке, простоте использования, способу применения далеко не идентичны, поэтому и требования к ним уникальны и специфичны в каждом конкретном случае их выбора.

Можно только отметить несколько общих факторов их выбора:

- подробное рассмотрение особенностей моделирования конкретного агрегата, предлагаемых разными производителями моделей, исходя из заданной цели приобретения модели;

- целесообразность анализа как технических характеристик модели, так и ее всех стоимостных затрат, включая особенности лицензии ее владения;

- квалификация специалистов продавца по наладке модели, настройке ее параметров и обучению пользователей.

Пятая часть

Особенности управления всеми этапами жизненного цикла АСУТП

Раздел XI.

Методы планирования АСУТП

Общие положения

В последнее время на предприятиях усиливается внимание к мероприятиям по автоматизации технологических агрегатов. Этому способствует ряд причин:

- весьма существенный физический (уже не говоря о моральном) износ подавляющего числа эксплуатируемых средств и систем автоматизации агрегатов;

- необходимое повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции (особенно на внешнем рынке сбыта), поскольку быстрота и качество реакции на оперативные колебания спроса и цены на выпускаемую предприятием продукцию в значительной степени определяется наличием современных автоматизированных систем управления технологическими процессами;

- строительство новых технологических агрегатов и необходимость их оснащения современными средствами и системами автоматизации.

В то же время, повсеместно ужесточается надзор за расходованием финансовых средств на инновационные мероприятия, к которым относится и автоматизация производства; в связи с этим повышаются требования к соответствующей отдаче на вложенные в автоматизацию инвестиции.

Целями развития систем автоматизации технологических агрегатов является улучшение основных показателей работы предприятия:

- усиление конкурентоспособности,
- повышение качества продукции;
- сокращение ее себестоимости,
- снижение риска аварийных ситуаций,
- уменьшение вредных воздействий на окружающую среду,
- улучшение условий труда работников предприятия и т. п..

Проведенные в последние годы обследования многих предприятий разных технологических отраслей показывают, что не редко выделяемые финансовые ресурсы на развитие АСУТП расходуются достаточно хаотично, без должного обоснования эффективности их вложения. Часто финансы выделяются на разработку/модернизацию отдельных АСУТП по следующим причинам:

- ввиду настойчивых просьб отдельных цеховых руководителей;
- поддавшись влиянию рекламных заявлений производителей средств и систем;

- из-за желания обеспечить новыми средствами/системами автоматизации наиболее квалифицированных операторов производства (при существенной разнице в квалификации персонала, управляющего технологическими агрегатами в отдельных участках и цехах производства);
- в силу субъективных предпочтений руководства предприятия определенным участкам производства, никак не обоснованных внешними обстоятельствами.

Ввиду этого становится очевидной актуальность проблемы наиболее эффективного использования выделяемых финансовых ресурсов для целесообразного развития систем автоматизации технологических агрегатов. Обычно цель такого развития определяют, как достижение рационального уровня их автоматизации.

Под термином «Рациональный уровень автоматизации технологического агрегата» будем понимать такой набор автоматизируемых в нем функций и определяющих их характеристик, который обладает следующими особенностями:

- с одной стороны, он принципиально возможен при использовании современных, перспективных программных и технических средств и систем автоматизации;

- с другой стороны, он наиболее эффективен и экономически выгоден для рассматриваемого технологического агрегата, поскольку его использование расширяет границы автоматизации; позволяет автоматизировать новые, ранее не охваченные функции контроля и управления; приводит к более точному, надежному, качественному и экономичному протеканию технологического процесса.

Глава 31. Прогноз эффективности планируемых разработок АСУТП

На этапе планирования развития АСУ технологических агрегатов производства, обоснования затрат на их реализацию, выбор классов технических и программных средств для конкретной реализации отдельных АСУТП важен прогноз эффективности планируемых АСУТП, который обосновывает необходимость их развития. Однако, такой прогноз является не простой задачей, поскольку непосредственных исходных данных о будущих показателях работы конкретных, планируемых систем автоматизации (за редким исключением) нет.

Обычным требованием руководящего персонала предприятия, принимающего решения о выделении финансовых ресурсов на автоматизацию производства, является оценка прогноза дополнительной прибыли, которая получится от внедрения планируемых АСУТП. Значение этой

же оценки является одним из главных аргументов заказчика при выборе конкретных программных и технических средств автоматизации из ряда возможных вариантов. При этом, естественно, чем выше показываемая, прогнозируемая, дополнительная прибыль от АСУТП, тем важнее считается заказчиком ее внедрение и тем скорее будут выделены средства на реализацию соответствующей системы автоматизации.

На практике понятие эффективности значительно шире обоснованно возможной на данном этапе количественной оценки получения дополнительной прибыли.

Эффективность – это значимость (важность) системы/средства для предприятия в данное время, состоящая из ряда разнородных, количественных и качественных факторов, большинство из которых, к сожалению, не может быть вычислено в экономических терминах, но является не менее важными и обосновывается различными количественными, а чаще качественными показателями иного плана.

В иностранной литературе под термином **«эффективность внедрения систем автоматизации»** принято выделять следующие компоненты:

- «твердую» компоненту эффективности, которая принципиально может быть количественно пересчитана в дополнительную прибыль предприятия (например, через увеличение производительности или через снижение затрат производства, или через повышение сортности готовой продукции), Применительно к АСУТП это могут быть функции, реализация которых не косвенно, а непосредственно приводит к экономии материальных и/или энергетических ресурсов или функции, непосредственно изменяющие производительность всего производства и/или качество (сортность) готовой продукции;

- «мягкую» компоненту эффективности, которая, несомненно, скажется на основных (в том числе, экономических) показателях работы производства, но количественно не может быть обоснованно пересчитана в дополнительную прибыль (например, из-за принципиально не имеющих исходных для вычисления данных.). Применительно к АСУТП это могут быть, например, функции полного и точного оперативного контроля и учета работы агрегата, повышающие текущую информированность операторов о ходе автоматизируемого процесса или функции противоаварийной защиты, обеспечивающие снижение вероятности аварийных ситуаций;

- «технически неосязаемую» компоненту эффективности, качественно проявляемую в различных аспектах контроля и управления агрегатом. Применительно к АСУТП это может быть, например, совершенствование социальных условий труда персонала АСУТП: более

полное информационное обеспечение операторов, снижающее их нагрузку и уменьшающее ошибочные и замедленные их реакции на нештатные ситуации; модернизация взаимосвязей системы автоматизации с операторами, заметно повышающая удобство работы операторов.

Следует иметь в виду, что в случае, если системы автоматизации непосредственно не воздействуют на автоматизируемый объект, а вырабатывают необходимые исходные данные для управления и/или реализуют компьютерную поддержку управляющим решениям операторов, то достижение определенной «твердой» компоненты эффективности (получения дополнительной прибыли) от их работы наблюдается только при определенных мероприятиях организационного и административного характера, затрагивающих использующих эти системы операторов.

Не подлежит сомнению, что в первую очередь подлежат разработке современные системы автоматизации для тех технологических агрегатов, на которых будет обеспечена наибольшая эффективность этих систем, под которой понимается совокупность всех перечисленных составляющих общей эффективности.

Ниже рассматриваются возможные компоненты эффективности внедрения АСУТП.

31.1. Изменения показателей работы автоматизируемого агрегата, обоснованно пересчитываемые в экономические показатели

Основные изменения работы агрегата, непосредственно переводимые в экономические, стоимостные показатели («твердую» компоненту эффективности).

1. Изменение режима работы агрегата, непосредственно приводящее к повышению производительности автоматизируемого участка производства. Оно целесообразно и экономически просчитываемо в случаях:

- если данный агрегат является узким местом производства и повышение его производительности приводит к росту выпуска готовой продукции, излишек которой затребован рынком;
- если повышение производительности данного агрегата снижает загрузку других агрегатов или участков производства и, тем самым, снижает общие затраты на выпуск продукции.

2. Изменение режима работы агрегата, непосредственно приводящее к улучшению качества продукции (полуфабриката), вырабатываемой этим агрегатом. Оно целесообразно и экономически просчитываемо, если:

- это улучшение непосредственно переводит готовую продукцию в

другой сорт более высокой стоимости;

- это улучшение снижает процент брака полуфабриката или готовой продукции;

- это улучшение качества полуфабриката приводит в последующих по производственной цепи участках производства к уменьшению затрат на его дальнейшую переработку.

3. Изменение режима работы агрегата, непосредственно приводящее к экономии материальных и/или энергетических ресурсов. Оно целесообразно и экономически просчитываемо, если при этом не ухудшаются качественные и количественные показатели выпускаемой продукции.

4. Уменьшение амплитуды колебаний (разброса) режимных величин агрегата (более точная стабилизация режима его работы). Оно целесообразно и экономически просчитываемо, если:

- позволяет приблизить режим работы к границе допустимого диапазона без опасности его перехода и тем самым экономить энергетические и материальные ресурсы, используемые агрегатом;

- позволяет снизить выпуск низкосортной (или бракованной) готовой продукции или полуфабриката за счет уменьшения разброса их качественных показателей.

31. 2. Изменения показателей работы автоматизируемого агрегата, которые обоснованно не переводятся в экономические показатели

Есть целый ряд бесспорных технических инноваций, базирующихся на развитии автоматизации агрегата и совершенствующих режим его функционирования, по которым затруднительно, а большей частью невозможно практически обоснованно прогнозировать конкретную экономию, получаемую предприятием (как выше отмечено «мягкая и технически неосязаемая компоненты эффективности»). Ниже приведены подобные производственные изменения, возникающие при реализации и совершенствовании отдельных функций АСУТП, и пояснены причины невозможности их обоснованного перевода в стоимостные экономические показатели.

1. Повышение надежности функционирования АСУТП за счет резервирования ее отдельных средств и, особенно, путем построения автоматических систем противоаварийной защиты (систем ПАЗ). Если существуют практически полученные статистические оценки числа остановок агрегата и аварий при отсутствии и при наличии планируемой системы противоаварийной защиты, то, зная потери производства от остановок и аварий, не составляет труда прогнозировать количественный экономический эффект от функционирования рассматриваемой

системы. Однако, предположение о наличии таких статистических оценок представляется достаточно утопичным, поскольку остановки агрегата по причинам, связанным с неисправностями АСУТП, и с различными видами аварий, естественно, чрезвычайно редки, а поэтому оценка обоснованного, количественного экономического эффекта от повышения надежности АСУТП обычно не может быть рассчитана из-за отсутствия исходных данных, хотя, бесспорно, она достаточно высока.

2. Улучшение контроля и учета хода технологического процесса путем совершенствования АСУТП: увеличения числа и точности измеряемых автоматически режимных величин; повышения стабильности измерений; расчета текущих технико-экономических показателей работы автоматизируемого агрегата. Данные мероприятия практически всегда оказывают положительное влияние на качество управления и на точность стабилизации заданных режимов. Кроме того, они способствуют более бережному потреблению ресурсов агрегатом; но реальный экономический эффект от внедрения этих мероприятий будет зависеть от способов использования новых и уточненных данных управляющим персоналом, а для его прогноза обычно нет достоверных данных о возможных реакциях операторов. Поведение операторов в основном определяется существующими административными мерами управления персоналом. Поэтому практически получение экономического эффекта от приведенных улучшений в действительности неизвестно, поскольку он может оцениваться только анализом совместной работы системы автоматизации и специалистов, ее использующих.

3. Снижение экологического загрязнения окружающей среды за счет использования в АСУТП средств автоматического экологического мониторинга окружающей среды и прогноза промышленных выбросов. Естественно, что подобные средства играют важную техническую и социальную роль, но прогноз экономической эффективности от их внедрения требует знания статистики происшедших выбросов; причин их возникновения; выделения причин, определяемых отсутствием рассматриваемых средств автоматизации и т. п. исходных данных, получение на практике которых весьма маловероятно. Не менее важно и то, что наличие средств автоматического экологического мониторинга позволяет снизить общий фон экологического загрязнения среды даже при отсутствии выхода этих загрязнений за наказываемый штрафом уровень. Такое снижение загрязнений имеет существенный общественный эффект, но не оказывает количественного экономического влияния на предприятие, поскольку у него отсутствуют соответствующие материальные стимулы.

4. Улучшение социальных условий труда операторов и обслуживающих систему автоматизации агрегата инженерного персонала за счет автоматизации их рутинных работ, перевода документооборота в электронный формат, представления информации персоналу на базе эргономических нововведений, базирующихся на возможностях современных систем автоматизации; взаимосвязей персонала в электронном, документируемом виде. Способ обоснованного перевода этих положительных качественных изменений в количественные, экономические показатели отсутствует.

Невозможность обоснованного, экономического прогноза от совершенствования и внедрения отдельных автоматизированных функций в АСУТП затрудняет сопоставление различных вариантов АСУТП для одного агрегата и сравнение эффективности внедрения АСУТП на различных агрегатах производства, а, следовательно, и выяснение целесообразности выделения финансовых средств на их разработку и внедрение. В то же время на рассматриваемом этапе выработки решений по развитию автоматизации технологических агрегатов необходимо иметь некоторое единое представление об эффективности планируемых АСУТП, позволяющее сопоставлять важность их внедрения для предприятия. Это достигается ориентированием на понятие общей эффективности автоматизации, а не на его одну компоненту «дополнительную прибыль от АСУТП» при прогнозе и сопоставлении эффективности ряда планируемых систем автоматизации.

31.3. Метод прогноза оценки дополнительной прибыли от имеющихся «твердых компонентов» эффективности в планируемой системе автоматизации

Будем считать, что планируемая система автоматизации обоснованно вызовет такие изменения в работе агрегата, которые непосредственно могут быть переведены в экономические показатели. Рассмотрим метод оценки прогноза дополнительной прибыли от внедрения этой системы.

Ниже при приведении конкретных расчетных формул используются следующие ограничения, которые учитывают сравнительно невысокую (оценочную) точность прогноза дополнительной прибыли:

- пренебрегаем эксплуатационными затратами по обслуживанию системы и отчислениями на ее реновацию,
- пренебрегаем остаточной (ликвидной) стоимостью основных фондов, выбывших из эксплуатации в связи с внедрением системы автоматизации (отдельных помещений, оборудования, пультов, приборов),
- пренебрегаем НДС при осуществлении капитальных вложений,

налогами на прибыль и на имущество;

- пренебрегаем возможным ускорением оборачиваемости оборотных средств в первый год эксплуатации системы, если работа системы сказывается на снижении сверхнормативных запасов на складах, на ускорении расчетов с потребителями и поставщиками.

Основные положения оценки прогноза дополнительной прибыли.

1. Оценка экономической эффективности системы автоматизации производится на основе сопоставления затрат на ее создание и доходов от ее функционирования за все время разработки и функционирования системы.

2. Все капитальные вложения на создание системы (приобретение средств, проектные, монтажно-наладочные работы) заканчиваются к моменту сдачи системы в промышленную эксплуатацию. В расчетах не учитываются какие-либо капитальные затраты на модернизацию системы во время ее функционирования.

3. Срок службы систем автоматизации различных классов принимается равным 10 годам, что примерно соответствует сроку морального старения средств автоматики.

4. Общий уровень существующих на момент расчета цен на все ресурсы и продукцию предприятия принимается неизменным на весь период разработки и функционирования системы.

5. Продукция предприятия, на котором реализуется система автоматизации, имеет рынок сбыта во все время функционирования системы.

6. Годовая дополнительная прибыль (ежегодная доходность) от работы системы автоматизации постоянна по всем годам функционирования системы и здесь, как обычно принято, равна доходу, полученному на втором году ее эксплуатации.

7. Неравноценность разновременных затрат и доходов учитывается в расчетах путем дисконтирования денежных потоков. Дисконтированием называется процедура, позволяющая приводить разновременные затраты и доходы в денежном выражении к сопоставимому виду с учетом их неравноценности к одному моменту времени. Все разновременные денежные потоки приводятся к году сдачи системы в промышленную эксплуатацию с помощью коэффициента дисконтирования, который отражает относительную ценность финансовых средств определенного года по сравнению с финансовыми средствами в году приведения.

Годом приведения обычно считается год ввода системы автоматизации в промышленную эксплуатацию. Если численно принять этот год за 0 (нулевой), то численные обозначения лет функционирования системы автоматизации: 1, 2, 3, ..., T, где T - срок службы (принято $T=10$), а численные обозначения лет капитальных вложений в систему: 0, -1, -2,

...-S, где -S - год начала разработки и внедрения системы.

Коэффициент дисконтирования α_t , определяется функцией сложных процентов:

$$\alpha_t = (1 + E)^{-t},$$

где E – норма дисконта, которая в настоящее время принята равной 0.1,

t – год осуществления затрат и доходов.

Капитальные вложения на систему за время разработки и внедрения с учетом дисконтирования:

$$K_O = \sum_{t=-S}^0 k_t \alpha_t,$$

где K_O – общие капитальные вложения на систему,

k_t – капитальные вложения в t-ом году.

Доходы за время функционирования системы с учетом дисконтирования:

$$Q_0 = q_1 \sum_{t=0}^T \alpha_t,$$

где Q_0 – общие дополнительные доходы за все время функционирования системы автоматизации,

q_1 – дополнительный доход во 2-ой год промышленной эксплуатации системы, приведенный к году ввода системы автоматизации в промышленную эксплуатацию. Считаем его одинаковым для любого года функционирования системы.

Как видно из приведенной ниже таблицы при разновременных затратах и доходах использование коэффициента дисконтирования сильно влияет на общую интегральную эффективность.

Таблица

Число лет, предшествующих году приведения расчетов	α_t	Число лет, следующих за годом приведения расчетов	α_t
		1	0,91
		2	0,83
		3	0,75
		4	0,68
-5	1,61	5	0,62
-4	1,46	6	0,56
-3	1,33	7	0,51
-2	1,21	8	0,47
-1	1,10	9	0,42
0	1,00	10	0,39

Интегральный дисконтированный экономический эффект при приведенных выше ограничениях за все время разработки, внедрения, функционирования системы автоматизации определяется следующим выражением:

$$R_0 = Q_0 - K_0 .$$

Выбор **наиболее экономически эффективного варианта** системы автоматизации из ряда рассматриваемых вариантов есть выбор варианта системы, у которого величина R_0 имеет максимальное значение.

Важным **ограничительным** показателем является срок окупаемости капитальных вложений в систему автоматизации, определяемый с учетом дисконтирования:

$$T_{ок} = K_0 / q_1 .$$

Он определяет продолжительность наименьшего периода времени, по истечении которого накопленный дисконтированный эффект становится положительным и в дальнейшем остается не отрицательным. При оценке эффективности срок окупаемости выступает в **качестве ограничительного условия**. Использовать срок окупаемости в качестве критерия нахождения наилучшего варианта системы (как еще часто делается на практике и даже в ряде руководящих отраслевых документах) **абсолютно неправильно**. Можно на ряде примеров показать, что вариант системы с наименьшим сроком окупаемости может давать не самый большой интегральный экономический эффект.

Подробно методика расчета экономического эффекта от любых инвестиционных проектов изложена в [1]. Конкретный способ расчета дополнительной прибыли от внедрения системы автоматизации приведен в [2].

31.4. Оценка общей эффективности внедрения планируемой АСУТП

Общая эффективность внедрения АСУТП является совокупной оценкой следующих компонентов эффективности, которые могут быть объективно и обоснованно достигнуты при внедрении АСУТП:

- экономическая эффективность, выражаемая количественной оценкой **дополнительной** прибыли от внедрения АСУТП;
- техническая эффективность, выражаемая **количественными** оценками типа уменьшения колебательности (дисперсии) регулируемых величин, снижения числа выходов технологических показателей за заданный диапазон изменения; **качественными** описаниями типа повышения надежности функционирования систем контроля и управления, включения в автоматизируемые функции мониторинга состояния

основного оборудования агрегата и т. п.:

- эффективность противоаварийной защиты, качественно определяемая повышением надежности работы агрегата и уровнем снижением потерь при возникновении нештатных и аварийных ситуаций;

- экологическая эффективность, выражаемая качественными описаниями типа внедрения специальных датчиков экологических показателей, реализации функции автоматического прогнозирования промышленных выбросов, более точной автоматической стабилизацией показателей, ответственных за экологическую чистоту отходов производства;

- социальная эффективность, фиксируемая качественными описаниями последствий внедрения АСУТП на работу оперативного и обслуживающего персонала; типа снижения загрузки операторов, более комфортных условий их работы, сокращения контрольных и ремонтных функций у службы КИПиА и т. п..

Следует отметить, что внедрение почти каждой АСУТП обычно приводит к ряду разнородных компонентов эффективности; например, к технической и социальной эффективности или к экономическому, противоаварийному и экологическому эффектам. Естественно, что все эти частные виды эффективности должны учитываться как составляющие компоненты оценки общей эффективности реализации системы.

Оценку общей эффективности планируемой АСУТП при имеющихся качественных и количественных оценках компонентов эффективности, из-за их разнородности (они выражаются в разных, формально не сопоставимых показателях) нельзя чисто математическим путем рассчитать. Она может быть получена только экспертным путем. В большинстве случаев после рассмотрения всех компонентов эффективности различных АСУТП руководством предприятия становится ясным степень важности и приоритетность их внедрения.

Возможна и более тщательная, формальная процедура сопоставления различных АСУТП по их общей эффективности. Такая процедура экспертного оценивания общей эффективности различных вариантов АСУТП на одном агрегате или сопоставления эффективности автоматизации разных агрегатов производства состоит из следующих этапов:

- руководство предприятия - распорядитель финансовых ресурсов выбирает группу экспертов для оценки степени влияния внедрения каждого предложенного АСУТП на отдельные компоненты эффективности и на общее ранжирование всех рассматриваемых вариантов АСУТП;

- руководство предприятия назначает вес значимости каждому компоненту общей эффективности, учитывающий его важность для предприятия в настоящее время, и задает эти веса экспертам, которые будут

учитывать их при выдаче оценок отдельным АСУТП по каждому компоненту эффективности;

- эксперты анализируют различные варианты АСУТП по влиянию их внедрения на различные компоненты эффективности и по определенной, заданной им шкале оценивают влияние внедрения каждого варианта АСУТП на каждый компонент эффективности;

- по поставленным экспертами оценкам и заданным руководством предприятия весам значимости компонентов для предприятия в компьютере решается многокритериальная задача ранжирования рассматриваемых вариантов АСУТП и вычисляется обобщенная оценка общей эффективности каждого варианта АСУТП. Компьютерная программа многокритериального выбора усредняет мнения экспертов по разным критериям каждого предложения и вычисляет с учетом весов критериев итоговую, общую ранжировку рассматриваемых вариантов АСУТП.

Вычисляемая общая оценка каждого конкурсного предложения есть взвешенная сумма оценок конкурсного предложения разными экспертами по отдельным критериям.

Следует отметить, что при проведении подобной экспертизы руководство предприятия может расширить задачу ранжирования различных АСУТП по их эффективности, включив в число оцениваемых показателей внедрения АСУТП, кроме компонентов их эффективности, некоторые другие существенные для текущего состояния производства характеристики рассматриваемых систем. Например:

- целесообразность внедрения данного варианта АСУТП как базы для дальнейшего развития автоматизации производства;

- значимость для работы предприятия участка производства, на котором должна быть внедрена данная АСУТП;

- рациональность внедрения данной АСУТП для расшивки «узкого места» производства продукции.

В этом случае решение поставленной задачи дает уже не столько ранжировку различных АСУТП по их общей эффективности, а их ранжировку по важности внедрения в настоящее время.

Особенно существенно проведение рассмотренной процедуры при выборе агрегата, на котором следует внедрить новую АСУТП, если выделенные на автоматизацию производства финансовые ресурсы достаточны лишь на построение одного АСУТП какого-либо агрегата производства.

Следует отметить возможную сложность понимания рассмотренного экспертного понятия «Общая эффективность автоматизации» руководством предприятия, поскольку оно отличается от привычной для них прогнозируемой количественной оценки дополнительной

прибыли, которую им обычно предоставляют разработчики любой автоматизированной системы управления. Последние выдают требуемые руководством оценки, которые в ряде случаев являются абсолютно произвольными, поскольку в известные формулы расчета экономической эффективности подставляются исходные данные о количественных изменениях показателей производства в результате внедрения систем, полученные достаточно простым и давно известным путем, носящим название «Пол, потолок и четыре стены».

Ввиду этого принятие заказчиками непривычного, но обоснованного, экспертного понятия прогнозируемой общей эффективности систем автоматизации требует специальных разъяснений, как руководству предприятия, так и руководству службы автоматизации.

Глава 32. Методика разработки концепции рационального развития автоматизации технологических агрегатов

Комплексный анализ производства, планирование и обоснование конкретных мероприятий для достижения рационального уровня автоматизации технологических агрегатов производства большей частью именуется разработкой концепции развития систем автоматизации технологических агрегатов. Иногда они проводятся под заглавиями «Мастер-план разработок АСУТП» или «Инновационный замысел автоматизации технологических агрегатов».

В концепции должны определяться и обосновываться следующие положения:

- анализ узких мест производства и наиболее нестабильных переделов, работа которых может быть улучшена их автоматизацией;
- отбор целесообразных мероприятий по развитию автоматизации технологических агрегатов, конкретизация средств и систем для их реализации, примерные затраты на их разработку, прогнозируемая эффективность их внедрения;
- ранжировка выделенных мероприятий по важности внедрения, по требуемым ресурсам, по готовности производства к их внедрению;
- планирование рациональной последовательности внедрения отдельных систем, учитывающее информационные и управляющие взаимосвязи отдельных систем между собою и с существующими системами АСУТП;
- выделение важнейших особенностей отдельных систем, которые должны быть учтены при разработке технических требований на их создание;
- построение общей стратегии развития АСУТП всех цехов производства, обобщающее все указанные выше положения.

32.1. Методика поэтапной разработки концепции автоматизации

1-ый этап. Анализ существующего уровня автоматизации технологических агрегатов.

На первом этапе проводится обследование действующих систем автоматизации технологических агрегатов, составляющих их технических и программных средств и выполняемых ими функций контроля, учета и управления. Фиксируются их текущие свойства и характеристики надежности, точности, качества работы, стабильности, ремонтпригодности, удобства работы операторов с ними. Выявляются физически изношенные и/или морально устаревшие средства и системы и, в соответствии с этим, выделяются требующие замены средства и системы автоматизации, подлежащие модернизации системы, рекомендуемые новые системы автоматизации. Одновременно выделяются удовлетворительно работающие системы автоматизации, не требующие каких-либо изменений.

Ниже выделены наиболее важные показатели систем автоматизации технологических агрегатов, подлежащие рассмотрению.

1. Качество работы отдельных датчиков: точность, чувствительность, воспроизводимость, реактивность, надежность.

2. Погрешности работы систем регулирования и имеющиеся причины их неудовлетворительной точности.

3. Частота, средние интервалы времени и причины отключения отдельных систем автоматического регулирования, которые заменяются переводом отдельных показателей на ручное управление.

На этом этапе выявляются потери, определяемые недостаточной автоматизацией технологических агрегатов. В первую очередь, оценку различного вида потерь следует проводить в важнейших, с точки зрения имеющихся резервов производства, подразделениях, которыми являются:

- агрегаты, ограничивающие производительность предприятия (узкие места производства по производительности);

- агрегаты с наибольшим (а часто и со сверхнормативным) потреблением энергетических ресурсов;

- агрегаты, в которых наиболее значительны материальные потери;

- агрегаты, в наибольшей степени ответственные за качество выпускаемой, готовой продукции;

- агрегаты, на которых наблюдаются достаточно частые отказы отдельных единиц оборудования, сказывающиеся на показателях работы агрегатов;

- агрегаты, изменение режимов работы в которых достаточно трудоемко, что препятствует быстрой реакции производства на текущие

изменения рынка к спросу на различные виды продукции предприятия.

Следует особо остановиться на применяемом способе обследования действующих систем автоматизации. В последнее время на отдельных предприятиях разных отраслей стали использовать для этой цели метод анкетирования персонала предприятия. Достаточно широкая распространенность этого метода объясняется его простотой, дешевизной и возможностью минимизировать занятость квалифицированных специалистов. Как показал опыт проведения этого этапа на нескольких предприятиях, анкетированием (даже при абсолютно четкой и конкретной формулировке вопросов в анкете) нельзя получить объективные сопоставительные данные об особенностях характеристик и качестве работы отдельных систем автоматизации. Это связано с тем, что заполнением анкет на разных участках предприятия занимаются разные специалисты, имеющие разную квалификацию, часто не достаточно объективно относящиеся к обслуживаемым ими средствам и системам автоматизации, да и не всегда заинтересованные в выдаче достоверных данных. Только непосредственное обследование группой независимых специалистов может фиксировать реально существующий на предприятии уровень автоматизации производства.

Результатом выполнения этого этапа является объективная и всесторонняя фотография существующих средств и систем автоматизации технологических агрегатов, основных характеристик их функционирования, а также недостатков и неполноты автоматизации агрегатов.

2-ой этап. Определение мероприятий по рациональному повышению уровня автоматизации технологических агрегатов.

На этом этапе по каждому производственному участку предприятия изучаются имеющиеся у него резервы по повышению производительности, улучшению качества производимой продукции, снижению энергопотребления и себестоимости, стабилизации работы оборудования, уменьшению риска аварийных ситуаций, снижению промышленных выбросов в окружающую среду, которые напрямую определяются существующими способами контроля и управления технологическими агрегатами и могут быть выбраны заменой, модернизацией и внедрением новых средств и систем автоматизации. Анализируется работа оперативного персонала и отдельных систем автоматизации с целью определения, за счет каких именно мероприятий по разработке АСУТП: модернизации программных и технических средств, систем, их расширения, внедрения новых средств и систем, организационных и административных мероприятий по поддержке персонала АСУТП могут быть выбраны эти резервы производства и получены значимые

для предприятия эффекты. Например:

- за счет замены недостаточно точных и надежных датчиков и установки новых современных приборов контроля и учета различных режимных и качественных показателей;
- за счет модернизации, расширения или замены программно-технического комплекса контроля и управления агрегатом;
- за счет расширения автоматизируемых функций на области оперативного контроля и учета потребляемых агрегатом энергоресурсов и/или текущего мониторинга работы оборудования агрегата и прогнозирования его будущего состояния;
- за счет разработки и применения совершенных алгоритмов контроля и управления технологическим процессом.

Результатом выполнения этого этапа является выявление потерь различного типа, которые несет предприятие за счет недостатков/недоработок существующих АСУТП и ограниченности реализуемых в них функций, а также описание предлагаемых мероприятий по совершенствованию имеющихся и созданию новых АСУТП отдельных агрегатов, которые повысят различные компоненты эффективности их работы, а, следовательно, работы всего производства.

3-ий этап. Конкретизация технической реализации намечаемых разработок по АСУТП

На третьем этапе по каждому технологическому агрегату производится выбор видов конкретной продукции автоматизации и мероприятий для реализации предложенного развития его АСУТП; в частности, фиксируются необходимые классы планируемых к приобретению программных и технических средств и указывается перечень работ по их внедрению для каждого технологического агрегата. Эти конкретные предложения должны учитывать возможности современных программных и технических средств автоматизации разных классов, имеющихся на рынке, и наиболее полно осуществлять требуемые изменения в отдельных АСУТП. В результате определения конкретных видов средств автоматизации, которые нужны для построения каждого АСУТП, возникает возможность провести приближенный расчет необходимых финансовых ресурсов для ее внедрения и прогнозировать общую эффективность его внедрения (метод оценки прогнозируемой общей эффективности АСУТП рассмотрен в предыдущем разделе главы).

Результатом выполнения данного этапа являются заполненные паспорта мероприятий по каждому АСУТП производства. В каждом из них сосредоточена вся информация, необходимая для принятия решения о целесообразности и очередности проведения отдельных работ по построению этого АСУТП:

- существующие свойства и характеристики системы автоматизации

АСУТП и составляющих ее программных и технических средств, степень физического и морального износа средств и системы, действующие нормативы и мотивации персонала АСУТП;

- различного типа резервы и потери производства, связанные с отсутствием современной АСУТП или с ее недостаточно качественной работой, или с неполным охватом ею функций автоматизации;

- конкретные классы технических и программных средств, работ, мероприятий, требующиеся для построения каждой АСУТП, и необходимое для их реализации финансирование;

- прогнозируемые количественные и качественные компоненты общей эффективности внедрения каждого АСУТП.

4-ый этап. Ранжировка рассмотренных вариантов АСУТП и решение о последовательности их внедрения

Для того, чтобы из всей совокупности рассмотренных закупок, работ, мероприятий по повышению уровня автоматизации всех технологических агрегатов производства (по реализации АСУТП на разных агрегатах) выделить АСУТП, подлежащие первоочередной реализации, следует на 4-ом этапе ранжировать их по общей эффективности внедрения, что особенно важно, учитывая ограниченность финансовых ресурсов, выделяемых в каждом плановом периоде на цели автоматизации производства. Достаточно качественный метод такой экспертной ранжировки приведен в предыдущем разделе данной главы.

На практике применяется также существенно более грубый, но более простой способ ранжировки рассмотренных АСУТП. Он состоит из анализа руководством предприятия или организацией, разрабатывающей концепцию, всех составленных паспортов на отдельные АСУТП и мероприятий по их реализации, из содержательного сопоставления их преимуществ для общего развития производства, из сравнения предполагаемых затрат на их разработку с выделяемыми на автоматизацию технологических агрегатов финансовыми ресурсами.

Результатами этого заключительного этапа являются:

- общая ранжировка рассмотренных АСУТП по критериям, заданным руководством предприятия;

- выделение АСУТП, подлежащих первоочередной реализации (или реализации в планируемый период) и их основных характеристик, с учетом имеющихся финансовых ресурсов на реализацию работ по развитию автоматизации технологических агрегатов;

- обоснование решения о нецелесообразности реализации мероприятий по развитию отдельных АСУТП в настоящее время из-за их более низких оценок общей эффективности и недостаточности имеющихся финансовых ресурсов.

Особенности работ по развитию АСУТП в последовательные плановые периоды выделения финансов на их реализацию

Следует отметить, что достаточно трудоемкие первые этапы разработки концепции должны быть проведены на предприятии один раз, в первый год постановки этой задачи руководством предприятия. Все последующие годы (разы) выделения финансовых ресурсов для повышения уровня автоматизации технологических агрегатов следует проводить только следующие работы:

- определять реально достигнутую эффективность уже внедренных АСУТП и сопоставлять ее с ранее прогнозируемой эффективностью на этапе их отбора для внедрения. При существенной разнице прогнозов и фактов анализировать их причины и корректировать (в случае надобности) прогнозы различных компонентов эффективности отобранных, но еще не внедренных АСУТП;

- фиксировать изменения, происходящие с системами автоматизации отдельных АСУТП и с имеющейся продукцией автоматизации на российском рынке, и корректировать паспорта АСУТП в соответствии с этими изменениями;

- пересматривать и, если требует текущая обстановка на предприятии, изменять число и вес отдельных критериев, по которым заново проводится ранжировка АСУТП и корректируется последовательность построения отдельных АСУТП.

Рассмотренная методика составления концепции планирования АСУТП на всех агрегатах производства позволяет отойти от волюнтаризма в решении задачи развития автоматизации технологических процессов и технически грамотно и обоснованно, последовательно год за годом, наиболее эффективно повышать уровень автоматизации технологических агрегатов при существующих ограничениях на выделяемые для этой цели финансовые ресурсы.

Следует подчеркнуть, что рассмотренные здесь способы обследования существующего уровня автоматизации технологических агрегатов и обоснования мероприятий по его повышению имеют ряд более широких последствий, чем решение сформулированной здесь задачи. Их результаты позволяют также:

- составить обоснованную стратегию дальнейшей автоматизации технологических агрегатов на ряд лет вперед;

- определить наиболее эффективную последовательность работ по автоматизации технологических агрегатов, включающих как модернизацию существующих систем; так и разработку новых систем;

- планировать ежегодные финансовые ресурсы на цели

автоматизации технологических агрегатов с обоснованием их необходимости и всесторонней оценкой общей эффективности запрашиваемых на автоматизацию затрат.

Необходимо отметить, что, учитывая специфические особенности создания концепции и важность независимого квалифицированного подхода к ее разработке, целесообразно поручить ее выполнение специализированной, независимой организации.

32.2. Выбор исполнителя работ по созданию концепции развития автоматизации технологических агрегатов

Причины необходимости выбора независимого, компетентного, объективного исполнителя для создания рассматриваемой концепции определяются теми повсеместными, достаточно типовыми недостатками, которые существуют при ее разработке организациями, не обладающими указанными качествами.

Кратко выделим недостатки, связанные с причиной неправильного выбора исполнителя работ, которые выявили проведенные обследования развития АСУТП на предприятиях разных отраслей:

- концепция формируется некомпетентным исполнителем, который не может достаточно грамотно обследовать текущий уровень автоматизации технологических процессов (а зачастую и не пытается это делать, ограничившись анкетированием персонала предприятия по их пожеланиям к автоматизации); поэтому он не может обоснованно предложить стратегию автоматизации технологических агрегатов, дать оценку эффективности планируемым системам автоматизации, разработать рациональные планы внедрения последних;

- концепция выполняется фирмой, являющейся производителем конкретных средств и систем автоматизации (или дилером такого производителя), поэтому в ней описывается, что из продуктов этого производителя следует внедрить и какова должна быть последовательность внедрения этих продуктов, но это никак не соответствует рациональной стратегии автоматизации технологических процессов, которая не должна быть заранее привязана к продукции одной конкретной фирмы;

- концепция поручается отраслевому проектному институту, который подгоняет ее под уже проведенные им за многие прошедшие годы устаревшие работы по созданию АСУТП. Естественно, это минимизирует его труд и не требует анализа текущих возможностей перспективных средств и систем автоматизации, но подрывает сами цели достижения рационального уровня автоматизации;

- концепцию разрабатывает персонал самого предприятия или отпочковавшаяся от него фирма, проводящая работы по обслуживанию

его систем автоматизации. В этом случае работа обычно имеет различные недоработки, связанные как с желанием сохранить привычные, хорошо знакомые по обслуживанию средства и системы, так и с недостаточным знакомством с возможностями современной продукции автоматизации и боязнью эксплуатации более сложных технических и программных средств.

Ясно, что разработка объективной концепции должна проводиться фирмой, которая не обладает отмеченными особенностями. Для этого она должна относиться к любому из следующих классов инжиниринговых компаний по автоматизации:

- консалтинговая фирма (консалтинговый центр) по автоматизации производства;

- генеральный подрядчик по автоматизации производства;

- системный интегратор по автоматизации производства.

Следует четко пояснить, что непременно характеризуют эти классы фирм, поскольку на практике зачастую эти наименования используют организации, не имеющие никакого отношения ни к консалтингу, ни к интеграции систем автоматизации разных производителей, ни к общему управлению проектами по автоматизации производства.

Любая фирма указанных классов, работающая в области автоматизации производства определенной отрасли промышленности, должна характеризоваться следующими **обязательными** свойствами:

- необходимый уровень профессиональных знаний технологических процессов, их способов автоматизации, особенностей работы производства в области предлагаемых ею услуг с учетом специфики каждого предприятия, что определяется стажем и опытом ее работы на предприятиях данной отрасли;

- высокая компетенция и экспертные знания в области современной автоматизации, в характеристиках современных средств и систем автоматизации различных отечественных и зарубежных производителей, что позволяет выделять перспективную продукцию автоматизации;

- опыт работ в создании концепций автоматизации, проработке их экономических аспектов, обосновании этапов их проведения;

- полнота выполняемого объема работ: от анализа текущего состояния АСУТП до технических требований на их развитие;

- объективность проводимых работ и их результатов, определяемая отсутствием собственного производства средств и систем автоматизации, дилерских связей с их производителями, работ по проектированию систем автоматизации;

- доверие заказчиков к объективности и компетенции решений фирмы, к их технической, экономической, организационной

обоснованности; к эффективности, подтвержденных предыдущими заказчиками результатов проведенных фирмой работ.

За рубежом фирмы указанных классов имеют достаточно широкое распространение. В России такие фирмы в области автоматизации встречаются пока крайне редко, а под их наименованием совершенно безосновательно выступают производители различной продукции автоматизации или их дилеры, или чисто проектные фирмы. Так, например, достаточно распространена реклама работ, подобная объявлениям одной российской фирмы, которая именуется себя консалтинговой организацией:

«Консалтинг в области автоматизации производства. Экспертиза технико-рабочего проекта автоматизации. Поставка технических средств собственного производства. (?) Разработка технической документации и алгоритмического и программного обеспечения (?)»

Представляется актуальным и широко востребованным предприятиями разных отраслей промышленности создание в России настоящих независимых консалтинговых центров, объективных генеральных подрядчиков, не связанных с дилерскими обязательствами системных интеграторов в области автоматизации

В первую очередь их деятельность должна заключаться в планировании мероприятий по дальнейшей рациональной автоматизации производства (в частности, в создании грамотных и экономически обоснованных концепций повышения уровня автоматизации технологических процессов).

Глава 33. Формирование технических требований на АСУТП

Важнейшим этапом построения АСУТП является создание технических требований к ней, поскольку от них зависят выбираемые программные и технические средства и по ним разрабатывается технорабочий проект АСУТП. Основные достоинства и недоработки внедренной АСУТП закладываются именно на этапе формирования к ней технических требований. Кроме того, технические требования (ТТ) являются основной частью конкурсной документации, по которой предприятие проводит тендер на систему автоматизации для технологического агрегата.

Практически на российских предприятиях формированием технических требований на АСУТП занимаются разные организации. Основные варианты разработчиков технических требований:

- технические требования составляет само предприятие – заказчик системы;

- предприятие - заказчик поручает разрабатывать технические

требования проектной организации, которую привлекает для разработки технорабочего проекта;

- предприятие – заказчик ориентируется на технические требования, составленные выбранным производителем основных технических и программных средств на планируемую АСУТП.

Весьма редко технические требования поручается разработать какой-либо компетентной, объективной, независимой от производителей средств и работ компании типа консалтинговой фирмы, генерального подрядчика по автоматизации производства, системного интегратора.

33.1. Основные правила формирования технических требований

Технические требования должны разделяться на три класса, определяющие необходимую реакцию на них пользователя:

- обязательные требования, которые неукоснительно должны быть выполнены;

- рекомендательные указания (требования), выполнение которых повысит привлекательность предлагаемых продуктов, работ, услуг;

- запросы к характеристикам предлагаемых продуктов, работ, услуг, ответы на которые должны быть получены заказчиком.

Поданные на тендер конкурсные предложения должны удовлетворять всем обязательным требованиям, по возможности и усмотрению участников конкурса выполнять рекомендательные указания Заказчика и содержать ответы на все запрашиваемые сведения.

Повсеместно наблюдаемое отсутствие такого подразделения положений ТТ приводит к невозможности четкого анализа присылаемых на тендер конкурсных предложений и способствует достаточно произвольному их сопоставлению конкурсной комиссией.

Технические требования должны формулироваться на основе ниже следующих правил.

1. Комплекс технических требований должен быть полным, т. е. в нем должны быть указания по отношению ко всем продуктам, работам, услугам, мероприятиям, которые необходимы для внедрения АСУТП. Недопустимы пробелы в требованиях по причинам типа «их исполнитель это сам знает», поскольку каждый возможный исполнитель будет знать это по своему и не обязательно так, как это требуется для планируемой АСУТП.

2. Технические требования не должны содержать никакой излишней информации (описаний, сведений, положений), которые не нужны и не могут быть использованы в предложениях на заданные требования.

3. Технические требования должны быть конкретными настолько, чтобы на них можно было бы точно отреагировать их пользователям.

Абсолютно бессмысленны пустые требования типа: «Срок эксплуатации системы автоматизации должен быть не менее 20-ти лет» или «Разрабатываемые пульта операторов должны быть комфортными» или «Контроллеры должны обладать высокой надежностью».

4. Особое внимание следует обратить к требованиям по надежности работы технических средств системы автоматизации. Не несут никакой конкретики требования типа: «Число часов наработки на отказ контроллеров должно быть не менее...» В настоящее время, ввиду высокой надежности электронных компонентов технических средств автоматики, их отказы весьма редки и набрать необходимую статистику для расчета времени наработки средства на отказ производитель за допустимое время, большей частью, не могут. Это время зачастую превосходит интервал времени между модификациями самих электронных компонентов, из которых изготовлены средства, поэтому эти настоящие объективные данные у них отсутствуют. Требования по надежности средств целесообразно задавать необходимыми косвенными показателями: требуемыми способами диагностики средств, их тестирования, их резервирования.

5. Технические требования должны быть сформулированы так, чтобы они однозначно понимались всеми их возможными пользователями.

6. В технических требованиях следует учесть не только текущие потребности автоматизации агрегата, но и перспективность его развития, чтобы не пришлось корректировать планируемую АСУТП в просматриваемой перспективе развития производства.

7. Содержание технических требований на средства автоматизации должно исключать возможность приобретения все еще выпускаемых, но морально устаревших продуктов автоматизации, чтобы не сокращать срок службы компонентов планируемой АСУТП.

8. Достаточно аккуратно следует подходить к требованию соблюдать российские и международные стандарты. Масса стандартов устарела, хотя еще не аннулирована, поэтому в требованиях надо давать ссылки только на те стандарты и их конкретные разделы или пункты, которые действительно необходимо использовать в предложениях. Однако, повсеместно включаются в технические требования пункт на необходимость соответствия предложения российским давним-давно устаревшим ГОСТ²ам, типа приведенного ниже примера: «АСУТП должна создаваться в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

- ГОСТ 34.602-89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы. Общеотраслевые руководящие методические материалы по созданию и применению АСУТП в отраслях

промышленности (ОРММ-3, АСУТП). Москва. ГКНТ. 1986 г.

- ГОСТ 21693-76. ГСП. Устройства регулирующие электрические аналоговые с импульсным и непрерывным выходными сигналами. Общие технические условия.

- ГОСТ 24.703-85. Типовые проектные решения в АСУ. Основные положения.

- ГОСТ 25861-83 (СТ СЭВ 3743-82). Машины вычислительные и системы обработки данных. Требования электрической и механической безопасности и методы испытаний. -ГОСТ 26.010-80. Средства измерений и автоматизации. Сигналы частотные электрические непрерывные входные и выходные.

- ГОСТ 26.011-80. Средства измерений и автоматизации. Сигналы тока и напряжения электрические непрерывные входные и выходные.

- ГОСТ 26.013-81. Средства измерений и автоматизации. Сигналы электрические с дискретным изменением параметров входные и выходные.

- ГОСТ 26.014-81. Средства измерения и автоматизации. Сигналы электрические кодированные входные и выходные

- и т.п..

С большой осторожностью и достаточно выборочно с точными указаниями пунктов отдельных стандартов следует требовать от проектировщиков выполнять имеющиеся ГОСТы по автоматизации, выпущенные в 80-х и 90-х годах прошлого столетия, и еще ранее, поскольку:

- с одной стороны, подавляющая часть этих стандартов безнадежно устарела, т. к. выпущена еще до практического распространения современных микропроцессорных средств и даже по их наименованию (хотя большая их часть еще не отменена) видно насколько они не отвечают текущему состоянию средств автоматизации;

- с другой стороны, по российскому законодательству обязательное следование ГОСТам давно перестало требоваться и применение определенных ГОСТов целиком или по отдельным пунктам целиком лежит на предпочтениях и пожеланиях заказчика и проектировщика АСУТП.

33.2. Особенности требований к средствам полевого уровня

Ниже приводятся основные характеристики средств полевого уровня: датчиков, исполнительных механизмов, регулирующих органов (если последние не являются уже сформированными компонентами оборудования агрегата), которые фиксируются в технических требованиях.

Основные свойства датчиков.

Для большинства классов датчиков физических величин

общепромышленного назначения надо отметить следующие требования.

Искомая измеряемая величина. Наименование величины; необходимый диапазон ее измерения (в том числе, для измерения расхода в потоке – необходимость определения направления потока); максимально возможная скорость изменения измеряемой величины, которая должна фиксироваться датчиком; требуемые значения основной и дополнительных погрешностей измерения; необходимые воспроизводимость измерения, разрешающая способность прибора.

Существующая среда измерения. Наименование и состав измеряемой среды; диапазон изменения свойств среды, в которых должно производиться измерение (диапазоны изменения давления, температуры, расхода, плотности, вязкости, концентрации отдельных элементов); наличие посторонних включений в среде измерения (твердых частиц и пыли, пузырьков газа в жидкости); имеющиеся вредные воздействия среды (химическая агрессивность, взрыво- и пожароопасность, абразивность, возможность выпадения осадков); поведение среды в месте измерения (измеряемая среда в покое (емкость) или в движении (трубопровод), в последнем случае диапазон скорости измеряемой среды; движение среды однородно (ламинарный поток) или турбулентно; наличие в потоке пульсаций и отдельных вихрей; некоторые физические свойства среды измерения, которые могут иметь значение при выборе датчика (например, электропроводность жидкости, проницаемость газов к акустическому сигналу).

Конструкция объекта измерения. Наименование конструкции, в которой находится измеряемая среда; фиксация в ней необходимого места замера; особенности конструкции в окрестностях места замера (например, для трубопроводов это диаметр трубы, наличие или отсутствие сужений, перегибов, закруглений на определенных расстояниях до и после места замера).

Окружающая объект измерения среда. Диапазоны изменения свойств окружающей среды (температуры, давления, влажности); взрыво- и пожароопасность окружающей среды; загрязненность среды частицами пыли и влаги; химическая агрессивность окружающей среды.

Помехи, воздействующие на датчик в процессе измерения. Вибрация и возможные ударные воздействия в месте измерения; электрические и магнитные помехи в окружающем датчик пространстве, возможные помехи питания датчика (колебания напряжения и частоты, возможные перемены питания).

Необходимые типы выходных сигналов датчиков и их коммуникационные возможности. Требуемые для связи с другими средствами автоматизации типы и параметры выходного сигнала (аналоговый,

импульсный, цифровой); необходимая коммуникационная связь датчика с заданными полевыми сетями.

Кроме вышеприведенных требований Заказчик может иметь ряд пожеланий к свойствам датчиков, к их стоимостным показателям, к характеристикам обслуживания, которые после выделения набора приборов, полностью удовлетворяющих поставленным требованиям, должны учитываться при выборе наилучшего типа приборов из выделенного набора для данного конкретного применения.

Примерный перечень рекомендаций к свойствам датчика:

- возможно более слабое вмешательство конструкции датчика в измеряемую среду;
- простые и дешевые установка прибора и его обслуживание (включая метрологическую поверку) во время эксплуатации;
- ограничения или рекомендации по стоимостным параметрам прибора;
- наличие автоматического самотестирования работы прибора и сигнализации выхода его за пределы паспортной точности;
- наличие самодиагностики прибора и сигнализации о возникновении его некорректной и/или ошибочной работы с указанием типа неисправности;
- возможность реализации в датчике функций по первичной переработке измерительной информации и по ее хранению за определенное время.

Основные свойства исполнительных механизмов.

Для основных типов исполнительных механизмов: электроприводов переменного и постоянного тока, позиционеров, тяговых электромагнитов, шаговых двигателей выделяются ниже приведенные требования.

Характеристики исполнительного механизма: номинальный ход или угол поворота; рабочее усилие или управляющее давление; положение безопасности; наличие ручного управления.

Условия эксплуатации исполнительного механизма в окружающей производственной среде: взрыво- и пожароопасность среды; ее химическая агрессивность; загрязнение пылью и влагой; вибрация и ударные воздействия.

Использование микропроцессора и датчиков положения в исполнительном механизме: полнота самодиагностики исполнительного механизма; реализуемые в нем вычислительные и логические функции.

Коммуникации исполнительного механизма: типы и параметры входного сигнала; возможности связи исполнительного механизма с заданными полевыми сетями.

Используемые преобразователи частоты для асинхронных

электроприводов: диапазон мощности, диапазон регулирования скорости, точность установки скорости.

33.3. Особенности требований к программно-техническому комплексу (ПТК)

Для большинства ПТК, реализуемых в виде распределенных систем управления (РСУ) следует выделить ниже приведенные требования.

Основные свойства ПТК.

Структура ПТК: расположение на производстве всех технических средств ПТК и связывающих их сетей; клиент-серверная или иной вид структуры, взаимодействие с Интернетом и с посторонними средствами и системами; число, модификации и характеристики контроллеров в ПТК; число, компонентный состав, модификации и характеристики рабочих станций операторов и администратора.

Характеристики ПТК: динамика работы ПТК и его отдельных средств; диагностика работы средств ПТК; резервирование отдельных средств ПТК; исключение искажения и утраты информации:

- при ее получении от источника;
- при ее передаче по сетям;
- при ее переработке и хранении в контроллере, сервере и рабочей станции,
- при ее выдаче пользователю.

Условия эксплуатации ПТК в промышленной среде: взрыво- и пожароопасность среды; ее химическая агрессивность; загрязнение пылью и влагой; вибрация и ударные воздействия; электромагнитные и радиопомехи, внешние угрозы, несанкционированный доступ.

Основные свойства контроллеров ПТК.

Характеристики контроллеров ПТК: параметры центрального процессора или наличие и параметры многоядерных процессоров, тип операционной системы; число различных типов каналов ввода/вывода; имеющиеся порты и интерфейсы; программирование на технологических языках по стандарту IEC 61131.3; прилагаемая библиотека типовых прикладных программ контроля, учета и управления.

Характеристики блоков ввода/вывода контроллеров: число, наименования и параметры входных и выходных каналов разного типа; разрядность и точность преобразования сигналов; параметры гальванической развязки каналов, наличие типовых функций контроля и регулирования у встроенного в блок ввода/вывода микропроцессора.

Основные свойства средств верхнего уровня ПТК.

Параметры серверов и рабочих станций: число, характеристики и структура каждого сервера ПТК и его СУБД; число, характеристики

персональных компьютеров и периферийных устройств рабочих станций; сетевая взаимосвязь между отдельными рабочими станциями и серверами, формы открытости информации в серверах и рабочих станциях посторонним средствам и системам, несанкционированный доступ к информации.

Основные свойства SCADA-программ.

Структурные особенности: возможность формирования состава операторских станций комбинацией составляющих SCADA-программу программных модулей; наличие дополнительных программ - опций (SoftLogic, статистический анализ, программно-логическое управление и т.п.); структура реализации SCADA-программы (одномашинная, клиент-серверная); варианты SCADA-программы, различающиеся информационной мощностью (числом входов-выходов) возможности средств эмуляции системы автоматизации при проверке правильности работы станции.

Функциональные характеристики: возможности графического редактора, используемого для построения мнемосхем; объем библиотеки исходных графических примитивов и производственных объектов; возможности импорта графических изображений в стандартных графических форматах (созданных в мощных универсальных графических редакторах или в САПР-пакетах); возможность тиражирования графических объектов пользователей (изображений, кадров); языки и процедуры создания пользовательских алгоритмов обработки данных.

Средства взаимодействия с оператором: наличие ситуационного отображения информации, многообразие динамических изменений любых элементов мнемосхем, наличие библиотек «мастер-объектов» (Wizard)– готовых типовых производственных изображений и других фрагментов проектов, возможность их пополнения и тиражирования пользователями; возможность работы с мультимедиа сообщениями, реализация звукового и речевого сигнализатора; возможность вывода на экран кадра промышленной телекамеры; возможности построения оператором рапортов, отчетов, протоколов в заданных формах во время функционирования SCADA-программы.

Характеристики оперативных и исторических трендов: возможность сопоставления оперативных и исторических данных на одном графике, число переменных, выводимых на тренды разных типов, построение графиков - взаимозависимостей двух переменных.

Масштабные ограничения SCADA-программы: число операторских станций, число подключаемых каналов ввода/вывода, объем архивной базы данных, производительность используемой СУБД, число отображаемых переменных на одной мнемосхеме, число мнемосхем на одной

операторской станции и т. п.;

Характеристики защиты от несанкционированного доступа к рабочей станции оператора: наличие уровней доступа, наличие индивидуальных паролей на каждом уровне.

Аппаратно-программная платформа, на которую рассчитана SCADA-программа: минимальные и/или рекомендуемые требования к техническим характеристикам компьютеров для реализации рабочих станций и серверов; операционные системы, под управлением которых работает SCADA-программа.

Основные свойства сетей АСУТП

Особенности сетей, связывающих отдельные технические средства ПТК между собой и их с внешними средствами: характеристики информационной сети верхнего уровня ПТК; характеристики промышленной сети контроллерного уровня ПТК; характеристики полевой сети связи контроллеров с удаленными блоками ввода/вывода и с средствами полевого уровня; имеющиеся у отдельных средств ПТК порты, протоколы и интерфейсы к типовым проводным и беспроводным сетям информационного, промышленного и полевого уровней; возможность информационно взаимодействовать с Интернетом и с сотовой связью предприятия.

33.4. Особенности требований к проектированию и внедрению АСУТП

Для различных видов работ по проектированию, монтажу, наладке, внедрению АСУТП разрабатываются различные разделы технических требований. Не останавливаясь на достаточно типовых указаниях к этим работам, отметим некоторые важные разделы требований, которые должны быть сформированы и по которым можно будет проверять полноту и качество проведенных работ.

Разработка технорабочего проекта модернизации и совершенствования средств полевого уровня: требуется проектная проработка необходимых изменений и дополнений в средствах полевого уровня; замена морально и физически устаревших средств; дополнение полевого уровня современными средствами, обеспечивающими всей необходимой информацией работу АСУТП; особое внимание следует уделить проектированию средств контроля и учета материальных и энергетических потоков агрегата, мониторингу текущего состояния основных единиц оборудования агрегата, вычислению ключевых показателей эффективности работы агрегата.

Разработка технической части проекта ПТК: требуется отметить: расположение отдельных средств ПТК на производстве;

принципиальные и монтажные схемы соединений средств ПТК, их связи со средствами полевого уровня, их граничные компоненты связи с посторонними средствами и системами; специальные конструктивные меры по защите технических средств ПТК от внешних помех и воздействий промышленной среды.

Разработка прикладной программной части проекта ПТК: требуется сформировать алгоритмы и программы ввода исходных данных, их проверку на достоверность, заданную вычислительную и логическую обработку, хранение и их выдача операторам и обслуживающему персоналу.

Контроль качества разработанного технорабочего проекта АСУТП: требуется предусмотреть квалифицированный анализ технорабочего проекта; стендовые (полигонные) испытания разработанного программного обеспечения ПТК с участием персонала предприятия-заказчика; тестирование реализации отдельных функций контроля и управления на объекте по заранее составленной методике.

Организационные и административные мероприятия предприятия по поддержке эффективной работы АСУТП: требуется оценка сформированных мероприятий по участию персонала предприятия в работах на этапе внедрения АСУТП; по согласованию критериев работы операторов с критериями, заложенными в систему автоматизации: по коррекции нормативных документов, должностных инструкций, содержания материальных стимулов операторов за рациональную эксплуатацию внедряемой системы автоматизации.

Внедрение АСУТП: необходима проверка полноты и конкретности эксплуатационной и программной документации выдаваемой заказчику, включая необходимую для обслуживания средств АСУТП документацию; анализ качества выдаваемых инструкций операторам и сотрудникам КИПиА по работе и обслуживанию АСУТП; проверка предусмотренных форм, методов, сроков и программы обучения оперативного и обслуживающего персонала работе с АСУТП; экспертиза необходимого времени, содержания и результатов этапа опытной эксплуатации АСУТП; содержание методики обязательного проведения эксперимента по оценке достигнутой эффективности работы агрегата при работе АСУТП.

Раздел XII.

Реализация и эксплуатация АСУТП

Общие положения

В данном разделе значительное внимание, уделяется методу рационального проведения тендера по выбору средств, системы автоматизации и исполнителя работ по созданию АСУТП, что обусловлено следующими немаловажными обстоятельствами:

- во первых, формально приобретать почти всю продукцию автоматики и назначать исполнителя всех работ по автоматизации необходимо по результатам проведенного тендера (поскольку справедливо считается, что наилучший выбор как продукции, так и работ и услуг может обеспечить тендер);

- во вторых, реально результаты проводимых на предприятиях тендеров далеко не всегда выделяют лучшие предложения, ввиду либо неправильного их проведения, либо в результате сознательного искажения результатов сопоставления поданных на тендер предложений.

Действительно, как показывает анализ около трех десятков проведенных тендеров на заводах разных отраслей, современное состояние с формированием и проведением тендера на подавляющем большинстве предприятий не позволяет не только рационально, но даже правильно решить эту задачу. Зачастую предприятия, в действительности, и не ставят формально оговариваемую задачу отбора наилучшей продукции, имея в виду совершенно другую (не высказываемую) задачу приобретения в результате тендера продукции у заранее намеченного производителя.

Способы проектирования, внедрения, эксплуатации АСУТП в разделе не прослеживаются подробно по всем проводимым этапам, поскольку они достаточно четко отработаны в проектных, монтажных и наладочных подразделениях, но анализируются с определенной точки зрения: выявления тех особенностей их проведения, от которых зависит эффективность функционирования создаваемой АСУТП. Эти особенности в значительной степени определяются составом и качеством взаимных связей разработчиков АСУТП, руководства предприятия – заказчика, персонала предприятия, который будет использовать внедренную систему. Поэтому значительное внимание в данном разделе уделяется наличию и составу этих связей, а также влиянию их на рациональное внедрение и эксплуатацию АСУТП. Выделяются те особенности проектирования, внедрения, эксплуатации АСУТП, на которые повсеместно не обращают внимание или которыми пренебрегают разработчики и заказчики АСУТП, но которые существенно влияют на правильность разработки АСУТП и на эффективность ее эксплуатации.

Организация тендера на ПТК (или РСУ) как на СА, без включения в него средств полевого уровня, (что далеко не редко имеет место на практике) фактически равносильно постройке здания без фундамента, поскольку полнота, точность и надежность работы этих средств определяет возможное качество автоматизированного управления агрегатом.

Объективная, квалифицированная, всесторонняя, учитывающая все технические требования и приоритеты заказчика оценка предложений, поступивших на тендер, является основой правильного выбора победителя тендера. Поскольку каждое предложение оценивается по многим, заданным заказчиком критериям, то общая ее оценка получается на основе следующей двухэтапной процедуры:

- на первом этапе эксперты на основе своих знаний и опыта оценивают каждое предложение по каждому заданному заказчиком критерию;
- на втором этапе методом решения математической задачи многокритериального выбора компьютерная программа вычисляет общую оценку каждого предложения, как определенную функцию от всех полученных на первом этапе оценок предложения по каждому критерию каждым экспертом и заданных заказчиком весов этих критериев.

Способ проведения этой двухэтапной процедуры должен удовлетворять ряду требований:

- эксперты должны однозначно понимать содержание сформулированных заказчиком критериев;
- соответствие между качественными характеристиками предложений и их числовыми (бальными) оценками должно быть одинаково понимаемо разными экспертами, чтобы их мнения были бы сопоставимы;
- процедура голосования экспертов (оценка ими предложений по отдельным критериям) должна быть организована так, чтобы исключить влияние на каждого эксперта как мнений других экспертов, так и любых посторонних факторов;
- используемый метод определения общей оценки каждого предложения должен быть прозрачен и понятен заказчику, чтобы он доверял полученному результату;
- для возможности анализа полученного результата программа, кроме общих оценок предложений, должна выдавать данные, характеризующие сильные и слабые стороны отдельных предложений, а также фиксирующие работу отдельных экспертов, что позволяет, при необходимости, корректировать вычисление общих оценок предложений, исключая возможные субъективные пристрастия отдельных экспертов.

Основные принципы организации и проведения тендера:

- равновесие всех участников, подавших свои предложения на тендер,
- открытость и прозрачность проведения тендера,
- объективность сопоставления предложений и определения победителя тендера,
- максимально возможная эффективность тендера для заказчика.

Изложенная в данной главе методика по организации и проведению тендера удовлетворяет приведенным выше требованиям. Она основывается на правилах Всемирного и Европейского банков [1] и на особенностях приобретаемой продукции и класса исполнителей работ.

34.1. Организация тендера

Ниже рассмотрены этапы организации тендера, предшествующие оценкам поступивших на тендер предложений.

Формирование тендерной комиссии.

Началом проведения тендера можно считать решение заказчика (обычно, заказчиком является руководство предприятия или холдинга) о конкурсном приобретении продукции (работ, услуг) и формирование заказчиком тендерной комиссии. Обычно эта комиссия формируется из руководящих сотрудников предприятия – заказчика, имеющих отношение к тематике тендера, с возможным привлечением лиц из сторонней организации, связанной по работе с предприятием заказчиком (например, проектного института).

Доработка и утверждение тендерной документации.

Тендерная комиссия сама или организованная ею рабочая группа при необходимости разрабатывает или дорабатывает конкурсную документацию, состоящую из общей, коммерческой и технической частей. Важнейшая техническая часть конкурсной документации – технические требования на приобретаемую продукцию, работы и услуги.

Определение характеристик проводимого тендера.

Тендерная комиссия согласовывает с заказчиком тип тендера: открытый (с предварительным квалификационным отбором участников или без него) или закрытый, одноэтапный или двухэтапный тендер. В дальнейшем для определенности описываются этапы закрытого, одноэтапного тендера (как наиболее широко используемого) с учетом, что другие типы тендера имеют мало принципиальных отличий от рассматриваемого типа.

Тендерная комиссия выполняет следующие работы:

- проводит анализ российского рынка в области автоматизации производства и содержания имеющихся на рынке предложений разных фирм;

- отбирает фирмы, предлагающие современную продукцию нужного класса;

- оценивает примерную стартовую цену приобретаемой продукции (работ, услуг), позволяющую приблизительно ориентироваться в необходимых будущих затратах заказчика на требуемую продукцию.

Параллельно с этими работами тендерная комиссия совместно с заказчиком определяет конкретные критерии, по которым должны будут оцениваться и сопоставляться экспертами тендерные предложения. Общее число критериев, обычно, не превосходит десятка.

Примеры критериев сопоставления приобретаемой продукции:

- важнейшие технические характеристики продукции;
- надежность ее работы;
- влияние на ее функционирование различных свойств окружающей среды и внешних помех;
- стоимость продукции;
- опыт внедрения продукции в мире, в стране, в данной отрасли.

Заказчик сам или при участии тендерной комиссии назначает оценку значимости (вес) каждого принятого критерия. Веса критериев могут фиксироваться любой бальной оценкой (рекомендуется 10-ти балльная шкала); важно только, что после их установления они должны быть нормированы, т. е. приведены к виду, при котором сумма весов всех нормированных критериев равна единице.

Пусть v_i - бальный вес i -ого критерия, а общее число критериев - I . Тогда сумма весов всех критериев $\sum_{i=1}^I v_i = V$, а нормированный весовой коэффициент i -ого критерия, который используется при сопоставлении предложений и расчете итоговой, общей оценки предложений равен

$$v_i / V = a_i.$$

Работа с участниками тендера.

Тендерная комиссия рассылает приглашения участвовать в тендере отобранным на предыдущем этапе фирмам, получает заявки фирм на согласие участвовать в тендере и рассылает им тендерную документацию.

Во время составления участниками тендера предложений тендерная комиссия отвечает на возникающие у них вопросы и, при необходимости, консультирует их по отдельным положениям тендерной документации. Здесь важно подчеркнуть, что при проведении тендера любое разъяснение отдельных положений тендерной документации разным участникам тендера, любые переговоры с ними по поводу отдельных

положений тендерной документации не должно, ни в малейшей степени, изменять содержание этих положений для отдельных участников тендера.

Прием и предварительный отбор тендерных предложений.

После получения предложений тендерная комиссия проводит их предварительный анализ и отбор, заключающийся в разделении всех полученных предложений на две группы: предложения, в которых не выполнено хотя бы одно, любое **обязательное** требование конкурсной документации, снимаются с тендера (не допускаются к экспертизе). К таким обязательным требованиям, предъявляемым к предложениям, обычно относятся

- требования о правомочности участника тендера: он должен быть состоятельным, не находиться в процессе ликвидации, его имущество не может быть под арестом и т. п.;

- требования о финансовой устойчивости участника тендера: он должен быть платежеспособным, иметь в наличии финансовые средства, соблюдать финансовые законы и т. п.;

- требования к продукции, а также часть требований к квалификации участника тендера, которые в тендерной документации зафиксированы как **обязательные** (см. подразделение технических требований на обязательные и рекомендательные выше в главе 35).

Оставшиеся, прошедшие данную отбраковку предложения остаются для оценки, сопоставления и выбора победителя тендера.

Важно подчеркнуть необходимость тщательного проведения тендерной комиссией указанной процедуры отбраковки предложений. Действительно, тендерные предложения, прошедшие процедуру отбора на их полное соответствие обязательным требованиям тендерной документации, подвергаются анализу и сопоставлению, при которых предложения не могут заранее отклоняться, а должны оцениваться и сопоставляться между собою. Если туда попадет предложение, в котором не выполнено одно из обязательных требований, то она получит низкие оценки по одним критериям, но эти оценки могут маскироваться (компенсироваться) высокими оценками по другим критериям, что в целом может привести к приобретению непригодной для заказчика продукции.

Все дальнейшие этапы тендера, непосредственно определяющие методику оценки тендерных предложений, рассматриваются ниже с необходимой степенью подробности.

34.2. Экспертная оценка предложений

Тендерная комиссия формирует экспертную группу, утверждает у

заказчика ее состав и способ ее работы. При этом целесообразно руководствоваться указанными ниже положениями.

Выбор экспертов.

Под экспертом далее понимается высококвалифицированный, авторитетный специалист, обладающий достаточно широким кругозором в предметной области тендера. Коммерческие аспекты заявок могут оцениваться как техническими экспертами (учитывая, что коммерческие аспекты обычно зависят от технических характеристик предлагаемой продукции), но возможно и отдельное привлечение экспертов – экономистов, оценивающих только коммерческие части заявок. Возможно также привлечение специальных экспертов по отдельным техническим характеристикам продукции (например, по надежности ее работы или влиянию на экологию среды) и/или по отдельным техническим средствам, если приобретаемая продукция состоит из разнообразных средств.

Очень важно отметить, что среди экспертов не должно быть никого, кто **прямо или косвенно принимает участие** в разработке, производстве, маркетинге представленной на тендер продукции (т.е. эксперты не должны быть связаны с участниками тендера какими-либо деловыми отношениями).

Таким образом, общие критерии отбора экспертов:

- высокая квалификация в области предмета тендера;
- знание свойств объекта, для которого приобретается продукция;
- не ангажированность участниками тендера.

Отбор экспертов по указанным критериям может производиться тендерной комиссией вне зависимости от места работы экспертов:

- из сотрудников предприятия - заказчика,
- из сотрудников других родственных предприятий,
- из сотрудников отраслевых НИИ, проектных и конструкторских организаций данной отрасли промышленности.

Формы работы экспертов.

Возможные формы работы экспертов по проведению экспертизы заявок:

- первый вариант: эксперты работают совместно (обычно, на территории заказчика). Они рассматривают, анализируют и совместно обсуждают представленные тендерные предложения, здесь же через представителя тендерной комиссии выясняют неясные моменты отдельных мест в тендерных предложениях, а затем оценивают по балльной системе каждое тендерное предложение по каждому заданному критерию и после компьютерной обработки оценок утверждают численную общую ранжировку тендерных предложений. Длительность

подобного заседания экспертной группы в зависимости от сложности предмета тендера составляет примерно четыре - шесть дней;

- второй вариант: эксперты работают раздельно. Каждый эксперт получает по своему адресу копии всех материалов, необходимых для проведения экспертизы. Все неясные моменты отдельных тендерных предложений каждый эксперт выясняет у представителя тендерной комиссии, пользуясь телефонной или электронной связью. Результаты своего ранжирования тендерных предложений по разным критериям эксперты отсылают в тендерную комиссию, пользуясь теми же видами связи. Получив затем вычисленную общую ранжировку тендерных заявок, оформляют в письменном виде свое согласие с результатами экспертизы и/или свои замечания. В этом варианте эксперты не общаются друг с другом и не информируются о составе участников экспертной группы. Длительность подобного проведения экспертизы по разным предметам тендера составляет примерно десять дней.

Каждая из описанных форм работы экспертов принципиально значимо не должна отличаться результатами экспертизы и может выбираться тендерной комиссией из текущих соображений удобства и необходимых сроков проведения экспертизы. Однако, как показывает практика, несколько предпочтительнее оказывается первая форма. Это определяется следующими причинами:

- проведение совместных заседаний связано с полным отрывом каждого эксперта от своей основной работы, что позволяет ему в дни работы экспертной группы не иметь отвлекающих ситуаций и поэтому глубже и точнее вникать в содержание каждого анализируемого тендерного предложения;

- свободное общение членов экспертной группы между собою позволяет отдельным экспертам уточнить и скорректировать свои позиции по ряду свойств тендерных предложений, подлежащих оценке;

- совместное обсуждение полученной общей ранжировки тендерных предложений ведет к принятию более обстоятельных и обоснованных рекомендаций заказчику.

Число экспертов и их оплата.

Экспертную группу по числу экспертов рекомендуется формировать в составе от 5-ти до 10-ти специалистов. Указанный рекомендуемый диапазон числа экспертов в группе обусловлен следующими обстоятельствами:

- объективность оценок достигается и за счет усреднения разных мнений (это ограничивает минимальный состав группы);

- расходы на проведение экспертизы зависят от числа участвующих в ней экспертов (это ограничивает максимальный состав группы).

Весьма существенным является вопрос оплаты экспертов за их работу в экспертной группе. Самым выгодным для заказчика является (как это не парадоксально на первый взгляд) возможно более высокая оплата привлеченных экспертов, поскольку это максимально скажется на результатах экспертизы за счет наиболее качественного анализа и оценки отдельных тендерных предложений. Причины этого соотношения между оплатой экспертов и эффективностью экспертизы перечислены ниже:

- наиболее высококвалифицированные специалисты, представляющие особую ценность в качестве экспертов, не будут работать за оплату, не соответствующую их квалификации;

- чем выше оплата, тем больше внимания будут уделять данной работе эксперты, а, следовательно, тем более полный и глубокий анализ представленного материала они будут делать и тем меньше будет вероятность их ошибочных решений.

Рекомендуется оплату экспертов производить из расчета затраченного ими на экспертизу рабочего времени при максимально возможной ставке за час работы.

Возможность учета разной квалификации экспертов.

Принципиально, при расчете общей оценки конкурсных заявок (при усреднении мнений экспертов) возможно учитывать разную квалификацию экспертов (разную степень доверия тендерной комиссии и заказчика к их мнениям), суммируя их оценки с использованием весового коэффициента квалификации (или компетенции) каждого эксперта, который задается тендерной комиссией. Эти коэффициенты могут находиться примерно в диапазоне 0,5-1,0, поскольку специалист с более низким коэффициентом квалификации вряд ли может считаться экспертом и участвовать в работе экспертной группы. Если коэффициенты квалификации не указаны тендерной комиссией, то они принимаются равными единице у всех экспертов.

Следует иметь в виду, что к назначению весов квалификации экспертам следует подходить с большой осторожностью и ответственностью. В частности, опасно ориентироваться на престижность места постоянной работы эксперта, на научные звания и число публикаций у отдельных экспертов, на общий стаж работы эксперта.

Таким образом, вопрос учета разной квалификации экспертов (и, следовательно, разной степени доверия к их оценкам) является прерогативой тендерной комиссии.

Подготовка материалов для работы экспертной группы.

Для работы экспертной группы тендерная комиссия подготавливает и передает ей следующий перечень материалов и документов:

- тендерную документацию, которая была задана участникам тендера;

- тендерные предложения, прошедшие предварительный отбор и поэтому полностью удовлетворяющие **обязательным** требованиям тендерной документации;

- перечень критериев, по которым эксперты должны оценивать тендерные предложения;

- веса отдельных критериев. Эти веса могут фигурировать в виде 10-ти бальных оценок, либо в нормированном виде (см. формулу (1)). Хотя самими экспертами эти веса не используются, однако рекомендуется их сообщать экспертам, поскольку знание их позволяет экспертам понять, насколько относительно ответственны их оценки по отдельным критериям и как они будут влиять на общую ранжировку всех тендерных предложений;

- качественная интерпретация отдельных баллов 10-ти бальной шкалы, по которой эксперты будут оценивать заявки по заданным критериям (см. ниже);

- качественное содержание каждого критерия и соответствие качественных описаний отдельных предложений по каждому критерию их количественной оценке в баллах (пояснение см. ниже);

- пояснения экспертам по ранжировке заявок при задании совокупных критериев, объединяющих группу однотипных характеристик (работа при иерархии критериев пояснена ниже);

- желательны формирования специальных сопоставительных материалов (таблиц) по предложениям, облегчающие экспертам их анализ (их содержание раскрыто ниже);

- бюллетень для оценки каждого предложения по каждому критерию по 10-ти бальной шкале (его форма дана ниже).

Отдельно следует остановиться на принятом в некоторых тендерных комиссиях принципе: сокрытии от экспертов наименований участников тендера – авторов тендерных предложений и передаче им тендерных предложений в обезличенном виде под номерами. Идея заключается в исключении при оценках тендерных предложений личного отношения отдельных экспертов к определенным авторам предложений; но как показывает многолетний опыт автора, любой высококвалифицированный эксперт (а других в экспертной группе не должно быть) легко по свойствам и характеристикам предлагаемой продукции определяет фирму, предложившую эту продукцию. Ввиду этого представляется, что обезличивание участников тендера имеет мало смысла, а фиксация отдельных недостаточно объективных к определенным участникам тендера

экспертов возможна по результатам их оценок, что будет показано ниже.

Формирование специальных сопоставительных материалов по предложениям.

Подробная работа по оценочному анализу тендерных предложений, которую должны произвести эксперты, является достаточно трудоемкой и часто требует гораздо большего времени, чем отведено на все время работы экспертной группы. Действительно, каждое тендерное предложение, в зависимости от темы и разнообразия продукции, выставленной на тендер, состоит, обычно, от одного до девяти томов, а если на конкурс подано от пяти до десяти тендерных предложений, то общее число томов, которое должны проанализировать эксперты, находится в диапазоне 5 - 90 единиц. Естественно, что качественно проанализировать такой объем материала за отведенные для экспертизы рабочие дни невозможно, а продлить сроки заседаний экспертной группы не только не выгодно для заказчика, но большей частью невозможно, поскольку высококвалифицированные специалисты не могут оторваться от основной работы на больший срок.

Ввиду этого для ускорения и облегчения работы экспертов, а также для повышения объективности результатов тендера рекомендуется тендерной комиссии формировать и передавать в экспертную группу не только сами тендерные предложения, но и специальные сопоставительные таблицы основных характеристик тендерных предложений, т. е. характеристик, отвечающих отдельным группам требований тендерной документации и соответствующих отдельным критериям оценок тендерных предложений.

Эти сопоставительные таблицы не заменяют всего содержания тендерных предложений, но обладают важнейшими для работы экспертов свойствами:

- они состоят из **обобщенных, концентрированных** данных, которые необходимы (хоть, зачастую, и недостаточны) для оценки экспертами тендерных предложений по отдельным критериям;

- содержащаяся в них по каждому тендерному предложению **информация сопоставима**, т. е. предлагаемые в разных тендерных предложениях свойства, характеристики, параметры продукции даны в сопоставимых выражениях, определены в одинаковых условиях, измерены в одних и тех же единицах;

- при желании отдельных экспертов получить разъяснения и/или уточнения отдельных, содержащихся в сопоставительных таблицах обобщенных данных, они могут целеустремленно ознакомиться с соответствующими разделами самих тендерных предложений, не тратя время на поиск нужных данных по всему их тексту.

Каждая сопоставительная таблица содержит группу каких-либо однородных характеристик предложений (например, таблица технических

характеристик продукции; таблица условий эксплуатации продукции; таблица стоимостей продукции, ее составных частей, работ по ее установке и монтажу; таблица технической репутации разработчиков продукции). В зависимости от темы тендера и разнообразия продукции число таких сопоставительных таблиц может находиться примерно в диапазоне 10 – 15.

Примеры таких сопоставительных таблиц, составленных в конкретном тендере по приобретению ПТК по трем конкурсным предложениям приведены ниже.

1. Таблица сопоставления характеристик надежности ПТК:

Наименование характеристики	Предложение 1	Предложение 2	Предложение 3
Сертификат ISO 9001: 2000 на производство ПТК	нет	есть	есть
Сторожевой таймер	есть	есть	есть
Тесты on-line контроллеров	диагностика до платы	диагностика до платы	только процессора
Тесты on-line блоков ввода/вывода	нет	на обрыв аналог. вводов	диагностика до канала
Диагностика обрыва сетей	нет	у пром. сети	у всех сетей
Диагностика питания	есть	есть	есть
Диагностика коротких замыканий	нет	есть	нет
Корректирующие коды	нет	нет	есть
Проверка данных контрольной суммой	нет	есть	нет
Энергонезависимое ОЗУ	есть	есть	есть
Резервирование контроллеров	возможно	всех блоков и целиком к-ра	процессора и блока питания
Резервирование блоков ввода/вывода	нет	возможно	нет
Резервирование сетей	только промыш. сети	всех сетей	информ. и пром. сетей
Резервирование питания	нет	есть	есть

2. Таблица сопоставления стоимостных характеристик ПТК (цены указаны на площадке предприятия – заказчика в тысячах американских долларов):

Стоимости отдельных средств ПТК	Предложение 1	Предложение 2	Предложение 3
Контроллеры	17 600	9 800	23 900
Выносные блоки ввода/вывода	нет	1 920	2 070
Рабочие станции и пульт оператора	3 400	2 800	7 280
Сервер	нет	2 150	2 380
Блоки бесперебойного питания	540	410	560
ЗИП	830	1020	1570
Шеф-монтаж	5 800	3 180	6 310
Наладка на объекте	4 370	4150	5 900
ИТОГО	32 540	29 430	49 970

Важно использовать такие способы формирования сопоставительных таблиц, чтобы при их составлении по материалам отдельных тендерных предложений, не происходило **никакого искажения информации**, т. е. чтобы любые данные в тендерном предложении какого-либо участника тендера не были бы, хотя бы и произвольно, при переводе в таблицу неправильно поняты или неверно интерпретированы. Для исключения подобных ситуаций рекомендуется использовать описанный ниже способ формирования сопоставительных таблиц.

Формы (шаблоны) сопоставительных таблиц устанавливаются на этапе разработки тендерной документации, они прилагаются к ней (по каждой таблице прилагается форма одного столбца, который должен заполнить участник тендера при формировании предложения), и при получении всех предложений стыковка отдельных заполненных столбцов одной формы из разных предложений дает определенную сопоставительную таблицу.

Задание качественной интерпретации бальных оценок.

Оценка предложения по каждому критерию может устанавливаться экспертом в диапазоне 1 – 10 баллов и имеет следующие возможные

значения: 10 (максимальная оценка), 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 (минимальная оценка).

Общая качественная интерпретация отдельных баллов приведена в таблице:

Балл	Качественная интерпретация балла
1	Минимально приемлемо (плохо)
2	Между плохо и посредственно
3	Весьма посредственно
4	Удовлетворительно
5	Вполне удовлетворительно
6	Почти хорошо
7	Хорошо
8	Почти отлично
9	Отлично
10	Замечательно

При сопоставлении предложений по каждому отдельному критерию следует иметь в виду:

- если их баллы равны - предложения по этому критерию равно важны;

- если разница их баллов 1-3 – одно предложение по этому критерию умеренно лучше другой;

- если разница их баллов 4-6 – одно предложение по этому критерию существенно лучше другой;

- если разница их баллов 7-9 – одно предложение по этому критерию очень сильно отличается от другой.

Пояснение качественного содержания отдельных критериев.

Для того, чтобы эксперты могли правильно, с точки зрения тендерной комиссии, понимать содержание каждого критерия и переводить качественное содержание тендерных предложений в количественные балльные оценки, каждый критерий должен обязательно сопровождаться конкретной словесной (качественной) интерпретацией граничных баллов по данному критерию. Только тогда у всех оценивающих тендерные предложения экспертов будет примерно одинаковое представление о содержании определенных балльных оценок по отдельным критериям.

Ниже приводятся примеры качественных интерпретаций отдельных критериев при приобретении ПТК.

Критерий: надежность работы ПТК.

Качественное содержание критерия: полнота и глубина диагностических тестов, меры исключения ошибок при передаче и хранении информации, возможности резервирования, сертификация качества производства технических средств.

Максимальная оценка: диагностические тесты в режиме on-line охватывают все модули контроллеров, блоков вводов/выводов, электропитание, сети и сетевые средства; глубина диагностических тестов доходит до отдельных плат и каналов ввода/вывода; используются специальные меры по сохранности и исключению искажения информации при ее передаче и хранении; предусмотрена возможность резервирования всех технических средств ПТК и отдельных модулей контроллера, причем контроллеры могут резервироваться как целиком, так и отдельными модулями; качество производства технических средств ПТК подтверждено сертификатом ISO 9001:2000.

Минимальная оценка: диагностические тесты охватывают только некоторые модули контроллеров; сети и сетевые компоненты не диагностируются; меры по искажению данных при их передаче и хранении отсутствуют; резервирование сетей, отдельных модулей контроллеров, блоков ввода/вывода не предусмотрено.

Критерий: техническая репутация производителя ПТК.

Качественное содержание критерия ясно из его наименования.

Максимальная оценка: торговая марка производителя известна в мире и в России; есть отзывы о надежной работе технических средств ПТК и простоте их обслуживания; ПТК распространяются не менее 3-х лет и имеют общий тираж более 100 продаж; в России есть сеть технических и ремонтных центров; есть успешные внедрения ПТК на российских предприятиях данной отрасли.

Минимальная оценка: производитель мало (или совсем не) известен; тираж ПТК менее 5-ти продаж; отзывы потребителей отсутствуют; внедрений ПТК на российских предприятиях данной отрасли нет.

Пояснения по ранжировке предложений при задании совокупных критериев

Некоторые заданные критерии объединяют в себе ряд однородных свойств и характеристик сопоставляемой продукции и работ. Например, заданный критерий «Динамичность работы ПТК» объединяет следующие частные характеристики динамики работы ПТК: время реакции на аварийные ситуации в контроллере, время реакции на команды операторов, цикл опроса датчиков, цикл смены данных на экранах рабочих станций, время перезапуска контроллеров после аварийного прерыва

питания.

Поскольку в каждом тендерном предложении могут быть указаны разные значения всех этих характеристик, то возможны ситуации, когда, например, в анализируемом предложении даются минимальные по сравнению с другими предложениями времена реакций на аварийные ситуации в контроллере и на команды операторов, но имеется максимальное по сравнению с другими предложениями время перезапуска контроллеров. Отсюда следует, что эксперт для оценки предложений по заданному ему критерию должен сопоставлять и обобщать с определенными весами свои оценки по частным характеристикам (частным критериям), входящим в заданный критерий.

Рассматриваемая ситуация является достаточно типичной для задач оценивания предложений, которые во многих случаях имеют (также как в рассматриваемом примере) иерархическую систему показателей.

Входящие в отдельный заданный критерий показатели (характеристики) определяются из пояснения качественного содержания данного критерия, в котором указываются отдельные, входящие в него показатели тендерных предложений; а веса оценок этих отдельных показателей при бальной оценке предложения по этому совокупному критерию задает сам эксперт, сообразуясь с назначением продукции, требованиями на нее в тендерной документации, свойствами объекта, для которого она приобретает, собственного опыта и знаний.

Следует отметить некоторые общие правила назначения совокупных критериев, которые следует соблюдать тендерной комиссии:

- желательно, чтобы к каждому совокупному критерию относилось не более четырех - шести отдельных показателей;
- каждый конкретный показатель может входить только в один совокупный критерий.

34.3. Компьютерная обработка и ранжировка предложений

Работа начинается с передачи членам экспертной группы всех необходимых материалов для оценки предложений по заданным критериям.

Голосование экспертов.

Основной этап работы каждого эксперта – индивидуальный анализ каждого тендерного предложения и оценки его по заданным критериям, т. е. заполнение выданного бюллетеня для голосования. Экспертам поясняется возможность не ставить оценки отдельным тендерным предложениям по отдельным критериям, если эксперт по данной, конкретной оценке не имеет определенного мнения.

Ниже представлена рекомендуемая форма такого бюллетеня для голосования.

№ критерия № предложения	1	2		i		m-1	m
1							
...							
j							
...							
n							

Пример заполненного экспертом бюллетеня

№ критерия № предложения	1	2		i		m-1	m
1	8	9	...	3	...	3	5
2	4	6	...	7	...	6	3
...
j	7	1	...	8	...	8	2
...
n-1	9	1	7	X
n	6	2	8	9

Примечание: В примере заполненного бюллетеня знак «X» на пересечении (n-1)-ой строки и m-ого столбца означает невозможность данным экспертом оценить (n-1)-ую заявку по m-ому критерию.

Рекомендуется (по имеющемуся опыту проведения экспертиз) процесс заполнения бюллетеня проводить тайным голосованием (под тайным голосованием здесь понимается тайное от других членов экспертной группы голосование). При таком способе голосования практически исключается возможное влияние одних экспертов на других и обеспечивается максимальная свобода выражения каждым экспертом собственного мнения.

Если некоторые из членов экспертной группы были включены в нее как эксперты не по всем, а по отдельным критериям (например, по коммерческим критериям или по критериям работ и услуг, связанных с приобретением продукции), то они заполняют не все, а соответствующие этим критериям столбцы бюллетеня.

Заполненные бюллетени без фиксации имени эксперта сдаются для ввода в компьютер, программа которого усредняет мнения экспертов и вычисляет итоговую, общую ранжировку предложений.

Компьютерная обработка результатов голосования экспертов

Общая оценка каждого тендерного предложения есть взвешенная сумма оценок тендерного предложения разными экспертами по отдельным критериям. Это утверждение базируется на принятой в международной и российской практике и используемой в данной методике схеме оценки предложений. Принципиально, как показано в теории многокритериального выбора, правильная общая оценка предложения при этом получается, если все отдельные критерии независимы друг от друга. На практике зачастую технические и экономические оценки тендерных предложений могут быть статистически зависимыми (чем меньше стоимость продукции, тем могут быть хуже ее технические характеристики). Однако, в подавляющем большинстве случаев при вычислении общих оценок тендерных предложений этими возможными ошибками пренебрегают. Так поступают при закупках не только частные, но и государственные заказчики.

Получение общей оценки предпочтения каждого предложения должно быть интуитивно понятно тендерной комиссии и заказчику, чтобы он доверял полученному результату. Предлагаемое решение задачи многокритериального выбора путем взвешенного усреднения балльных оценок каждого предложения по всем критериям и по всем экспертам является именно таким, легко объяснимым непрофессионалам способом ранжировки предложений.

При формировании алгоритма общей ранжировки всех тендерных предложений учитываются указанные ниже задаваемые тендерной комиссией коэффициенты и особенности голосования экспертов:

1. При суммировании оценок тендерных предложений, поставленных разными экспертами по отдельным критериям, вводятся два весовых коэффициента, задаваемых тендерной комиссией: весовые коэффициенты отдельных критериев и весовые коэффициенты отдельных экспертов. Если первый весовой коэффициент определяет значимость свойств предложений по отдельным критериям для заказчика (он сообщается экспертной группе), то второй весовой коэффициент определяет степень доверия заказчика к мнениям отдельных экспертов (он,

естественно, не сообщается экспертной группе).

2. Алгоритм суммирования оценок должен учитывать, что тендерные предложения по разным критериям может оценивать разное число экспертов; кроме того, отдельные эксперты могут пропускать оценки некоторых тендерных предложений по некоторым критериям. Следовательно, число оценок каждого тендерного предложения по каждому критерию может быть разным.

Целесообразно, с информационной точки зрения вычислить не только результирующую, общую оценку каждого предложения, но и усредненные по всем экспертам, принявшим участие в голосовании, оценки каждого конкурсного предложения по отдельным критериям, что показывает конкретные отличия предложений по их важнейшим свойствам. Кроме того, существует еще ряд важных для анализа проведенной экспертизы характеристик, которые также, как показано ниже, определяет компьютерная программа и которые помогают достаточно полно и глубоко проанализировать полученные результаты.

Средние оценки предложений по отдельным критериям и их общие оценки

Используемые в программе алгоритмы обработки отдельных экспертных оценок предложений приведены ниже.

1. Средняя оценка j -ого конкурсного предложения по i -ому критерию:

$$R_{ji} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K-1} \beta_k} \sum_{k=1}^{K-1} \beta_k r_{kji},$$

где R_{ji} - средняя оценка j -ой конкурсного предложения по i -ому критерию,

K - общее число экспертов в группе ($1 \dots K \dots K$),

l - число экспертов, которые не оценили j -ое тендерное предложение по i -ому критерию (как показано выше в примере, поставили знак "X" в соответствующей этому критерию ячейке бюллетеня ji , а возможно не заполнили в бюллетене полностью столбец i),

β_k - весовой коэффициент компетенции k -ого эксперта. Если он не указан тендерной комиссией, то принимается $\beta_k = 1$,

r_{kji} - оценка j -ого тендерного предложения по i -ому критерию k -ым экспертом.

2. Общая оценка j -ого тендерного предложения:

$$R_{cpj} = \sum_{i=1}^I \alpha_i R_{ji},$$

где $R_{срj}$ -общая оценка j -ого тендерного предложения,

α_i -весовой нормированный (см. формулу (1)) коэффициент i -ого критерия (сумма весовых коэффициентов по всем критериям равна единице),

I -число заданных критериев.

Анализ согласованности мнений экспертов

Отдельным важным следствием обработки экспертных оценок предложений является выделение отдельных экспертов, множество оценок которых настолько расходится с соответствующими оценками остальных экспертов, что заставляет предположить недостаточную квалификацию или ангажированность этих экспертов.

Данное утверждение ниже пояснено на примерах.

Будем считать нормальным такой разброс оценок каждого предложения по определенному критерию, проставленными разными экспертами, который составляет порядка двух средних квадратичных отклонений от среднего значения оценки. Многочисленный выход оценок отдельного эксперта за эти границы позволяет сделать определенные заключения о работе этого эксперта.

На рис. 36.1 показана диаграмма оценки j -ого предложения по шести критериям пятью экспертами, составляющими экспертную группу. Разброс оценок предложения по разным критериям у разных экспертов лежит в диапазоне примерно 3 балла, что можно считать нормальной согласованностью мнений экспертов.

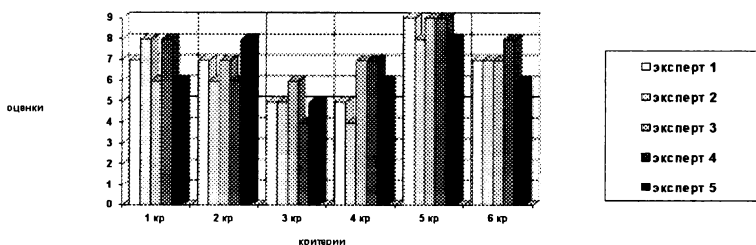


Рис. 36.1. Оценки j -ой заявки

На рис. 36.2 показана диаграмма оценки j -ого предложения по шести критериям пятью экспертами, на которой видно, что оценки 5-го эксперта существенно отличаются от оценок прочих экспертов. Подобная ситуация (если она присутствует и при оценке других предложений, когда оценки эксперта 5 явно и достаточно хаотично отличаются от большинства оценок других экспертов) может свидетельствовать о существенной разнице квалификаций экспертов 1-4 и эксперта 5.

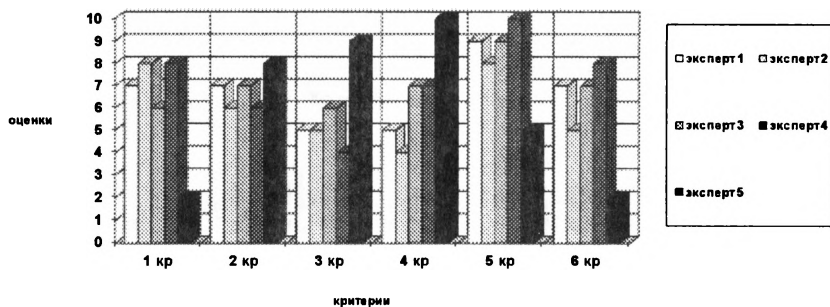


Рис. 36.2. Оценки j -ой заявки

На рис. 36.3 показана диаграмма оценки f -ого предложения по шести критериям пятью экспертами. Из вида диаграммы следует, что оценки эксперта 5 явно не объективны: просматривается его ангажированность f -ым участником конкурса (завышает оценки f -ой заявке).

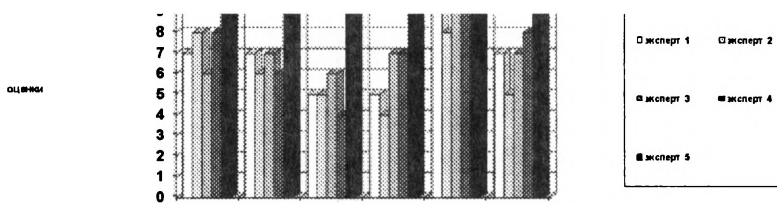


Рис. 36.3. Оценки i -ой заявки

В компьютерной программе могут быть заложены алгоритмы выделения оценок предложений по отдельным критериям, выпадающих из достаточно компактного диапазона соответствующих оценок большинства экспертов. Для этого тендерная комиссия задает программе диапазон нормального разброса оценок экспертов относительно среднего значения. Кроме того, задается граница сомнительности квалификации эксперта, которая выражается в минимальном проценте проставленных экспертом оценок, выходящих за границы установленного нормального диапазона, по отношению к общему числу оценок, проставленных данным экспертом в бюллетене. По этим заданным параметрам программа рассчитывает и выдает номера экспертов, у которых процент оценок за границами нормального диапазона превосходит заданную границу и фиксирует сам процент этих оценок.

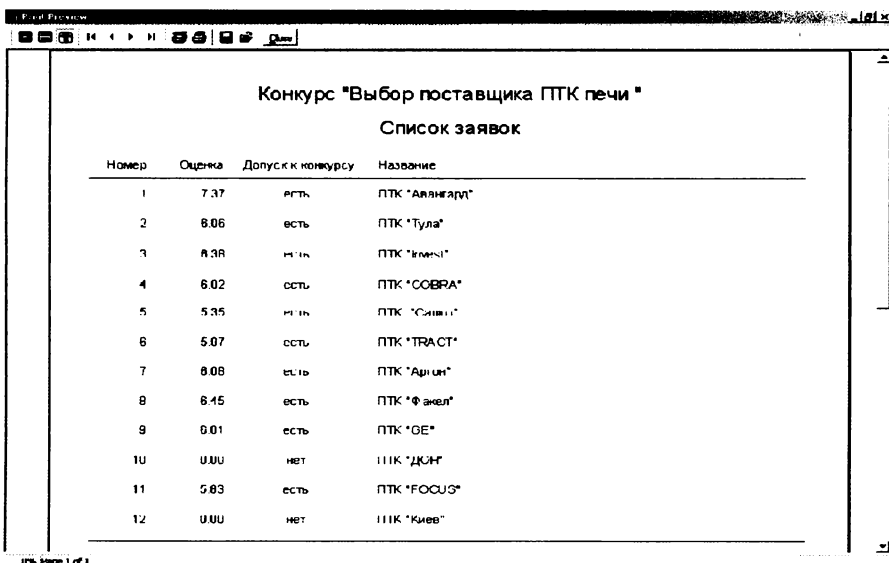
Полученные данные показывают имеющуюся согласованность оценок различных экспертов и могут быть использованы тендерной комиссией для приближенного определения квалификации и объективности отдельных экспертов, принимавших участие в работе экспертной группы.

Анализ полноты заполнения бюллетеней экспертами

Поскольку эксперты не обязаны ставить оценки всем предложениям по всем критериям и, в случае сомнений, могут пропускать (не заполнять) отдельные ячейки бюллетеня, целесообразно определять число пропущенных оценок по отдельным критериям (это является косвенным индикатором трудности сопоставления данных критериев свойствам и характеристикам продукции, описанным в предложениях); а также фиксировать число пропущенных оценок отдельными экспертами (это является косвенным индикатором эрудиции данных экспертов по тематике экспертизы).

Указанные расчеты могут проводиться для их анализа тендерной комиссией.

Результаты решения многокритериальной задачи и их содержательная трактовка Результатами компьютерной обработки оценок предложений членами экспертной группы являются таблицы и диаграммы (ниже приведены их примеры), которые представляются для обсуждения, анализа и принятия решений по проведенному тендеру.



Номер	Оценка	Допуск к конкурсу	Название
1	7.37	есть	ПТК "Алангард"
2	8.06	есть	ПТК "Тула"
3	8.38	нет	ПТК "Ireneki"
4	8.02	есть	ПТК "СОВРА"
5	5.35	нет	ПТК "Синтез"
6	5.07	есть	ПТК "ТРАСТ"
7	8.08	есть	ПТК "Ариин"
8	8.45	есть	ПТК "Факел"
9	9.01	есть	ПТК "ОЕ"
10	0.00	нет	ПТК "ДЖИТ"
11	5.83	есть	ПТК "FOCUS"
12	0.00	нет	ПТК "Киев"

Рис. 36.4. Таблица общих оценок заявок.

Данная таблица дает общую ранжировку заявок; эта же ранжировка фиксируется в виде нижеследующей диаграммы.

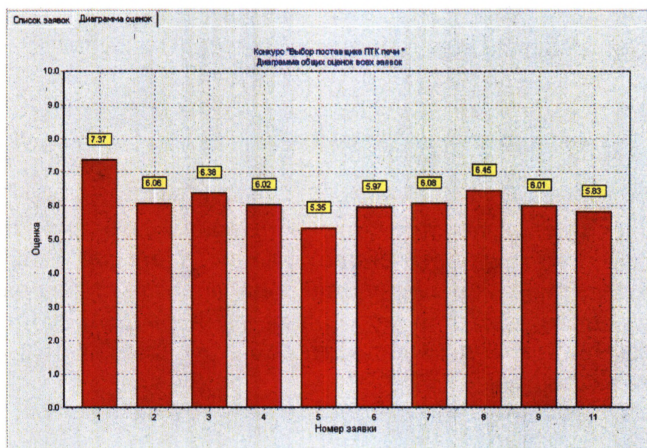


Рис. 36.5. Диаграмма общих оценок заявок.

По выше приведенным результатам определяются:

- предложение, занявшее первое место;
- насколько значительно различаются оценки у предложений, занявших несколько первых мест;
- в каком диапазоне лежат общие оценки всех предложений, насколько они в целом по всем заданным критериям отличаются друг от друга.

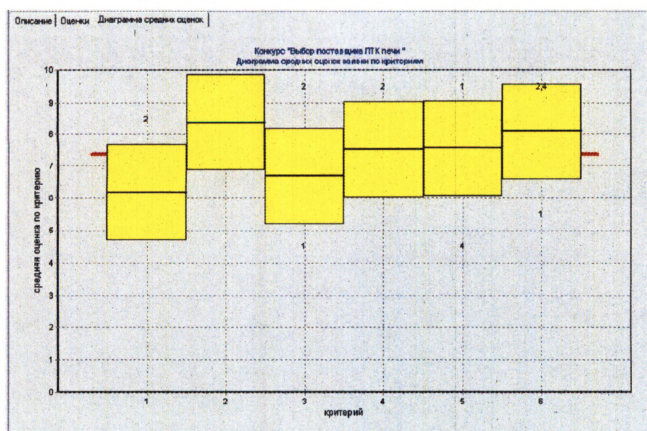


Рис. 36.6. Диаграмма средних оценок i -того предложения по отдельным критериям.

Диаграммы, подобные показанной на рис. 36.6, выдаются по всем предложениям. На каждой из них показаны:

- общая оценка данного предложения (красная линия);
- средние оценки предложения по отдельным критериям (черные линии), которые определяют слабые и сильные стороны данного предложения;
- заданные диапазоны нормального разброса оценок отдельных экспертов относительно средних значений оценок (желтые прямоугольники);
- отдельные оценки, выходящие за диапазоны принятого нормального разброса. Эти оценки фиксируются цифрами, причем каждая цифра есть номер эксперта, поставившего эту оценку, а расположение цифры в координатной сетке показывает: по оси ординат – значение поставленной оценки, по оси абсцисс – критерий, по которому выставлена оценка. Поскольку голосование каждого эксперта рекомендуется проводить тайным от других экспертов, на диаграмме эти оценки никак не привязаны к конкретным личностям, а фиксируются абстрактными для всех экспертов номерами. Частота появления определенных цифр на всех диаграммах и их расположение показывает насколько и как отличаются мнения некоторых, конкретно не указанных экспертов от мнений большинства членов экспертной группы.

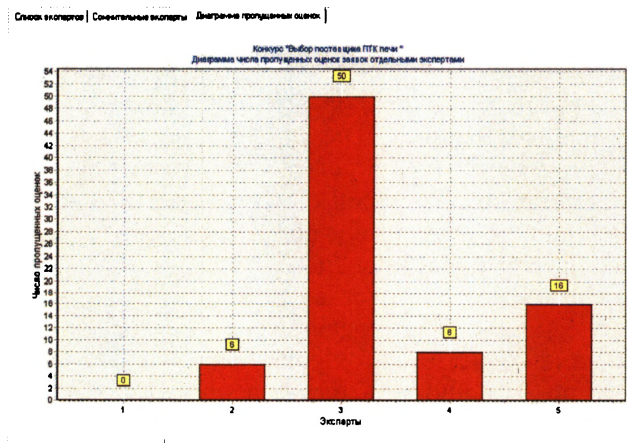


Рис. 36.7. Диаграмма пропущенных (не поставленных) оценок отдельными экспертами.

Здесь следует отметить, что некоторые эксперты специально призваны оценить заявку только по одному или нескольким критериям; естественно, что по всем прочим критериям они оценки не ставят. Но

для остальных экспертов данная диаграмма показывает неуверенность отдельных экспертов в оценках заявок по отдельным критериям, что в некоторой степени является косвенным индикатором эрудиции этих экспертов.

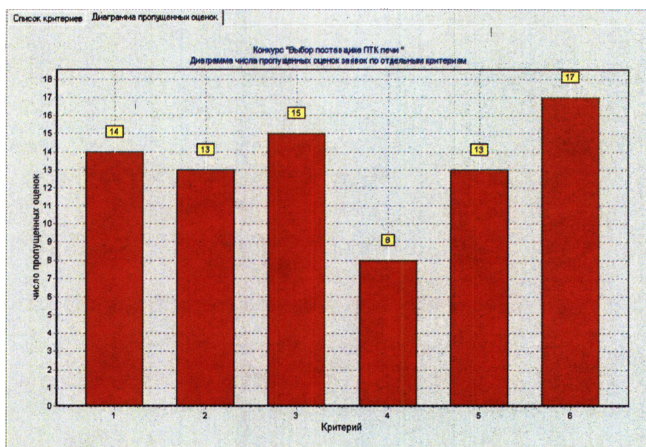


Рис. 36.8. Диаграмма пропущенных (не поставленных) оценок по отдельным критериям.

Значительное число не поставленных оценок по отдельным критериям косвенно характеризует, что в предложениях нет однозначного прямого ответа на вопросы этих критериев.

Результат тендера

Результаты вычислительной обработки экспертных оценок целесообразно обсудить с экспертами. В результате этого обсуждения экспертной группой принимается одно из следующих решений:

- при содержательном согласии с полученной общей ранжировкой предложений эксперты утверждают полученные результаты;
- при больших отклонениях оценок некоторых отдельных экспертов от оценок большинства экспертов возможно решение об исключении бюллетеней, оценки в которых представляются экспертной группе сомнительными (важно отметить, что производится исключение не оценок определенного по фамилии эксперта, а данных отдельного бюллетеня за определенным номером) и повторение вычислительной обработки оставшихся бюллетеней.

В конечном счете, после указанных одно- или (редко) двухэтапной вычислительной обработки, экспертная группа утверждает полученные результаты общей ранжировки тендерных предложений.

В заключении обычно фиксируются итоги экспертизы и вытекающие из них рекомендации для тендерной комиссии и заказчика:

- выделяется предложение, получившее максимальную общую балльную оценку, или выделяются несколько предложений, оценки которых выше других, но между собою различаются незначимо. Указанные одно или несколько предложений объявляются победителями тендера;

- даются определенные рекомендации по проведению контрактных переговоров заказчика с подателем победившего предложения (или с подателями победивших предложений), учитывающие выявленные в результате экспертизы особенности предложений по отдельным показателям (критериям).

Предлагаемый метод проведения тендера и экспертизы представленных на тендер предложений обладает рядом особенностей:

- гарантирует объективность рассмотрения и анализа предложений;
- учитывает все пожелания заказчика по просмотру тех свойств, характеристик, особенностей предложений, которые являются для него особенно важными;

- позволяет ранжировать предложения с учетом сопоставительной значимости их отдельных свойств для заказчика;

- выявляет сильные и слабые стороны отдельных предложений по рассматриваемым показателям (критериям);

- показывает согласованность мнений всех экспертов и фиксирует некачественную работу отдельных экспертов.

Резюмируя можно отметить, что этот метод исключает возможность какого-либо искажения объективного анализа поступивших на тендер предложений и не позволяет вмешаться любому лицу в полученный компьютером результат выбора победителя тендера. Эта особенность может рассматриваться заказчиком как преимущество метода, так и как его недостаток; в зависимости от установки заказчика при объявлении тендера.

Глава 35. Особенности проектирования, внедрения и эксплуатации АСУТП

В России не проводятся и не публикуются обобщающие экспертные обзоры качества функционирования АСУТП в разных отраслях промышленности, оснащенных программными и техническими средствами разных производителей, работающих в разных организационных взаимодействиях с оперативным и обслуживающим персоналом. Не существует сводных аналитических материалов, по которым можно было бы сформулировать способы рационального внедрения и эксплуатации разработанных АСУТП.

Последние годы автору пришлось многократно знакомиться с конкретными работами по проектированию, внедрению АСУТП и с формами эксплуатации систем автоматизации на предприятиях разных отраслей: энергетики, химии, нефтехимии, нефтепереработки, минеральных удобрений и т. д. Это выявило ряд характерных особенностей проектирования, внедрения и эксплуатации АСУ, которые должны учитываться повсеместно, независимо от принадлежности производства к той или иной отрасли. Эти особенности возможно не знают, возможно ими пренебрегают, возможно их забывают предприятия - заказчики АСУТП.

Рассмотрению этих особенностей, существенно влияющих на эффективность работы технологических агрегатов и производства в целом, посвящен материал данной главы.

35.1. Необходимые работы на этапах проектирования и внедрения АСУТП

Ниже выделяются те узловые элементы этапов проектирования и внедрения, выполнение которых требует особого внимания заказчика, поскольку недостатки их реализации будут значительно мешать эффективной эксплуатации АСУТП.

35.1.1. Взаимодействия заказчика и разработчика при создании АСУТП

Особенности требований к проектированию и внедрению АСУТП

Для различных видов работ по проектированию, монтажу, наладке, внедрению АСУТП разрабатываются различные разделы технических требований. Не останавливаясь на достаточно типовых указаниях к этим работам, отметим некоторые важные разделы требований, которые должны быть сформированы и по которым можно будет проверять полноту и качество проведенных работ.

Разработка технорабочего проекта модернизации и совершенствования средств полевого уровня. **Требуется проектная проработка:** необходимых изменений и дополнений в средствах полевого уровня; замены морально и физически устаревших средств; дополнения полевого уровня современными средствами, обеспечивающими всей необходимой информацией работу АСУТП. Особое внимание следует уделить проектированию средств контроля и учета материальных и энергетических потоков агрегата, мониторингу текущего состояния основных единиц оборудования агрегата, вычислению ключевых показателей эффективности работы агрегата.

Разработка технической части проекта ПТК. **Требуется отметить:** расположение отдельных средств ПТК на производстве; сформировать

принципиальные и монтажные схемы соединений средств ПТК, их связи со средствами полевого уровня, их граничные компоненты связи с посторонними средствами и системами. Надо определить специальные конструктивные меры по защите технических средств ПТК от внешних помех и воздействий промышленной среды.

Разработка прикладной программной части проекта ПТК. Требуется сформировать: алгоритмы и программы ввода исходных данных, их проверку на достоверность, заданную вычислительную и логическую обработку, хранение и их выдачу операторам и обслуживающему персоналу.

Контроль качества разработанного технорабочего проекта АСУТП. Требуется предусмотреть: квалифицированный анализ технорабочего проекта; стендовые (полигонные) испытания разработанного программного обеспечения ПТК с участием персонала предприятия-заказчика; тестирование реализации отдельных функций контроля и управления на объекте по заранее составленной методике.

Организационные и административные мероприятия предприятия по поддержке эффективной работы АСУТП. Требуется описания мероприятий: по участию персонала предприятия в работах на этапе внедрения АСУТП; по согласованию критериев работы операторов с критериями, заложенными в систему автоматизации; по коррекции нормативных документов, должностных инструкций, содержания материальных стимулов операторов за рациональную эксплуатацию внедряемой системы автоматизации.

Внедрение АСУТП. Требуется проверка: полноты и конкретности эксплуатационной и программной документации выдаваемой заказчику, включая необходимую для обслуживания средств АСУТП документацию; качества выдаваемых инструкций операторам и сотрудникам КИПиА по работе и обслуживанию АСУТП; предусмотренных форм, методов, сроков и программы обучения оперативного и обслуживающего персонала работе с АСУТП. Необходимо проведение эксперимента по оценке достигнутой эффективности работы агрегата при работе АСУТП, а требуемое время этапа опытной эксплуатации АСУТП определяется освоением системы автоматизации персоналом АСУТП.

Особенности проведения этапа проектирования

На этом этапе обычно закрепляются имеющиеся недоработки технических требований к АСУТП, поскольку еще до начала работы в проектной организации отсутствует комплексный анализ достаточности и необходимой конкретности заданных заказчиком технических требований к системе и поэтому не обсуждается их необходимая коррекция и дополнения по согласованию с заказчиком.

При выполнении технорабочего проекта проектным институтом данной отрасли важно проследить дублировались ли им старые проекты, разработанные в предыдущие годы институтом для аналогичных по функциям систем автоматизации, поскольку это чревато использованием морально устаревших средств и отсутствием современных и перспективных компонентов системы;

При выполнении технорабочего проекта поставщиком средств и системы автоматизации следует оценить достаточность знания им технологических и управленческих особенностей автоматизируемого объекта на данном конкретном предприятии, т. к. часто наблюдается из-за поверхностного знания специфики автоматизируемого объекта недостаточно полная реализация контроля и учета работы автоматизируемого технологического агрегата и недостаточно точное выполнение системой автоматизации управляющих функций;

Независимо от конкретного исполнителя проекта системы противоаварийной защиты (систем ПАЗ) необходимо настоять на соблюдении требований посвященных построению этих систем стандартов: IEC 61508 «Функциональная безопасность электрических, электронных, программируемых электронных систем, связанных с безопасностью» (ГОСТ Р МЭК 61508 -2007) и IEC 61511 «Системы обеспечения безопасности для перерабатывающих отраслей промышленности» (подробно см. главу 14 книги).

При приемке технорабочего проекта на систему автоматизации заказчиком должна проводиться его достаточно тщательная проверка, поскольку все его огрехи после внедрения будет достаточно дорого и не просто исправлять. Проверка проекта должна касаться, как минимум, следующих факторов:

- выполнения в нем всех требований технического задания;
- использования в нем современных и перспективных общих программных и технических средств;
- поставки полного комплекса необходимых прикладных программ контроля, учета, блокировок, управления;
- наличия в нем типовых интерфейсов для связи с имеющимися и планируемыми системами автоматизации и информатизации на предприятии.

Нельзя отнестись к приемке технорабочего проекта формально, не вдаваясь в принятые в проекте решения, поскольку при этом, с недостатками проекта надо будет бороться уже во время эксплуатации АСУТП.

Искоренению недоработок проекта может способствовать только конкретное, квалифицированное наблюдение за этапами процесса

проектирования и подробный анализ выполненного проекта при его утверждении и приеме для реализации. Обычной причиной формального отношения заказчика к приемке проекта является его заявление: «Проектант лучше нас знает, что надо». К сожалению, это заявление в ряде случаев является истинным и оно свидетельствует только о том, что к слежению за разработкой проекта и к процедуре приемки проекта целесообразно в этих случаях привлекать постороннюю организацию типа системного интегратора или консультанта в области автоматизации производства данного класса технологических предприятий.

Учет АСУТП как эргатической системы при ее разработке

Любая АСУТП является эргатической (т. е. человеко-машинной) системой управления и разработка (если она называется созданием АСУТП), должна касаться как машинной, так и человеческой части управляющего комплекса, т. е. включать в себя необходимые мероприятия, нормативы, инструкции, указания, поощряемые результаты управления агрегатом, которые требуются для правильного и эффективного использования средств и системы автоматизации операторами, администратором и обслуживающим АСУТП персоналом (подробно см. введение к книге). В технических требованиях, в проекте, в работах при внедрении эта ведущая (человеческая) часть управляющего комплекса должна рассматриваться.

Следует внедрить в сознание как разработчиков, так и заказчиков АСУТП, что даже идеально разработанная система автоматизации с современными программными и техническими средствами не сможет обеспечить возможную и необходимую эффективность работы технологического агрегата, если не разработать совместно разработчиком и заказчиком специальные мероприятия по созданию условий качественной работы с внедряемой системой автоматизации операторов, администратора и обслуживающего АСУТП персонала (подробно см. выше главу 23).

Правила обучения персонала использованию и обслуживанию системы автоматизации АСУТП

Основной связью разработки машинной и человеческой частей АСУТП, которой уделяется внимание, является обучение персонала, который будет использовать и обслуживать внедряемые средства и систему автоматизации АСУТП. Необходимо при формировании способа, программы, формы обучения, применяемых разработчиком АСУТП, учесть следующие факторы, существенно сказывающиеся на освоении персоналом возможностей внедряемой системы автоматизации и на качественном поддержании ее работоспособности:

- существующую квалификацию обучаемого персонала, от которой

зависит усвоение персоналом необходимых им для работы знаний;

- тому обстоятельству, что чем современнее и сложнее система автоматизации, тем более тщательно надо подходить к обучению персонала и проверке усвоения им необходимых правил работы с системой;

- желательности проводить обучение управлению с внедряемой системой на модели объекта при имитации различных событий и нарушений в работе объекта управления и в системе управления. Подобная, наиболее целенаправленная форма обучения может проводиться в компьютерном тренажерном классе или при приемке системы, путем обкатки ее работы на модели объекта;

- необходимости практических занятий по закреплению правил работы с системой автоматизации (часто, они вообще отсутствуют). При этом, чем совершеннее внедряемая система, тем большее внимание следует уделять ее практическому усвоению;

- обязательности проверки освоения каждым обучаемым сотрудником предприятия знаний по рациональному использованию внедряемой системы. Формальная форма зачета и выдачи свидетельства об освоении материала по работе с системой автоматизации не должна иметь место.

Необходимо заранее рассматривать и утверждать формы и программы обучения операторов АСУТП и обслуживающий ее персонал; следует серьезно относиться к проверке усвоенных знаний каждым слушателем и не допускать не сдавших зачет сотрудников к работе с внедряемой системой автоматизации.

Участие персонала предприятия в работах по внедрению АСУТП

Существенным дополнением к обучению персонала является его участие в работах по внедрению АСУТП, при которых он, при непосредственном взаимодействии с разработчиком АСУТП, нарабатывает практику работы с системой автоматизации и с ее программными и техническими средствами. Привлечение персонала предприятия к работам по внедрению целесообразно начать на этапе приемки системы автоматизации и проверки ее работы на площадке разработчика или на площадке самого предприятия. Затем полезно продолжить совместную деятельность на этапе наладки системы автоматизации на объекте и, наконец, завершить ее на этапе опытной эксплуатации системы.

Особенно важно подойти к организации совместного взаимодействия заказчика и разработчика на этапе опытной эксплуатации АСУТП. На этом этапе должна произойти полная притирка машинной и человеческой частей АСУТП. Операторы должны полностью освоить внедренную систему автоматизации: они должны успеть рассмотреть, определить и сформулировать все замечания и вопросы по самой

системе и работе с ней и указать разработчику все ее недостатки и недоработки, тормозящие качественное управление агрегатом. Аналогичные формы освоения должны на этом этапе пройти администратор системы и обслуживающий ее персонал. Разработчик должен произвести все коррекции в техническом и программном обеспечении системы согласно замечаниям ее пользователей, разъяснить все неясные моменты ее пользователям, проверить все аспекты качественного взаимодействия персонала с системой. Только после полного удовлетворения всех отмеченных моментов может быть подписан протокол о завершении этапа опытной эксплуатации и возможен переход к промышленной эксплуатации системы.

Как показал анализ ряда внедренных АСУТП на разных предприятиях, полное освоение новых систем автоматизации персоналом происходит за интервал времени от нескольких месяцев и более. Чем объемнее и совершеннее система автоматизации и чем ниже квалификация персонала, тем больше интервал времени ее освоения.

Ввиду этих обстоятельств требуется такой подход к планированию срока опытной эксплуатации АСУТП:

- в договоре должно быть зафиксировано, что ее срок определяется временем освоения персоналом внедренной системы, а это время фиксируется совместным соглашением заказчика и разработчика о проверке выдаче всех замечаний персоналом и о производстве соответствующих коррекций системы разработчиком, которые удовлетворили работающий с системой персонал предприятия.

35.1.2. Оценка эффективности, достигнутой при внедрении АСУТП

Принципиально важным является экспериментальная оценка полученного предприятием эффекта от внедрения системы автоматизации. Важно отметить, что только при планировании АСУТП руководство предприятия обычно требует прогнозировать экономический эффект от функционирования АСУТП и даже оценивать срок ее окупаемости.

Принципиально важно на этапе опытной эксплуатации АСУТП провести практическую оценку полученной эффективности от ее внедрения, чтобы подтвердить правильность вложенных ресурсов в ее создание и определить реальные производственные изменения, полученные в результате ее функционирования. Не менее важно в процессе эксплуатации системы, периодически, проверять не уменьшилась ли достигнутая ранее эффективность. Для оценки существующей эффективности работы системы должны использоваться текущие и исторические данные, непосредственно фиксирующие работу того участка

производства, на характеристики которого влияет рассматриваемая система.

Предварительно следует уточнить, что здесь под понятием «Эффективность АСУТП» понимается подробно описанная выше в главе 31 общая эффективность системы, частью которой является экономическая составляющая эффективности.

При конкретном анализе полученной эффективности правильнее разделить эффективность работы АСУТП на эффективность автоматической реализации отдельных, реализуемых в ней функций. Это упрощает анализ, поскольку система автоматизации АСУТП всегда реализует ряд функций и каждая из них может совершенно поразному влиять на получаемые компоненты эффективности. Следует отдельно остановиться на методике определения достигнутой эффективности любой внедренной АСУТП, поскольку достаточно редко проводится практическая оценка достигнутого эффекта от внедрения системы, еще реже она проводится достаточно объективно и достоверно, а сохранением достигнутого эффекта за длительное время эксплуатации системы руководство предприятия обычно вообще не интересуется.

Задача оценки полученной эффективности данной системы автоматизации в текущий период времени ставится как задача сравнения в разные периоды времени значений ряда показателей функционирования автоматизированного технологического агрегата, которые зависят от автоматизированных в нем функций. При оценке эффективности АСУТП в начальный период ее эксплуатации (период ее опытной эксплуатации) сопоставляются значения этих показателей до внедрения данной системы и после ее внедрения. При определении качества работы системы автоматизации в дальнейшие периоды ее эксплуатации сопоставляются либо значения этих показателей в начальный период ее эксплуатации и в текущий период, либо в определенный период прошлого времени эксплуатации системы (например, год назад) и в настоящее время. Естественно, при этом сопоставлении необходимо отбирать такой прошлый период времени, в котором внешние возмущения и режимы работы производства наиболее близки наблюдаемым в текущем периоде времени.

Основными сравниваемыми показателями являются ключевые показатели эффективности работы автоматизированного технологического агрегата, расходы на обслуживание и ремонт оборудования, производственные потери различных видов, незапланированный простой основного оборудования, точность соблюдения заданных режимов технологического агрегата, средние значения потребляемых агрегатом энергетических ресурсов, качество (сортность) выпускаемой агрегатом

продукции.

Практическое определение той части изменения любого из указанных выше показателей, которая обусловлена работой внедренной АСУТП, на действующем агрегате содержит ряд трудностей. Все они обусловлены тем, что требуют сопоставления по значениям этих показателей разновременных, близких режимов работы агрегата, отличающихся, главным образом, только качеством работы изучаемой системы автоматизированного управления или отсутствием этой системы в одном из режимов работы агрегата. Однако, поскольку эти режимы могут функционировать только последовательно во времени, то гарантировать их идентичность по всем характеристикам и свойствам, за исключением функционирования системы автоматизации, нельзя. Более того, можно с уверенностью сказать, что в большинстве случаев значения любых показателей в разные интервалы времени различаются в большей или меньшей степени в силу целого ряда причин, не зависящих от работы внедренной системы автоматизации. К основным причинам можно отнести:

- случайные изменения во времени качества сырьевых компонентов, поступающих в агрегат, которые могут носить как стационарный, так и не стационарный характер;
- случайные изменения во времени показателей энергетических ресурсов, используемых агрегатом;
- случайные колебания параметров внешней среды, влияющих на характеристики режимов работы агрегата;
- случайные изменения свойств и характеристик оборудования агрегата во времени;
- проводимые в отдельные моменты времени организационные, технические, технологические мероприятия и модификации (никак не связанные с автоматизацией), влияющие на эффективность работы агрегата.

Все эти причины в совокупности приводят к тому, что поведение показателей работы производства во времени носит характер случайных стационарных или нестационарных процессов. В этих условиях действия совокупности причин, изменяющих показатели работы производства, требуется выделить те изменения показателей, которые обусловлены только текущим влиянием эксплуатируемой АСУТП по сравнению с ее прошлым влиянием или с отсутствием системы. Существует несколько способов требуемого выделения, но наиболее простым и распространенным является способ усреднения рассматриваемых показателей за значительные интервалы времени в каждом из сопоставляемых режимов.

Применение этого метода содержит ряд требований, соблюдение которых снижает погрешность оценки изменений значений показателей:

- определяются все особенности работы анализируемого агрегата в текущее время функционирования анализируемой АСУТП и подбирается такой интервал времени в прошлом функционировании агрегата (без внедренной АСУТП), который по всем остальным воздействиям на агрегат и условиям функционирования агрегата наиболее близок его текущему состоянию;

- интервалы усреднения показателей в каждом из сопоставляемых режимов должны быть одинаковы и должны в не менее, чем в десятки раз превышать наблюдаемые периоды их случайных колебаний;

- имеющиеся в отобранных интервалах усреднения отдельные диапазоны времени, когда происходят флуктуации показателей, вызванные специальными организационными воздействиями на агрегат (например, перерывом в его работе или переналадкой режима), должны быть исключены, а интервалы усреднения продлены на время исключенных диапазонов.

При оценке экономической части общей эффективности от внедрения системы автоматизации выполняются следующие расчеты (подробно рассмотренные выше в главе 31):

- суммируются капитальные вложения на систему автоматизации за все время ее разработки и внедрения с учетом дисконтирования затрат;

- рассчитывается годовая дополнительная прибыль от изменения каждого показателя, которая может обоснованно быть пересчитана на стоимость;

- вычисляется общая дополнительная прибыль от изменения всех показателей, обоснованно меняющихся экономические показатели работы производства за все время функционирования системы (срок службы систем автоматизации обычно принимается равным 10-ти годам) с учетом дисконтирования доходов;

- определяется интегральный дисконтированный экономический эффект как разность общей дополнительной прибыли и капитальных вложений на систему автоматизации. Условием эффективности системы автоматизации является положительное значение интегрального дисконтированного экономического эффекта;

- оценивается срок окупаемости с учетом дисконтирования. Он определяет важный показатель: момент времени, по окончании которого интегральный дисконтированный экономический эффект становится и в дальнейшем остается неотрицательным.

При оценке изменения экономической части общей эффективности во время ее эксплуатации (выявления степени деградации системы)

выполняются следующие расчеты:

- рассчитывается годовая дополнительная прибыль/убыль от изменения каждого показателя;
- суммируются дополнительные прибыли/убыли от изменения всех показателей.

Полученный результат определяет насколько стабильна экономическая часть эффективности работы АСУТП в течение ее эксплуатации; а этот результат косвенно характеризует и стабильность общей эффективности системы, поскольку все ее части взаимозависимы. Возможны как неизменность качества работы системы автоматизации за сравниваемые интервалы времени (отсутствие значимых изменений показателей эффективности), так и улучшение качества ее работы (например, за счет более квалифицированного и полного использования операторами возможностей системы) или ухудшение – деградация (например, за счет плохого обслуживания средств системы или за счет ее неполного использования операторами, или за счет образовавшегося несоответствия ряда ее функций вновь модернизируемому агрегату).

35.2. Необходимый аудит АСУТП на этапе ее промышленной эксплуатации

Любая функционирующая АСУТП со временем имеет тенденцию к деградации, если она недостаточно квалифицированно эксплуатируется. Деградация АСУТП проявляется в ухудшении во времени качества ее работы и снижении эффекта от ее применения. Ускоряют процесс деградации АСУТП ряд факторов:

- сложность и взаимосвязь контуров управления, требующих точного знания текущих характеристик технологического процесса;
- изменчивость свойств объекта автоматизации и изменения его режимов работы во времени;
- значительные изменения в процессе эксплуатации качества сырьевых компонентов и параметров выпускаемой продукции;
- проходящая во время эксплуатации АСУТП модернизация оборудования агрегата;
- возникающее в течение времени ухудшение точности и надежности работы средств КИПиА, вызванные их физическим износом.

Конкретно процесс деградации заключается в ухудшении всех или части показателей качества работы АСУТП:

- в недостаточно точном и стабильном поддержании заданного режима работы агрегата;
- в увеличении материальных потерь и удельных расходов различных видов энергоресурсов;

- в снижении среднего качества выпускаемой агрегатом продукции;
- в увеличении числа и продолжительности различных нештатных ситуаций и т. д..

Важнейшей задачей правильной эксплуатации АСУТП является своевременное обнаружение ее деградации и разработка мер по восстановлению эффективности ее работы. Данная задача должна решаться периодическим аудитом функционирующей АСУТП. Под названием «Аудит АСУТП» понимается **независимая** проверка ее работы:

- анализ существующего качества ее функционирования: подтверждения или изменения эффективности, которая была получена при ее сдаче в промышленную эксплуатацию, соответствия заданным требованиям, условиям и нормативам;

- выработка конкретных рекомендаций повышения качества работы по выявленным недостаткам ее функционирования.

В качестве аудитора (службы, проводящей аудит) может выступать как самостоятельное подразделение предприятия (внутренний аудит), так и посторонняя фирма (внешний аудит). Проведение периодического аудита эксплуатируемого АСУТП имеет первостепенное значение, поскольку оно позволяет поддерживать высокое качество и необходимую эффективность работы АСУТП и исключить ее деградацию во время эксплуатации. Тривиальная истина, что для достижения высокой эффективности АСУТП мало приобрести высококачественную, современную систему автоматизации, надо еще правильно ее эксплуатировать и обслуживать, на практике требует все нового и нового подтверждения.

Следует подчеркнуть отличия аудита от непосредственной оперативной работы инженерного персонала участков и цехов предприятия по анализу функционирования систем контроля и управления производственными объектами в их подразделениях. Обязанностью руководителей производственных подразделений является анализ работы имеющихся у них систем контроля и управления, который они проводят регулярно (обычно, ежесуточно) на базе автоматически формируемых сводок систем автоматизации; сменных протоколов и отчетов операторов производственных процессов и администраторов систем автоматизации; рапортов сотрудников КИПиА, обслуживающих средства автоматизации в их подразделениях. Этот анализ заключается в оперативном выявлении различных сбоев, отказов, недостоверной информации, неправильных или неквалифицированных действий операторов, аварийных ситуаций, но он не подпадает под понятие аудита, поскольку не касается качества и эффективности работы АСУТП.

Службы предприятия, которые должны быть заинтересованы в аудите АСУТП:

- руководство предприятия, выделяющее финансовые ресурсы на автоматизацию, в соответствии с представленными ему полученными при внедрении данными об эффективности использования этих ресурсов;

- экономическая служба предприятия, отвечающая за качество и себестоимость продукции и определяющая эффективность работы отдельных подразделений производства.

Исполнителем аудита может являться подразделение самого предприятия, отвечающее за эффективность работы производства, или посторонняя организация, которой задают цель обследования различных АСУТП производства и выдачи рекомендаций по их совершенствованию, расширению и модификации.

Требования, предъявляемые к аудиторам:

- они должны быть хорошо информированы о возможностях современных средств/систем автоматизации и, в особенности, о характеристиках экспертируемых ими АСУТП;

- они должны квалифицированно ориентироваться в специфике обследуемых ими технологических процессов производства;

- они не должны зависеть от руководителей отдельных производственных цехов и участков, от службы КИПиА предприятия;

- они должны определять, как отдельные недостатки в работе системы и средств автоматизации, так и в работе операторов и обслуживающего АСУТП персонала и намечать мероприятия по исключению этих недостатков.

Частота проведения аудита, реализуемого службой предприятия; определяется внутренними потребностями и возможностями предприятия; аудит АСУТП производства, осуществляемый посторонней организацией, рекомендуется проводиться через один или два года.

Основные задачи аудита

Типовыми задачами внутреннего аудита являются оценка степени деградации АСУТП, которая может быть определена путем сопоставления аналогичных значений ключевых показателей работы автоматизированного объекта за текущий и близкие по характеристикам сырья и заданным режимам работы прошлые интервалы времени:

- сменной и суточной производительностью агрегата;

- средним качеством выпускаемой продукции за интервалы времени порядка недели и более и числа лабораторных анализов, не соответствующих заданному качеству в рассматриваемых интервалах времени;

- сменными и суточными удельными расходами различных видов энергоресурсов;

- числом и продолжительностью нештатных ситуаций за интервалы

времени порядка недели и более и причинами их возникновения;

- долями времени нахождения регулирующих органов основных контуров регулирования в конечных положениях за отдельные смены;
- общим временем отключения отдельных средств и системы автоматизации из-за их неисправностей или из-за некачественной работы за интервалы времени порядка недели и более.

Разница в значениях этих показателей при их сопоставлении за разные интервалы времени может быть вызвана различными причинами, только одной из которых является деградация АСУТП; поэтому далее требуется содержательный анализ полученных данных. Результаты анализа позволяют выявить причины деградации и наметить мероприятия по их устранению. В частности, такими мероприятиями могут быть коррекция отдельных алгоритмов контроля и управления или добавление новых алгоритмов; пересмотр и модификация отдельных прикладных программ; перенастройка разных контуров регулирования; замена определенных технических средств системы.

Основными задачами внешнего аудита являются анализ результатов работы службы внутреннего аудита:

- оценка используемых службой внутреннего аудита методов обследования и рекомендуемых мероприятий;
- выявление достаточности охвата автоматизацией функций контроля и управления;
- обнаружение различных недостатков и недоработок в автоматической и человеческой частях системы управления технологическим агрегатом и выработка мероприятий по повышению эффективности работы агрегата.

При проведении аудита АСУТП используются различные исходные документы:

- протоколы, сменные журналы, отчетные ведомости и рапорта операторов агрегата;
- сохраняемые в исторической базе данных системы автоматизации наименования происшедших нештатных и аварийных ситуаций, а также моментов их возникновения;
- сведения об отключениях отдельных средств и систем, а также времени нахождения их в нерабочем состоянии;
- временные графики изменения отдельных регулируемых величин и учетных показателей;
- интервалы времени, в которых основные показатели технологических процессов находились вне диапазонов их нормальных изменений;
- фиксируемые действия операторов с указанием моментов времени их проведения;

- отчеты ремонтной службы по обслуживанию и ремонтам технических средств системы автоматизации с описанием причины обслуживания (ремонта) и содержания проведенных работ;

- отчеты администратора системы автоматизации по обслуживанию программного обеспечения системы автоматизации, с описанием проводимых работ, включая коррекцию и перестройку параметров программ, исправление ошибок программ, их модернизацию, добавление новых программ и т. п..

Основные результаты и рекомендации аудита:

- оценки текущих показателей работы агрегата и их сопоставление с аналогичными показателями его работы за отобранные предыдущие периоды работы;

- оценки текущих показателей работы системы автоматизации и их сопоставление с аналогичными показателями ее работы за отобранные предыдущие периоды работы;

- оценки текущей работы персонала, использующего систему автоматизации и обслуживающего систему, и выявление изменений в их функционировании по сравнению с отобранными предыдущими периодами работы;

- рекомендации по совершенствованию, коррекции и модернизации системы автоматизации;

- рекомендации по совершенствованию работы операторов и обслуживающего систему автоматизации персонала;

- организационные и административные предложения по совершенствованию управлению агрегатом.

Методы проведения аудита:

- анализ имеющегося текущего и архивного документального материала, касающегося работы агрегата, средств и системы автоматизации;

- анкетирование персонала, использующего систему автоматизации и обслуживающую ее;

- интервьюирование производственного персонала: начальника цеха, технолога, операторов, администратора системы автоматизации, сотрудников службы КИПиА;

- непосредственное наблюдение за работой АСУТП;

- проведение специальных экспериментов по выяснению отдельных аспектов функционирования АСУТП.

Ниже кратко выделены особенности отдельных методов проведения аудита.

Анкетирование персонала является наиболее простым и легким методом, не требующим непосредственного присутствия аудиторов на производственном объекте. В то же время, он является наиболее

неточным, ограниченным по получаемым сведениям, недостаточно достоверным, а зачастую и заведомо специально искаженным.

Для качественного проведения анкетирования необходимо формулировать в них вопросы в точно однозначно понимаемом, абсолютно конкретном виде.

При этом следует использовать только те формы вопросов, которые предполагают либо простой, численный ответ, либо в которых заранее сформулированы все возможные варианты ответов и анketируемый должен выбрать один из них, либо возможен ответ только в виде альтернативы типа «да – нет».

На первом, начальном этапе внешнего аудита, с целью сокращения времени его проведения и снижения загрузки аудиторов можно проводить предварительное анкетирование персонала предприятия с учетом указанных требований к формам анкет. В этом случае целесообразно формировать не одну, а ряд анкет, каждая из которых содержит определенный круг вопросов, направленных на отдельную группу специалистов предприятия:

- на обслуживающий и ремонтирующий средства/системы автоматизации персонал;
- на администратора системы автоматизации;
- на операторов агрегата;
- на инженерный персонал цеха, где функционирует АСУТП.

Такое раздельное анкетирование специалистов, связанных с АСУТП, позволяет более всесторонне оценить ее работу. В то же время дублирование некоторых вопросов разным группам специалистов, но сформулированных разным образом, позволяет провести первичный выборочный контроль правильности заполнения анкет.

На следующем этапе аудита, когда непосредственно анализируется работа АСУТП, целесообразно перепроверить и уточнить отдельные сведения, полученные путем анкетирования.

Работа с документальным материалом является основным способом аудита, поскольку документы позволяют произвести всесторонний анализ текущего состояния управления агрегатом, определить показатели качества, точности и надежности работы системы автоматизации, выделить тенденции ухудшения отдельных характеристик средств и системы и наметить пути совершенствования их функционирования. Важным следствием анализа имеющегося на момент аудита документального материала является определение его достаточности, качества, глубины обработки исходных данных, наличия существенных расчетных обобщенных показателей, что позволяет сформулировать

предложения по совершенствованию обработки и хранения информации, характеризующей показатели функционирования АСУТП.

Интервьюирование персонала полезно, поскольку оно дает ряд дополнительных сведений об особенностях, достоинствах и недостатках работы АСУТП и ее эксплуатации.

В частности этим путем выясняются:

- вопросы комфортности работы операторов, удобства их взаимодействия с системой автоматизации;

- имеющиеся замечания обслуживающего и ремонтного персонала к оборудованию агрегата и к техническим средствам и системе автоматизации;

- определенные качественные недостатки и недоработки действующей системы, которые не могут быть зафиксированы формальными методами;

- недостающие и/или недостаточно оперативные связи с внешними системами предприятия: с лабораторией, с технологом, с производственными службами.

Существенная информация может быть получена этим путем по отдельным аспектам взаимосвязей различных групп персонала, непосредственно работающих с АСУТП; в частности, отношениях операторов агрегата со службами КИПиА, с технологом, с службами главного энергетика и главного механика.

Непосредственное наблюдение за работой АСУТП существенно, поскольку позволяет свежим взглядом постороннего специалиста выявить те особенности и нюансы работы операторов, отдельных средств и системы автоматизации, которые не привлекают внимание управляющего и обслуживающего персонала, но значительно влияют на эффективность работы систем автоматизации.

Проведение специального промышленного эксперимента по выяснению отдельных аспектов функционирования АСУТП. В ряде случаев для объективной оценки качества и эффективности работы АСУТП целесообразно проводить специальные обследования, заключающиеся в целенаправленных, достаточно кратковременных изменениях режима работы агрегата и фиксации показателей его работы в разных режимах или при разных вариантах управления (например, в вариантах ручного и автоматизированного управления). Особенно важно проводить такие обследования для объективной оценки тех изменений показателей работы агрегата, которые возникают из-за функционирования систем автоматического регулирования.

Глава 36. Причины недостаточной эффективности АСУТП на российских предприятиях технологических отраслей

Во всех разделах данной книги уделялось внимание тем распространенным недостаткам автоматизации производства, которые касались тематики данного раздела. В этой, последней главе книги, полностью посвященной только причинам недостаточной эффективности АСУТП на российских предприятиях технологических отраслей, суммируются и обобщаются все повсеместно имеющиеся недостатки автоматизации производства и их причины, большей частью по отдельности уже отмеченные в различных разделах книги. Это обобщение базируется на результатах проведенных в последние годы автором обследований автоматизированных систем управления производственными объектами на 28-ти российских предприятиях разных технологических отраслей: химии, нефтехимии, нефтепереработки, энергетики (ТЭЦ), металлургии, минеральных удобрений и др.. В главе выделяются повсеместно существующие достаточно общие недостатки планирования, проектирования, внедрения и эксплуатации автоматизированных систем контроля и управления производственных объектов, существенно снижающие практически достигаемую эффективность применения этих систем, анализируются их причины, отдельно рассматривается роль дирекции предприятий в любых мероприятиях, касающихся автоматизации производства.

36.1. Типовые недостатки работ по автоматизации производства

Выделяются, обобщаются и суммируются, частично уже отмеченные ранее в отдельных главах книги, те существующие на российских предприятиях технологических отраслей положения, которые снижают рациональность и эффективность автоматизации производственных объектов. Рассмотрение этих положений проводится последовательно по этапам построения, внедрения и эксплуатации АСУТП.

36.1.1. Недостатки планирования АСУТП

Недостаточно полный состав разработчиков системы автоматизированного управления любого производственного объекта

Важнейшим фактором правильного развития автоматизации производственных объектов является обоснованное построение новых систем автоматизации и своевременная модернизация существующих систем. Для этого коллектив их разработчиков должен объективно анализировать текущие потребности производства в автоматизации, хорошо представлять себе возможности современных средств и систем автоматизации разных производителей, учитывать выделяемые

финансовые ресурсы на автоматизацию и определять целесообразную последовательность отдельных мероприятий по автоматизации отдельных переделов производства.

В действительности существующий коллектив участников работ по автоматизации любого производственного объекта далеко не полностью соответствует указанным требованиям. Практически членами этого коллектива являются в подавляющем большинстве случаев:

- заказчик, который планирует автоматизацию данного объекта, формирует требования на его автоматизированное управление, проводит тендер на выбор разработчика системы, реализует использование и обслуживание системы. Он, естественно, не осведомлен о всех особенностях современных систем автоматизации разных производителей и достаточно приближенно оценивает требования к отдельным системам и, тем более, рациональную последовательность их внедрения;

- выбранный поставщик технических и программных средств системы, который хорошо ориентируется в своей продукции, но слабо представляет тонкости функционирования объекта автоматизации;

- разработчик системы, реализующий технорабочее проектирование, наладку и внедрение системы, нацеленный на максимально возможное использование своего имеющегося опыта по проектированию и внедрению систем какого-то одного поставщика, поскольку это существенно облегчает и ускоряет его работу.

Неполноценность состава разработчиков заключается в отсутствие в перечне коллектива важнейшего участника - системного интегратора (или генерального подрядчика, или консультанта), который мог бы квалифицированно и объективно организовать и экспертировать все указанные работы. Его отсутствие значительно снижает качество всех работ по автоматизации объекта, поскольку сказывается:

- на полноте, конкретности и обоснованности требований на автоматизацию объекта;

- на рациональности выбора поставщика средств и разработчика системы;

- на качестве технорабочего проекта и правильности проведения этапа опытной эксплуатации внедряемой системы.

Отсутствие обоснованной стратегии рациональной автоматизации производства

На ряде предприятий общая стратегия или концепция развития автоматизированных систем управления производством и его переделами отсутствует, а развитие автоматизации происходит по отдельным, достаточно частным причинам, например:

- расширение производства реализуется приобретением новых

агрегатов, которые оснащены своими автоматизированными системами управления;

- подорожание электроэнергии заставляет руководство предприятия больше внимания уделять ее учету и рациональному использованию, что приводит к выделению финансовых ресурсов на автоматизацию электрообъектов;

- физическое старение средств и автоматизированных систем отдельных переделов производства достигло такого уровня, что без их замены трудно обеспечить нормальное функционирование производства;

- приход на отдельные производственные участки молодых руководителей, недавно получивших высшее образование, и их настойчивые, подкрепленные обоснованиями просьбы расширить и обновить существующие средства и системы автоматизации на их участке находят положительное решение руководства предприятия.

Есть значительное число предприятий, на которых сформирован документ, являющийся концепцией развития автоматизации производства. В зависимости от того, кем сформирован этот документ, можно указать его распространенные недостатки:

- если концепция создана персоналом самого предприятия, то в ней наблюдается сохранение и развитие знакомых по работе и обслуживанию систем автоматизации и недостаточное знание, а, следовательно, и применение современных, перспективных средств и систем;

- если концепция создана отраслевым проектным институтом, то она в значительной степени повторяет выполненные ранее институтом проекты автоматизации, поскольку это существенно упрощает их работу;

- если концепция создана поставщиком конкретной системы автоматизации, то она естественно подгоняется под продукцию автоматизации данного поставщика.

Следует подчеркнуть, что рациональное развитие уровня автоматизации осложняется как отсутствием ее обоснованной, общей концепции, так и, в не меньшей степени, ее наличием с указанными распространенными недостатками. При этом, поскольку концепция определяет и необходимые финансовые затраты на реализацию ее отдельных этапов, то и они являются искаженными.

Необходимая, обоснованная, объективная, учитывающая как текущее состояние автоматизации производства на данном предприятии, так и возможности современных средств и систем автоматизации, концепция развития автоматизации производства должна состоять из следующих этапов:

- 1 этап. Обследование существующих на производстве средств и

систем автоматизации, анализ и выявление узких мест и потенциальных резервов, которые могут быть расшиты современными средствами и системами автоматизации.

2 этап. Формирование мероприятий по рациональному развитию уровня автоматизации производства.

3 этап. Конкретизация технической реализации намечаемых автоматизированных систем контроля и управления и оценка финансовых затрат на приобретение их необходимых программных и технических компонентов, на проектирование и внедрение систем.

4 этап. Ранжировка намечаемых автоматизированных систем контроля и управления по их прогнозируемой эффективности (или важности для предприятия) и обоснование необходимой последовательности их внедрения.

Естественно, что разработку обоснованной концепции (см. главу 34) может осуществлять настоящий (а не фиктивно присвоивший себе это звание) системный интегратор.

Несо согласованное создание автоматизированных систем контроля и управления различными классами производственных объектов

В настоящее время на российских предприятиях укоренилось отдельное самостоятельное руководство разработкой и эксплуатацией автоматизированных систем различных классов производственных объектов:

- системой автоматизации бизнес процессов предприятия руководит информационная служба;
- системами автоматизации производственных служб и отдельных переделов производства руководит служба автоматизации;
- средствами автоматизации полевого уровня производства (датчики, исполнительные механизмы, регулирующие органы) руководит служба КИПиА;
- системой автоматизации обслуживания и ремонтов оборудования руководит служба главного механика;
- системами автоматизации электро- и теплоэнергетических объектов предприятия руководит служба главного энергетика;
- системой автоматизации лаборатории предприятия занимается руководство лаборатории.

При этом руководитель систем автоматизации каждого отдельного класса производственных объектов практически пренебрегает или не учитывает необходимости конкретного согласования требований к ним с руководителями систем автоматизации других классов объектов и с различными производственными службами, которым целесообразно, а часто необходимо, иметь оперативную информационную связь с

системами автоматизации этого класса объектов. Примером может служить разработанная

по сформулированным главным энергетиком требованиям система дистанционного контроля и управления электресурсами, которая контролирует и учитывает расходы электроэнергии по всем подстанциям и распределительным устройствам, что необходимо службе главного энергетика, и абсолютно не затрагивает контроля и учета расходов электроэнергии отдельными технологическими агрегатами, поскольку это не входит в ее обязанности. В результате работающая система не позволяет определять текущие удельные расходы электроэнергии агрегатов на выпускаемую ими продукцию и не информирует о сверхнормативных потерях электроэнергии на отдельных участках производства.

Естественно, на предприятии должно быть единое общее руководство автоматизацией всех классов производственных объектов. Оно должно организовывать, управлять и отвечать за планирование, проектирование, внедрение, эксплуатацию, модернизацию средств и систем автоматизации всех агрегатов, производственных участков и служб производства, а также согласовывать структуру, функции и взаимосвязи систем автоматизации разных классов производственных объектов.

36.2. Неверное использование заказчиком термина «Эффективность», искажающее оценку работы АСУ

Под эффективностью автоматизации заказчиком на этапе планирования системы автоматизации понимается прогнозируемая дополнительная прибыль, которую получит предприятие после внедрения системы. На практике дать обоснованный прогноз дополнительной прибыли можно только при наличии достаточно достоверных исходных данных изменения в результате внедрения автоматизированной системы следующих показателей:

- снижения удельных расходов энергоресурсов на выпускаемую продукцию;
- увеличения выпуска продукции, но не у отдельного агрегата, а у производства в целом (если рынок будет потреблять эту добавочную продукцию);
- повышения качества выпускаемой предприятием продукции (если повышение качества продукции приведет к повышению ее отпускной цены).

Поскольку значения указанных показателей, необходимых для достоверного экономического прогноза, в большинстве случаев не известны, то разработчики достаточно часто предъявляют заказчику требуемый им прогноз дополнительной прибыли, базирующийся на

универсальных данных, обычно обозначаемых как «пол, потолок и четыре стены».

На этапе опытной эксплуатации почти никогда экспериментально не оценивается действительно полученная эффективность внедренной автоматизированной системы управления, поскольку заказчик обычно теряет интерес к оценке полученной дополнительной прибыли (он уже профинансировал систему и новых затрат нет), а разработчик не горит желанием выполнять эту достаточно трудоемкую работу, тем более, что он совсем не уверен, что предъявленный им прогноз дополнительной прибыли оправдался.

Дальше во время промышленной эксплуатации автоматизированной системы управления текущая эффективность системы и ее изменение во времени обычно не интересует заказчика, поскольку он не учитывает, что со временем система деградирует и ее эффективность падает, если периодически не компенсировать ее деградацию.

Следует полностью перестроить отношения как заказчика, так и разработчика к понятию «Эффективность» автоматизированной системы управления, которое гораздо шире возможной дополнительной прибыли и состоит из следующих компонентов:

- экономическая компонента, т. е. та часть эффективности, которая обоснованно пересчитывается в дополнительную прибыль,

- техническая компонента, которая бесспорно важна, но принципиально не может быть экономически обусловлена из-за отсутствия исходных данных для пересчета эффекта в прибыль. Примером может являться любая система противоаварийной защиты, экономический эффект от которой может быть оценен лишь при известной, статистически значимой оценке частоты аварий, которая (к счастью) случается настолько редко, что такая оценка отсутствует;

- социологическая компонента, влияющая на удобство работы персонала с системой автоматизации, повышающая реактивность и качество принимаемых персоналом решений, но не имеющая каких-либо количественных характеристик;

- экологическая компонента, которая не только уменьшает или исключает аварийные загрязнения предприятием окружающего пространства: воздуха, воды, почвы; но и, будучи в пределах заданных нормативов, снижает вредные воздействия в окружающую среду, т. е. без наложения штрафов за загрязнение среды.

Заказчик должен быть заинтересован в обоснованной, количественной и качественной оценке всех компонентов эффективности автоматизированной системы на этапах ее прогноза, внедрения и даже на этапе эксплуатации, поскольку последнее позволяет предотвратить

деградацию системы.

Следует отметить важную особенность предприятий, входящих в холдинг и работающих на «процессинге», т. е. когда холдинг финансирует предприятие на переработку им определенного объема сырья в заданную ему продукцию и исключает самостоятельность предприятия на рынке. В этом случае руководство предприятия объективно не заинтересовано в оценке экономической компоненты эффективности автоматизации, поскольку подтверждение этой оценки позволит холдингу на следующий год учесть ее и, соответственно, скорректировать финансирование работы предприятия.

36.3. Недостатки выбора системы автоматизации для АСУ производственного объекта

Недостатки сформированных технических требований на планируемую систему автоматизированного управления объектом

Имеющиеся недостатки в разработанных технических требованиях на АСУТП являются причинами многих последующих недоработок в реализованных по ним АСУТП, поэтому к их формированию следует относиться с особой ответственностью. Рассмотрение многих технических требований (ТТ) на планируемые АСУ производственными объектами позволяет указать их распространенные недостатки:

1. ТТ не полны, поскольку, как объясняет их разработчик, проектант сам их дополнит, как надо (только остается неясным: «надо» проектанту для упрощения работы или предприятию для повышения качества управления);

2. Не включаются в технические требования важные для оценки качества работы агрегата ниже перечисленные текущие показатели.

Текущие энергозатраты агрегата:

- часовые и сменные расходы электро- и теплоэнергии,
- удельные расходы различных видов энергии на выпускаемую агрегатом продукцию.

Это не позволяет оперативно управлять их экономным расходованием и исключает возможность рационального потребления предприятием закупаемых и производимых энергоресурсов.

- отсутствуют требования на оперативный контроль и учет энергетических затрат на различные виды продукции; на статистический анализ потребления отдельных видов энергоресурсов и расчет на его базе плановых показателей закупки и производства отдельных энергоресурсов; на составление энергетического баланса по каждому виду энергоресурса и выявлению мест его сверхнормативных потерь; на

автоматизацию мероприятий по экономии потребляемых предприятием энергоресурсов в соответствии с недавно принятым ГОСТом Р ИСО 50001-2012 «Системы энергетического менеджмента»;

Индикаторы текущего состояния основного динамического оборудования агрегата:

- мониторинг тех единиц вращающегося оборудования, от качества работы и износа которых зависит поддержание заданного режима работы агрегата: температура подшипников, уровень вибрации, энергопотребление и т. п. характеристики основного оборудования и их прогноз. Соответственно, не включаются в АСУТП алгоритмы и программы диагностики дефектов и неисправностей оборудования, прогноза развития обнаруженных дефектов, сигнализации о необходимости вывода оборудования на планово-предупредительный ремонт для исключения аварийных ситуаций.

Показатели текущего качества работы компонентов внедряемой системы автоматизации:

- автоматическая диагностика исправности и смещения нуля датчиков;
- диагностика состояния регулирующих органов: их гистерезис, залипание, процент времени нахождения в конечных положениях;
- среднеквадратичная погрешность поддержания заданного значения ПИД регуляторами и процент времени их отключения и перевода управления на ручной режим.

Сигналы о нарушениях в сетях, соединяющих компоненты системы автоматизации:

- разрывы сетей,
- искажения передаваемой информации,
- неисправности оборудования сетей.

3. В технические требования вставляется посторонняя информация о вариантах режимов работы агрегата, о требуемом качестве выпускаемой продукции, о связях агрегата с другими производственными объектами. Содержание в них массы лишней информации, по мнению разработчика, даны «на всякий случай». В действительности эти сведения только путают разработчика системы;

4. Ряд формулируемых в технических требованиях положений содержат принципиально непроверяемые положения или положения, на которые нельзя конкретно отреагировать. Например, положения типа «Контроллеры должны обладать высокой надежностью» (?) или «Пульты операторов должны быть удобными для работы операторов» (?), или «Срок эксплуатации СА должен быть не менее 20 лет». Как объясняет их разработчик, «такие пункты принято включать в ТТ» (по

такого рода пунктам комментарии излишни);

5. Отдельные положения технических требований сформулированы так, что они неоднозначно понимаются разными участниками тендера, что определяет несопоставимость конкурсных предложений. Примером может служить следующее положение технических требований: «блоки ввода аналоговых сигналов в контроллерах должны иметь гальваническую развязку не менее 500 в». Это положение может пониматься или как требование к индивидуальной гальванической развязке между каналами, или как требование к групповой гальванической развязке между каналами, или как требование к гальванической развязке между каналами и землей.

6. В технические требования включают указания на необходимость соответствия системы автоматизации ряду давно устарелых ГОСТ'ов 80-тых и 90-ых годов прошлого века, учет которых совершенно излишен и даже вреден, поскольку в этих документах нет пунктов, касающихся требуемого содержания конкурсного предложения или эти пункты не следует применять к современным системам автоматизации. Как объясняет их разработчик, ссылка на все ГОСТы, относящиеся к автоматизации, «придает вес требованиям» (разработчик на эти требования внимания не обращает, поскольку выполнить их невозможно);

7. Совершенно недопустимо наличие в технических требованиях положений, конкретно указывающих необходимого заказчика производителя или конкретную марку требуемых отдельных компонентов или составляющих системы автоматизации (что, к сожалению, отнюдь не редкость на практике), поскольку полностью дискредитирует сам процесс конкурса производителей и их продукции. В частности, на многих предприятиях разработан и принят стандарт по автоматизации, которому они следуют в последующем развитии автоматизации на своем производстве. Правильно разработанный стандарт, должен указывать цели, направления, критерии развития автоматизации, но, ни в коем случае, не должен служить барьером использования в дальнейших разработках новых перспективных средств и систем автоматизации. Однако, нередки случаи, когда в стандарте конкретно расписаны средства и системы автоматизации определенного производителя, которые следует всегда использовать при дальнейшем развитии АСУТП на всех агрегатах производства. Практически это со значительной долей вероятности обрекает новые разработки на использование недостаточно перспективной продукции автоматизации, поскольку невозможно предвидеть, что зафиксированный в стандарте производитель будет всегда в будущем предоставлять продукцию, которая по заданным критериям будет превосходить продукцию других производителей. Обычный аргумент

подобного требования стандарта заключается в том, что такая однотипность продукции автоматизации на многие годы облегчит ее обслуживание. Однако, современные технические и программные средства автоматизации разных производителей, во первых, во многом состоят из одинаковых типовых (не ими разработанных) компонентов; во вторых, сами средства модифицируются и изменяются каждые несколько лет; поэтому использование на производстве продукции автоматизации разных производителей не столько значительно усложняет их обслуживание, сколько значительно повышает эрудицию персонала в части современных и перспективных средств автоматизации. Практический вывод из наблюдаемой ситуации: стандарт предприятия по автоматизации производства или построению АСУТП полезен только в том случае; если он, ни в коем случае, не препятствует внедрению наиболее перспективной продукции автоматизации, независимо от имени ее производителя, и не ведет к консервативному застою в области развития АСУТП.

8. Технические требования на системы ПАЗ не соответствуют всем пунктам обязательных нормативов (ГОСТы 61511 и 61508, общие правила вызовбезопасности), поскольку, как объясняет их разработчик, «все требования стандартов очень сложно реализовать» (в то же время их невыполнение повышает вероятность аварий со всеми сопутствующими последствиями). В существующих на предприятиях системах ПАЗ, обычно, вводится необходимый уровень безопасности (например, уровень Sil 3) у контроллера этой системы. Никаких других особенностей в требованиях и в построенных системах ПАЗ для выполнения ею заданных функций с указанным уровнем риска снижения аварийных ситуаций в требованиях и в построенных системах не предусматривается, в частности:

- нет сертифицированных на заданный уровень безопасности датчиков и исполнительных комплексов;
- не предусмотрено полное отделение всех средств системы ПАЗ от других систем АСУТП этого агрегата;
- отсутствуют специальные требования к программному обеспечению системы ПАЗ и к ее питанию и т. п. (см. главу 14).

Спроектированная и построенная по этим требованиям система ПАЗ не соответствует стандартам на функциональную безопасность системы.

Естественно, что невыполнение этих стандартов создает только ложную картину достигнутой безопасности работы агрегата, тогда как риск аварий остается на недопустимо высоком уровне. Необходимое содержание технического требования, касающееся системы ПАЗ, должно

заключаться в конкретном задании выполнения в техническом проекте АСУТП всех пунктов действующих стандартов построения систем ПАЗ.

9. Технические требования на автоматизированную систему контроля и управления производственного объекта всегда касаются только машинной части этой системы, совершенно не затрагивая требований к человеческой части системы, хотя любая система является эргатической, т. е. человеко-машинной. Отсутствие требований к этой части системы позволяет заказчику считать, что вся эффективность системы зависит только от ее машинной части и не обращать должного внимания на необходимое взаимодействие обеих частей системы.

10. При разработке технических требований на автоматизацию технологического агрегата, вне зависимости от его сложности, объема, многосвязности регулируемых величин, числа и характеристик режимных и качественных показателей работы; обычно, закладываются привычные и многие годы используемые простейшие типовые алгоритмы контроля и учета, блокировки механизмов, ПИД-регулирования отдельных величин. То, что современные системы автоматизации технологических процессов могут оснащаться также достаточно совершенными, унифицированными алгоритмами и пакетами программ контроля и управления (см. главы 26-30), использование которых позволяет значительно повысить эффективность управления сложными, объемными технологическими процессами, характеризующимися многосвязностью, нелинейностью, большим транспортным запаздыванием выходных величин, изменчивостью параметров объекта – обычно не принимается во внимание. Не задаются средства диагностики отдельных нарушений в работе объекта, программы текущих виртуальных измерений качественных показателей работы объекта, алгоритмы адаптивного регулирования и самонастройки ПИД регуляторов, прогнозные способы субоптимального управления (предикт-контроллеры) и т. д.

Распространенными причинами отсутствия требований к совершенным алгоритмам контроля и управления в новых разработках АСУТП на российских предприятиях являются:

- слабое знание рациональных областей применения новых, совершенных алгоритмов контроля и управления и, более того, незнание с новыми современными их предложениями на существующем рынке автоматизации;
- отторжение непривычных способов контроля и управления, поскольку отсутствует как принуждение, так и мотивация к их применению;
- недостаточная квалификация персонала для освоения более

сложных способов автоматизированного управления.

Если технические требования к АСУТП разрабатывают сами проектные организации, то к указанным причинам отсутствия в новых разработках АСУТП совершенных алгоритмов контроля и управления добавляются:

- обычный поведенческий консерватизм проектантов;
- естественное желание упростить свою работу, а, следовательно, возможно более полно в новых проектах тиражировать решения ранее выполненных проектов.

11. Есть ряд ключевых, важных как для операторов, так и для руководителей производственных служб показателей, характеризующих текущую работу каждого технологического агрегата. В большинстве технических требований на АСУТП эти ключевые показатели, все или частично, не упоминаются и, соответственно, не рассчитываются во внедренной системе. На некоторых предприятиях в технических требованиях на АСУТП была предусмотрена установка расходомеров материальных и тепловых потоков, но отсутствовали требования на внедрение алгоритмов учета этих потоков (требования к программам корректоров и тепловычислителей). На других предприятиях в технических требованиях на АСУТП был заложен учет расхода электроэнергии на подстанциях, но не предусмотрен учет расхода электроэнергии по отдельному агрегату, а на практике либо с одной подстанции питается несколько агрегатов, либо разные блоки одного агрегата питаются от разных подстанций, а последние снабжают электроэнергией и другие объекты. Редкостью являются технические требования, в которых заложены задания на автоматический учет времени нахождения агрегата или его отдельных блоков в различных нештатных ситуациях; на учет интервалов времени отключения определенных контуров регулирования и перевода их на ручное управление.

Не существует объективных причин отсутствия в технических требованиях на АСУТП специального раздела заданий по расчету оперативных ключевых показателей работы агрегата. Данную ситуацию можно объяснить только отсутствием внимания их разработчика к автоматизации функций текущего анализа работы самого агрегата и системы его контроля и управления.

Не объективное (а часто заведомо фиктивное) проведение тендера на автоматизированную систему управления

К сожалению, широко применяемые, различные формы проведения тендера принципиально не настроены на объективное определение лучшего предложения, что (увы) во многих случаях полностью устраивает заказчика.

Проведение полностью объективного тендера, соответствующего общим указаниям международных организаций, преломляемых к рассматриваемой задаче разработки автоматизированной системы управления, должно проводиться по объективной методике, вариант которой кратко описан в главе 34.

Ни на одном из предприятий, на которых рассматривались используемые ими способы проведения тендеров по выбору поставщиков и/или проектировщиков автоматизированных систем управления, объективная методика проведения тендеров не применялась.

Недостатки частичной автоматизации технологического агрегата

На практике нередко принимаются планы, по которым проводится автоматизация не всего объекта, а только какой-либо его части (отдельного блока). Подобная ситуация возникает, например, при следующих обстоятельствах:

- выделяются финансы на построение современной системы управления (ПТК), но отсутствуют ресурсы на модернизацию и расширение средств полевого уровня автоматизации (датчиков и исполнительных комплексов), хотя в существующем виде средства полевого уровня не могут обеспечить разрабатываемую систему управления необходимыми по точности и полноте исходными данными;

- заменяется или добавляется какой-либо самостоятельный технологический блок агрегата и на его автоматизацию составляются технические требования без рассмотрения рационального их соответствия и связи с имеющимися системами автоматизации других блоков этого агрегата, что не позволяет работать разрабатываемой системе с необходимой отдачей.

В общем случае, когда требования к автоматизации технологического агрегата касаются только какой-либо его части и они сформированы достаточно изолированно от состояния остальных имеющих на объекте средств и систем; без учета связи, взаимодействия, влияния планируемой системы на другие существующие системы автоматизации данного агрегата, снижается общая эффективность работы АСУТП и часто нарушается согласование работы различных контуров управления, что приводит к необходимости добавочных переделов АСУТП в процессе ее эксплуатации.

36.4. Недостатки проведения этапов проектирования, опытной и промышленной эксплуатации АСУТП

Недоработки этапа технорабочего проектирования

На этом этапе обычно закрепляются имеющиеся недоработки технических требований:

- отсутствует комплексный анализ достаточности заданных заказчиком технических требований к системе и их коррекция по согласованию с заказчиком;

- при выполнении технорабочего проекта проектным институтом данной отрасли велика вероятность дублирования им старых проектов, разработанных в предыдущие годы институтом для аналогичных по функциям систем автоматизации;

- при выполнении технорабочего проекта поставщиком системы автоматизации зачастую сказывается недостаточное знание им специфических технологических и управленческих особенностей автоматизируемого объекта на данном конкретном предприятии;

- повсеместно наблюдается неправильное проектирование систем противоаварийной защиты, при которых не соблюдаются все важные требования посвященных построению этих систем стандартов.

Искоренению данных недоработок может способствовать только конкретное, квалифицированное наблюдение за процессом проектирования и за утверждением и приемом разработанного технорабочего проекта. При формальной процедуре принятия технорабочего проекта заказчиком все его недоработки выявляются уже в процессе эксплуатации системы.

Недостаточное взаимодействие персонала, который должен будет использовать и обслуживать систему автоматизации, с ее разработчиком на этапе опытной эксплуатации

Повсеместно наблюдается отсутствие необходимого, достаточно тесного сотрудничества разработчиков автоматизированной системы управления с персоналом предприятия на всем этапе внедрения и, особенно, на интервале опытной эксплуатации системы, на котором должны быть четко согласованы все взаимодействия человеческой и машинной частей системы и на котором пользователи системы автоматизации должны полностью освоить особенности работы с ней.

Недостаточность взаимодействия и ошибочные условия проведения этапа приводят к следующим негативным следствиям:

- пользователи не успевают полностью освоить работу с системой автоматизации на этапе опытной эксплуатации, время которой заранее в договоре уже прописано; оно обычно достаточно короткое (часто, порядка месяца) и совершенно не зависит от времени освоения системы автоматизации персоналом;

- поскольку пользователи за время опытной эксплуатации не успевают вникнуть в тонкости работы и взаимодействия с системой, то они не могут и сформировать ее оценочные характеристики для обсуждения с разработчиком;

- отсутствуют проверка взаимодействия пользователей с системой автоматизации перед ее сдачей в промышленную эксплуатацию, не проводится учет и анализ замечаний пользователей к работе системы автоматизации, не откладывается завершение опытной эксплуатации до полного освоения ее всеми пользователями и учета всех их замечаний к работе системы;

- к концу прописанного срока опытной эксплуатации разработчик не проверяет освоение системы персоналом, а заказчик не требует этого, и АСУТП переводится в стадию промышленной эксплуатации. Поскольку перевод системы автоматизации в промышленную эксплуатацию носит формальный характер без учета ее освоения персоналом, то замечания и вопросы персонала к ее работе появляются у персонала уже после ее приемки в промышленную эксплуатацию, что вызывает необходимость либо оперативной доводки системы автоматизации уже на этапе ее промышленной эксплуатации, либо продолжения эксплуатации в виде, не учитывающим реакцию персонала;

- во время опытной эксплуатации экспериментально не проверяется реально достигнутая эффективность функционирования внедренной автоматизированной системы управления, что не позволяет в дальнейшем оценивать изменения в качестве работы системы.

Отсутствие организационной и административной
поддержки персонала рациональной работе с системой
автоматизации

Типичной ситуацией на предприятиях является отсутствие любого организационного и административного влияния на рациональное использование персоналом внедряемой системы автоматизации:

- нормативы и должностные инструкции персонала не содержат никаких конкретных требований по его рациональному взаимодействию с используемой системой автоматизации;

- существующая материальная мотивация персонала не зависит от качества и полноты использования им системы автоматизации;

- критерии управления производственным объектом, заложенные в системе автоматизации, зачастую противоречат критериям, которыми руководствуются операторы этого объекта.

- экономное расходование энергоресурсов каждым производственным объектом (ГОСТ Р ИСО 50001-2012 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению») рационально не поощряется и даже не контролируется текущий расход каждого энергоресурса у автоматизируемого объекта.

Отсутствие анализа работы эксплуатируемой АСУТП

В подавляющем большинстве предприятий отношение к текущей работе автоматизированных систем управления определяется следующим правилом: если технические средства системы автоматизации исправны и ее программные модули работоспособны, то вмешиваться в работу автоматизированной системы управления не надо, а сопровождение эксплуатируемой системы (которое часто поручается производителю системы автоматизации) заключается в исправлении обнаруженных ошибок программных модулей и в ремонте (замене) отказавших технических компонентов системы. Не выполняются мероприятия, определяющие текущее качество работы функционирующей системы:

- не проводится анализ текущей эффективности управления объектом и его сопоставление с эффективностью, зафиксированной на этапе внедрения,

- на большинстве предприятий не предусмотрен ни внутренний, ни внешний полный аудит АСУТП за все время их эксплуатации;

- не фиксируется и не компенсируется постепенная деградация системы автоматизации, а она проявляется тем быстрее, чем совершеннее внедренная система,

- отсутствует непрерывное автоматическое наблюдение: за качеством регулирования режима работы объекта, за временем и причинами отключения регуляторов, за текущими удельными расходами энергоресурсов в отдельных агрегатах, за сверхнормативными материальными и энергетическими потерями и местами их возникновения.

Следует включить в правила эксплуатации системы определенные мероприятия:

- периодический независимый аудит работы системы автоматизации и рациональности ее использования персоналом,

- выявление ухудшения качества управления объектом и компенсация причин,

- своевременная модификация программных модулей и технических компонентов системы автоматизации при любых изменениях и модернизациях управляемого объекта,

- реализуемое разработчиком системы по отдельному договору сопровождение эксплуатируемой системы должно не ограничиваться заменой ее неисправных компонентов, а включать в себя наблюдение и предотвращение деградации качества управления объектом.

Надо отметить, что многие предприятия заключают договор по сопровождению внедренной АСУТП на время ее промышленной эксплуатации разработчиком системы. При этом под сопровождением

понимается обслуживание работоспособности технических компонентов системы автоматизации, исправление дефектов прикладных программных модулей системы, коррекция работы внутрисистемных цифровых сетей. В то же время, это сопровождение совершенно не касается основных вопросов качественной работы АСУТП и эффективности ее применения для управления агрегатом.

Только искоренение рассмотренных, повсеместно присутствующих недостатков автоматизации производства на российских предприятиях технологических отраслей и причин их возникновения позволит предприятиям получать от внедряемых современных систем автоматизации ту отдачу, которую они потенциально способны дать при их рациональном построении и внедрении, при необходимой организационной поддержке, при квалифицированной эксплуатации.

36.5. Необходимые правила руководства работами по рациональной автоматизации производства

Ряд последних десятилетий происходит все более нарастающий объем средств и систем автоматизации, внедряемых на предприятиях. При этом они становятся все более совершенными и реализуют все большее число функций контроля, учета, планирования и управления; работают все более точно и эффективно. В то же время они требуют все более квалифицированного отбора, все более качественного использования и обслуживания со стороны персонала предприятия. Указанное развитие автоматизации производства принципиально необходимо предприятию для сохранения его конкурентоспособности в современных рыночных условиях существования.

Наряду с этим, как показывает проведенный анализ планируемых, внедряемых и эксплуатируемых средств и систем автоматизации любого уровня (в том числе АСУТП) на российских предприятиях технологических отраслей, подавляющее большинство руководителей предприятий недостаточно квалифицированно планируют работы по автоматизации производства и недостаточно качественно управляют ими. В целом, понимая необходимость автоматизации, руководители предприятий не представляют возможностей современных средств и систем автоматизации, не ориентируются в нужном направлении развития автоматизации на предприятии, в правильном выборе средств и систем автоматизации, в рациональной последовательности внедрения отдельных систем, в необходимой организационной и административной поддержке их внедрения и функционирования. Эти обстоятельства не позволяют им достичь необходимого и принципиально возможного

уровня автоматизации производства и, в частности, значительно сказываются на эффективности внедряемых АСУТП.

Преодоление указанных негативных особенностей деятельности руководителей предприятий – заказчиков автоматизированных систем управления может достигаться разными путями:

- путем создания специальных просветительных, краткосрочных семинаров для руководителей предприятий (в первую очередь в крупнейших холдингах) по рассмотрению и обоснованию рациональных правил управления работами по автоматизации производства. Организация и проведение таких семинаров должно исходить обязательно от независимых, объективных, пользующихся авторитетом организаций;

- путем специальных предложений системных интеграторов руководителям предприятий по проведению для их руководящего состава лекционного курса по возможностям современных средств и систем автоматизации, по их важных для заказчиков свойств и характеристик, по рациональным правилам их выбора, внедрения и эксплуатации;

- путем заказа предприятиями авторитетным организациям работы по формированию концепции автоматизации производства и обучению руководящего персонала предприятия правилам рационального претворения этой концепции в жизнь.

Естественно, руководство не должно разбираться в особенностях построения и эксплуатации АСУТП, но оно должно представлять основные свойства систем автоматизированного управления и правила работы с ними во все время их жизненного цикла. Примерный перечень сведений по рассмотрению и обоснованию рациональных правил управления работами по автоматизации производства должен охватывать следующие положения:

- общее представление о том, что конкретно является современной автоматизированной системой управления производственным объектом;

- реальные возможности АСУТП по улучшению работы производства: повышению его производительности, снижению себестоимости и поднятию качества выпускаемой продукции;

- необходимый комплект требований к ним при планировании их внедрения на отдельных производственных объектах;

- рациональное руководство созданием АСУТП и их эксплуатацией.

Ниже рассматриваются эти положения автоматизации производства применительно к их необходимому изложению руководству предприятия для совершенствования их решений и распоряжений по любым работам по планированию, проектированию, внедрению и эксплуатации АСУТП.

36.5.1. Внимание руководителей предприятий!

1. Что есть автоматизированная система управления любым производственным объектом. Любая АСУ является человеко-машинной системой. При ее создании необходимо разрабатывать как машинную - автоматическую, так и человеческую – операторную составляющие, чтобы они работали согласованно, функционально дополняли друг друга, имели бы аналогичные цели и критерии эффективности.

Автоматическая составляющая АСУ имеет три иерархических уровня контроля и управления: нижний или полевой уровень (датчики и исполнительные комплексы); средний или промышленный уровень (контроллеры); верхний или информационный уровень (серверы и рабочие станции).

Человеческой составляющей АСУ являются операторы, анализирующие информацию, доставляемую им автоматической составляющей АСУ; вырабатывающие управляющие решения и передающие через рабочие станции соответствующие им воздействия на изменения режима работы объекта и на корректировку параметров компонентов автоматической составляющей АСУ.

Следствие: отсутствие разработки (модификации и/или перестройки) человеческой составляющей АСУ при внедрении нового ПТК (ошибочно обозначаемого «АСУ»), отрицательно сказывается на качестве управления автоматизируемым объектом.

2. Что следует понимать под эффективностью работы АСУ. Понятие «Эффективность работы АСУ» является комплексным и состоит из ниже перечисленных компонентов.

Экономическая компонента, т. е. та часть эффективности, которая обоснованно пересчитывается в дополнительную прибыль. Обоснованный прогноз экономической компоненты может быть проведен только при наличии достаточно достоверных и обоснованных исходных данных по изменению в результате внедрения АСУ следующих показателей:

- снижения удельных расходов энергоресурсов на выпускаемую продукцию;

- увеличения выпуска продукции, но не у отдельного агрегата, а у производства в целом (только, если рынок нуждается в этой добавочной продукции);

- повышения качества выпускаемой предприятием продукции (только, если повышение качества продукции приведет к повышению ее отпускной цены).

Техническая компонента, которая принципиально не может быть экономически обчислена, например, из-за отсутствия исходных

данных для пересчета эффекта в дополнительную прибыль, но может быть качественно обоснована.

Социологическая компонента, заведомо влияющая на удобство работы персонала с системой автоматизации, **повышающая реактивность и качество принимаемых персоналом решений**, но не имеющая каких-либо количественных характеристик;

Экологическая компонента, которая не только уменьшает или исключает аварийные загрязнения предприятием окружающего пространства: воздуха, воды, почвы; но и, будучи даже в пределах заданных нормативов, т. е. без опасности наложения штрафов за загрязнение среды, **снижает вредные воздействия в окружающую среду**.

Кроме того, часто определенную систему автоматизации необходимо внедрять даже если она не содержит ни одного из указанных компонентов эффективности, но она является необходимым фундаментом для базирующихся на ней АСУ, которые без нее не смогут эффективно выполнять свои функции.

Следствие: отсутствие понимания реального содержания понятия «Эффективность работы АСУ» и желание обязательно обосновать финансовые затраты на АСУ прогнозом оценок дополнительной прибыли и срока ее окупаемости не только не помогает обоснованию необходимости построения данного АСУ, но зачастую приводят, в действительности, к заведомо ошибочным решениям по автоматизации.

3. Как улучшить руководство автоматизацией производства и его отдельными объектами. Любая автоматизированная система контроля, учета и управления производственными объектами не должна быть замкнутой, наоборот она должна быть открыта и связана через взаимный обмен информацией с многими другими информационными и автоматизированными системами предприятия. Поэтому при построении каждой отдельной системы следует обязательно учитывать ее необходимое, информационное общение с другими автоматизированными системами разных уровней: уровня агрегатов и участков производства, уровня производственных служб, уровня бизнес отделов заводоуправления; а также удовлетворять их запросам на информацию от данной системы и получать от них необходимые данной системе данные.

На практике этим необходимым для рационального управления взаимным общением различных систем автоматизации предприятия пренебрегают. Общей причиной этого является руководство разработкой автоматизированных систем различных классов отдельными самостоятельными начальниками разных подразделений предприятия.

Так разработкой системы автоматизации бизнес процессов предприятия занимается руководитель информационной службы; разработку

систем автоматизации производственных служб и отдельных переделов производства проводит руководитель службы автоматизации; разработка средств автоматизации полевого уровня производства (датчики, исполнительные механизмы, регулирующие органы) является прерогативой начальника службы КИП; разработку системы автоматизации обслуживания и ремонтов оборудования организует главный механик; разработку систем автоматизации электро- и теплоэнергетических объектов предприятия проводит главный энергетик и т. д..

При этом, руководитель построения систем автоматизации каждого отдельного класса хорошо знает потребности в автоматизации подчиненных ему подразделений предприятия и не интересуется, или глубоко не вникает в то, какая, когда и кому информация о его подразделениях требуется. Практически не учитывается необходимость конкретного согласования требований к отдельным классам систем автоматизации с руководителями систем автоматизации других классов и с различными производственными службами, которым целесообразно, а часто необходимо, иметь оперативную информационную связь с системами автоматизации данного класса.

Следствие: добиться рациональной автоматизации производства без единого общего руководства планированием, проектированием, внедрением, эксплуатацией, модернизацией любых систем автоматизации всех уровней управления нельзя.

4. Как целесообразно развивать автоматизацию производства.

На каждом предприятии должна существовать общая стратегия (или концепция) развития автоматизации производства. Руководство предприятия должно либо заказывать ее разработку достаточно компетентной организации, либо вырабатывать ее силами своего персонала (если они имеют достаточно высокую квалификацию и разбираются в особенностях современных систем и средств автоматизации разных производителей).

Необходима обоснованная, объективная, учитывающая как текущее состояние автоматизации производства на данном предприятии, так и возможности современных средств и систем автоматизации, стратегия развития автоматизации производства, в которой должно быть сформировано целесообразное, поэтапное развитие автоматизации производства

На многих предприятиях общая стратегия развития автоматизированных систем управления производством и его переделами отсутствует, а развитие автоматизации происходит по отдельным, достаточно частным причинам. Есть значительное число предприятий, на которых сформирован документ, называемый «Стратегия развития

автоматизированных систем управления производством». Однако, большей частью он далеко не совершенен, не объективен и не обоснован.

Следствие: рациональное развитие автоматизации производства осложняется как отсутствием ее обоснованной стратегии, так и, в не меньшей степени, ее формальным наличием без объективного обоснования. При этом, поскольку стратегия определяет и необходимую последовательность внедрения отдельных систем, и необходимые финансовые затраты на их реализацию, то и они получаются искаженными.

5. Какие правила следует учитывать при формировании технических требований на АСУ. Принципиально важно для полноценного проведения всех работ по созданию АСУ производственным объектом формировать технические требования со следующими свойствами:

- **полные** по охвату всех показателей и характеристик программных и технических средств системы контроля, учета, управления производственным объектом,

- **конкретные** по всем требуемым показателям и характеристикам программных и технических средств АСУ,

- подразделяемые на **обязательные** требования, **рекомендуемые** характеристики системы и **запросы** на отдельные свойства системы;

- обязательно отдельно **фиксирующие требования к машинной и к человеческой составляющим АСУ;**

- учитывающие **указания** важных для работы АСУ нормативных документов.

Требуют специального анализа утвержденные в некоторых предприятиях специальные собственные стандарты по автоматизации, т. к. в некоторых из них зафиксировано, что системы автоматизации или их компоненты должны приобретаться только у **определенного** производителя. Естественно, что подобное требование в стандарте ведет к угрозе внедрения на производстве устарелой, не конкурентной продукции и подобный стандарт должен быть отменен или изменен.

Следствие: технические требования на планируемую АСУ являются основным документом, по которому проводится ее проектирование и внедрение, поэтому любые их недоговоренности и недостатки приводят к определенной ущербности внедренной системы и могут вызывать значительные потери при ее эксплуатации.

6. Как следует проводить объективный тендер на выбор системы автоматизации для конкретного объекта. Для этого следует полностью исключить любые возможности необъективного анализа представленных на тендер предложений и любые способы формального проведения тендера при заранее отобранном его победителе.

Следствие: правила проведения объективного тендера на создание

системы автоматизации для производственного объекта состоят из следующих последовательных действий: выбор критериев отбора наилучшей из участвующих в тендере системы; формирование экспертной группы, оценивающей системы по отдельным заданным им критериям; компьютерная, автоматическая ранжировка систем согласно заданным им оценкам систем по отдельным критериям с вычислением победителя тендера.

7. Как следует проводить этап опытной эксплуатации АСУ. На всем этапе опытной эксплуатации АСУ следует готовить персонал предприятия, который будет использовать и обслуживать систему автоматизации, к рациональному взаимодействию с ней. Для этого необходимо:

- провести подробное обучение персонала работе с системой автоматизации при **обязательном условии** проверки знаний у слушателей по рациональной работе с системой и по ее квалифицированной эксплуатации;

- проанализировать существующие на предприятии нормативы работы персонала с системой автоматизации и должностные инструкции и доработать их до необходимого конкретного уровня рационального использования системы;

- рассмотреть существующие на предприятии формы материального стимулирования персонала АСУ и выполнить необходимые корректировки этих форм, стимулирующие персонал рационально использовать систему автоматизации;

- провести во время опытной эксплуатации специальный эксперимент по оценке реально полученной эффективности работы АСУ;

- уточнить целесообразное (или необходимое) число операторов (пользователей АСУ) по взаимодействию с системой автоматизации;

- завершить этап опытной эксплуатации АСУ и перевод ее в промышленную эксплуатацию только после полного освоения системы автоматизации работающим с ней персоналом и проведения коррекции программных и технических компонентов системы по обоснованным замечаниям персонала.

Следствие: не выполнение этих положений имеет своими последствиями заметные ограничения в достигнутой эффективности на всем этапе промышленной эксплуатации АСУ.

8. Как следует рационально организовывать промышленную эксплуатацию АСУ. Любая АСУ в процессе эксплуатации со временем деградирует, причем, чем она сложнее и совершеннее, тем быстрее это происходит. Ввиду этого ее эффективность падает, если периодически не компенсировать деградацию.

Для компенсации деградации и сохранения в процессе эксплуатации

АСУ той ее эффективности, которая была зафиксирована на этапе внедрения, следует во время эксплуатации анализировать текущее качество ее работы и своевременно компенсировать все отклонения, уменьшающие полученную на этапе внедрения эффективность управления объектом. Следует включить в правила эксплуатации системы определенные мероприятия:

- периодический независимый аудит работы системы автоматизации и рациональности ее использования персоналом;
- выявление ухудшения качества управления объектом и компенсация причин этого явления;
- своевременную модификацию программных модулей и технических компонентов системы автоматизации при любых изменениях и модернизациях управляемого объекта;
- особое внимание уделять экономному расходованию энергоресурсов каждым производственным объектом.

Важно отметить, что реализуемое достаточно часто разработчиком АСУ по отдельному договору сопровождение эксплуатируемой системы должно не ограничиваться заменой ее неисправных компонентов, а включать в себя наблюдение и предотвращение деградации качества управления объектом.

Следствие: без непрерывного слежения за рациональной работой АСУ на этапе ее промышленной эксплуатации и выполнения ряда перечисленных выше мероприятий по компенсации ее деградации нельзя рассчитывать на ее одинаково качественную работу в течение всего времени ее эксплуатации.

Заключение

Примерно полстолетия прошло с начала процесса по переводу средств автоматизации производства на микропроцессорные компоненты. За это время неизменно изменились сами микропроцессоры, из которых собираются технические средства автоматизации; значительный путь развития прошло системное и прикладное программное обеспечение систем автоматизации; стандартизирован ряд важнейших свойств и характеристик технических и программных компонентов средств и систем автоматизации; модернизируются структуры систем автоматизации; существенно расширяются функции автоматического контроля и управления производственными процессами; коренная перестройка затронула многие этапы самого процесса разработки и изготовления различных средств автоматизации, проектирования и внедрения систем автоматизации на производстве.

Эволюция средств автоматизации не имела, не имеет, и вряд ли будет иметь скачкообразные изменения (несмотря на возникающие время от времени революционные преобразования в самих микропроцессорных компонентах средств), поскольку она всегда привязана к преемственности с ранее выпущенными средствами. При этом, уже в течение ряда десятилетий моральный срок службы производственных средств автоматизации составляет примерно 10 лет, а срок их физического износа доходит до 20 лет, что определяет необходимые диапазоны временной привязки и наследования новых модификаций средств по отношению к ранее производимым. В то же время, естественно, что общее направление развития как программных, так и технических средств автоматизации с некоторым лагом запаздывания учитывает большинство нововведений, появляющихся в мире информационных, компьютерных технологий, проводя определенную адаптацию их к производственным требованиям и условиям работы.

Знание основных путей эволюции, линий развития важнейших свойств и характеристик программных и технических средств информатизации и автоматизации, расширения их возможностей по автоматизации функций контроля и управления необходимо как разработчикам средств, так и их потребителям, поскольку позволяет наиболее эффективно вести себя на существующем рынке средств и систем автоматизации. Оно выделяет современность и перспективность конкретных средств, учитывает особенности их использования на всем сроке эксплуатации.

Ниже прослеживаются этапы эволюции основных средств автоматизации АСУТП и рассматривается основная перспектива развития АСУТП.

1. Эволюция средств автоматизации технологических агрегатов

Вначале следует отметить, что в эволюции всех классов программных и технических средств автоматизации прослеживается единое, общее направление развития:

- от фирменной, оригинальной разработки отдельного средства каждым его конкретным создателем на базе им выбранных или произведенных компонентов; постепенно, через происходящую среди ведущих производителей средств типизацию, оформляемую в дальнейшем через стандартизацию отдельных компонентов; к все более широкому внедрению производителями в разрабатываемые средства типовых и стандартных компонентов.

Это общее направление развития программных и технических средств одновременно ведет с точки зрения потребителей к двум разнонаправленным следствиям:

- увеличивающейся открытости программных и технических средств, что способствует упрощению взаимосвязей средств разных производителей и поэтому оказывает положительное влияние на внедрение и эксплуатацию средств;

- все большей унификации однотипных классов средств разных производителей, что постепенно нивелирует многие свойства и характеристики однотипных средств, выпускаемых разными производителями (как транснациональными компаниями, так и малыми фирмами; как фирмами европейских стран, так и российскими фирмами), что отрицательно сказывается на многообразии вариантов однотипных средств, из которых потребитель может отбирать лучший для него вариант.

Естественно, это общее направление по разному преломляется в средствах разных классов, что выявляется при их конкретном анализе. При этом важно подчеркнуть, что несколько различных этапов развития однотипных средств большей частью происходят одновременно, что сроки начала и конца отдельных этапов развития достаточно размыты и неопределенны во времени; поэтому приводимое ниже перечисление этапов развития отдельных классов средств не может рассматриваться как жесткая временная последовательность, а лишь дает представление о наблюдаемых временных направлениях эволюции.

Указанные общие предпосылки и замечания позволяют перейти к конкретному рассмотрению эволюции основных классов средств систем автоматизации технологических процессов.

№ этапа	Признак этапа	Характеристики этапа
1	Фирменное построение датчика	Датчики каждого производителя имеют свои фирменные характеристики
2	Типизация выходов датчика	Унифицированные аналоговые выходы датчиков
3	Ввод в датчик микропроцессора	Цифровые выходы датчиков и их связь с контроллерами через цифровые полевые сети
4	Расширение функций датчика	Самодиагностика, первичная обработка измерительной информации, хранение измеренных значений, Реализация в датчике простейших типовых алгоритмов контроля и управления
5	Создание многосенсорного датчика	Измерение пространственных полей, вычисление значения величины по многим компонентам, измеряемых разными сенсорами
6	Разработка новых классов датчиков, базирующихся на микропроцессоре	Методы измерений на физических принципах, которые требуют для определения значения измеряемой величины объемной вычислительной обработки в реальном масштабе времени
7	Модульное построение преобразователя датчика	Сборка преобразователя датчика на базе стандартных компонентов (например, из комплекса VXibus)
8	Оснащение датчика радиомодемом	Беспроводная связь с контроллером или концентратором сигналов приборов
9	Миниатюризация размеров датчика	Встраиваемые в оборудование датчики, оснащенные радиомодемом

Все основные, происходящие в последние годы совершенствования датчиков связаны с введением в них микропроцессоров. Это приводит к качественному пересмотру самого понятия датчика: они приобрели ряд новых функций, ставящих их в ряд универсальных программируемых микропроцессорных средств.

Перспективное развитие датчиков во многом определяется совершенствованием встроенных в них микропроцессоров: уменьшением их размеров, повышением мощности, снижением стоимости. Оно является важным подспорьем нового направления: производства оборудования технологических процессов с уже встроенными в него датчиками. Особое значение для таких встроенных датчиков имеет беспроводной способ передачи информации контроллерам, поэтому оснащение их

радиомодемами и антеннами для подсоединения к беспроводным полевым сетям значительно упрощает их использование в системах автоматизации.

Эволюция контроллеров

Таблица № 2

№ этапа	Признак этапа	Характеристики этапа
1	Фирменное построение специализированного средства	Преимущественная реализация в контроллере или логических, или математических функций, или специального класса функций автоматизации
2	Фирменное построение универсального контроллера	Реализация в контроллере любых программируемых функций контроля и управления
3	Фирменное построение серии контроллеров	Выпуск ряда разных по мощности модификаций фирменного контроллера, с общим системным программным обеспечением, едиными средствами программирования, одинаковыми интерфейсами к сетям
4	Выделение блоков ввода/вывода в отдельный конструктив	Распределение блоков ввода/вывода контроллера по территории производства и связь их с контроллером полевой сетью
5	Типизация компонентов контроллера	Типизация операционных систем, стандартизация технологических языков программирования, типизация сетевых интерфейсов, введение типового интерфейса OPC
6	Создание сетевого комплекса контроллеров	Объединение серии контроллеров с определенными сетями (промышленной и полевой) и с рабочими станциями операторов
7	Создание ПТК	Развитие средств и структуры сетевого комплекса контроллеров; построение клиент-серверной структуры информационного уровня управления
8	Совершенствование блоков ввода/вывода	Включение в блоки ввода/вывода микропроцессоров и реализация в них простейших типовых функций контроля и управления
9	Объектно-ориентированная сборка контроллеров	Построение контроллеров на базе стандартных модулей (например, сборка контроллера из модулей VMEbus и сборка его блоков ввода/вывода из мезонинных модулей стандарта IndustryPack)
10	Выделение класса PC-совместимых контроллеров	Построение контроллеров на базе процессоров и операционных систем персональных компьютеров, что позволяет применять в них весь арсенал программного обеспечения последних
11	Построение многоядерных контроллеров	Распределение прикладных программ по различным ядрам, что увеличивает мощность, повышает быстродействие, облегчает программирование, увеличивает надежность реализации программ
12	Сверхмалые модификации контроллеров	Выпуск нано- и микроконтроллеров, реализующих одиночные контура простейших типовых алгоритмов контроля и управления
13	Создание контроллеров повышенной надежности работы	Построение контроллеров различных уровней безопасности для систем ПАЗ и различных уровней киберзащиты от внешних угроз

Проследивая эволюцию промышленных контроллеров и построенных на их базе программно-технических комплексов можно выделить те узловые моменты, которые существенно сказываются на возможностях и глубине автоматизации технологических процессов.

Типизация и стандартизация компонентов контроллеров, их интерфейсов, операционных систем, технологических языков программирования контроллеров - приводит к открытости создаваемых систем автоматизации и к возможности их построения из средств разных производителей. В частности, сборка контроллеров из стандартных компонентов, выпускаемых отдельными фирмами, позволяет производить объектно-ориентированную комплектацию контроллеров.

Новое направление типизации, в основном обусловленное повышением надежности микропроцессоров, используемых в офисных компьютерах: сближение структур, компонентов, системного программного обеспечения контроллеров и персональных компьютеров, вплоть до появления полных аналогов контроллеров и промышленных персональных компьютеров с добавленными к ним интерфейсами и блоками ввода/вывода, существенно упрощает и ускоряет разработку сложных прикладных программ контроля и управления, поскольку использует обширный арсенал инструментальных средств, наработанных для персональных компьютеров.

Построение и развитие серий, состоящих из ряда модификаций контроллеров, отличающихся друг от друга характеристиками центрального процессора и объемами различного вида памяти, возможностями резервирования, приспособлением к разным условиям окружающей среды, числом подключаемых каналов входа и выхода; но имеющих единое системное программное обеспечение, одинаковые интерфейсы к сетям и программным средствам, единое инструментальное средство программирования функций контроля и управления - значительно облегчает и удешевляет разработку систем автоматизации, поскольку позволяет наиболее точно подобрать модификацию контроллера под требуемые характеристики для каждого отдельного узла автоматизируемого агрегата и под разные функции контроля и управления. В последние годы значительно расширяется диапазон мощности входящих в серии модификаций контроллеров. С одной стороны происходит значительное увеличение мощности самых больших контроллеров серии, базирующееся на новых возможностях современных микропроцессоров и, в частности, на использовании многоядерных центральных процессоров; с другой стороны в серии вводятся модификации контроллеров весьма малой мощности, обрабатывающие сигналы нескольких входов (так называемые, нано- и микроконтроллеры), как свободно программируемые, так и специализированные на определенные, реализуемые в них типовые алгоритмы.

Развитие сетевых комплексов контроллеров и построение на их базе программно-технических комплексов (ПТК и РСУ), наиболее

полно охватывающих автоматизацию объемных, территориально распределенных производственных объектов снимает ограничения на общее число и разнообразие реализуемых в них функций контроля и управления, на объем и занимаемую территорию автоматизируемого ими производственного объекта.

Эволюция SCADA-программ

Таблица № 3

№ этапа	Признак этапа	Характеристики этапа
1	Разработка фирменной программы связи оператора с контроллерами	Каждый производитель контроллеров выпускает фирменный человеко-машинный интерфейс
2	Выпуск открытых программ связи человека с различными микропроцессорными средствами	Разработка SCADA-программ для работы пользователя с различным набором микропроцессорных средств и инструмента для написания драйвера к конкретному средству
3	Применение открытых SCADA-программ в ПТК	Выпуск открытых SCADA-программ для ПТК с готовыми драйверами к десяткам контроллеров разных производителей
4	Типизация связей SCADA-программ с другими программами и СУБД	Использование стандартных программных интерфейсов DDE, COM/DCOM, CORBA, технологии ActiveX, связи с реляционными СУБД - SQL/ODBC
5	Использование типового промышленного интерфейса OPC	Реализация связи SCADA-программы с любым контроллером, оснащенным OPC-сервером, без специального драйвера
6	Построение модульных SCADA-программ	Проектно-ориентированная сборка SCADA-программы из информационного ядра и набора взаимосвязанных модулей
7	Расширение технической платформы SCADA-программы	Работа SCADA-программы в разных технических структурах: одномашинной, клиент-серверной
8	Расширение программной платформы SCADA-программы	Работа SCADA-программы с разными операционными системами: Windows, QNX, Linux
9	Развитие связи SCADA-программы с пользователями через Интернет	Создание условий доступа к имеющейся в SCADA-программе информации путем использования в ней WEB-сервера и гипертекстового языка XML
10	Расширение функций и области использования SCADA-программы	Включение в SCADA-программу информационных функций платформы MES и технологических языков программирования контроллеров (Soft-Logic)
11	Учет психологических свойств оператора в SCADA-программе	Образный способ выдачи информации на экраны мониторов рабочих станций: ситуационный подход, экологический интерфейс, когнитивная графика
12	Киберзащита SCADA-программы	Построение SCADA-программ различных уровней киберзащиты от внешних угроз

Путь от простейших программ человека-машинного интерфейса до современных, развернутых, мощных и объемных программных пакетов под принятым названием «открытые SCADA-программы» имеет ряд особенностей.

На первых порах каждый разработчик контроллера создавал для него свою программу человеко-машинного интерфейса. Параллельно с этим специализированные фирмы, работающие в области информационной технологии, разрабатывали программы взаимосвязи пользователей с различными вычислительными средствами; причем, для расширения фронта использования этих программ, начали прилагать к ним инструментальные средства написания драйверов к различной микропроцессорной аппаратуре, что стало придавать этим программам открытый характер.

В дальнейшем стало развиваться объединение разработок контроллерных комплексов с программами человеко-машинного интерфейса, написанными специализированными фирмами. Это, с одной стороны, упростило и ускорило разработку ПТК; а, с другой стороны, значительно повысило функциональное наполнение его человеко-машинного интерфейса. Возник и непрерывно совершенствуется новый класс программных пакетов, ориентированных на системы автоматизации – открытые SCADA-программы, разработка которых стала специализацией многих фирм.

Эволюция алгоритмов регулирования технологических процессов

Таблица № 4

№ этапа	Признак этапа	Характеристики этапа
1	Типовое ПИД регулирование	Одноконтурный ПИД и его вариации.
2	ПИД регулирование многосвязанного объекта	Многоконтурный ПИД и инструмент его настройки
3	ПИД регулирование с самонастройкой	Самонастройка регулятора по команде оператора
4	Адаптивное ПИД регулирование	Автоматическая подстройка под изменяющиеся показатели процесса
5	Регулирование с учетом качественных показателей	Учет в ПИД-регуляторе качественно оцениваемых показателей процесса (Фазы-регулятор)
6	Одноконтурное и многоконтурное субоптимальное регулирование (APC)	Предикт-контроллеры, заменяющие ПИД и в виде надстройки над ПИД регуляторами, стабилизирующими показатели процесса
7	Нейрорегуляторы	Регулирование нелинейных, многосвязных процессов с транспортным запаздыванием
8	Оптимальное управление	Оптимизация на основе динамической модели процесса

Все этапы эволюции алгоритмов регулирования можно подразделить на две группы:

- развитие алгоритмов ПИД регулирования;
- создание новых алгоритмов регулирования, расширяющих класс автоматически управляемых процессов и повышающих точность, качество и эффективность управления.

По первой группе уже порядка десятка лет выпускаются различные варианты совершенного ПИД регулирования. К ним относятся самонастраивающееся по команде оператора одноконтурное ПИД регулирование; самонастраивающееся многоконтурное ПИД регулирование взаимосвязанных величин; адаптивное ПИД регулирование, которое непрерывно вычисляет текущую дисперсию регулируемой величины и при превышении ею заданного значения само производит перестройку параметров регулятора.

По второй группе последние годы особенно интенсивно разрабатываются и начинают практически использоваться новые принципы регулирования:

- регулирование по качественно оцениваемым показателям процесса, на базе, так называемого, нечеткого регулятора (Fuzzy Controller), построенного по логическим правилам теории нечетких множеств. Управляющие воздействия такого регулятора или непосредственно воздействуют на исполнительный механизм, или используются в качестве заданий, изменяющих уставку и/или параметры ПИД регулятора, что позволяет сочетать точность стабилизации ПИД регулятора с гибкой перестройкой его в разных рабочих ситуациях по качественным характеристикам процесса;

- субоптимальное регулирование, использующее регулятор с предсказанием на базе модели объекта (предикт-контроллер). Этот регулятор работает в достаточно широком диапазоне свойств автоматизируемого объекта, включая нелинейные объекты, объекты с значительным транспортным запаздыванием, объекты с рядом взаимосвязанных величин. Практически он выдает субоптимальные управляющие воздействия и является одним из наиболее эффективных средств управления сложными технологическими процессами.

Начинают планироваться применения нейрорегулятора для адаптивного регулирования сложных объектов различных свойств и оптимального регулятора на базе имеющейся динамической модели объекта с реализацией на мощном контроллере или компьютере.

Эволюция сетей ПТК

Сети всех уровней управления технологическими процессами:

- информационные сети, связывающие рабочие станции операторов

между собою и их с сервером (при клиент-серверной архитектуре верхнего уровня управления);

- промышленные сети, объединяющие контроллеры с рабочими станциями или с сервером (при клиент-серверной архитектуре);

- полевые сети, передающие данные от выносных блоков ввода/вывода и от датчиков в контроллер, а от контроллера в исполнительные механизмы –

со временем все более сближаются по своим характеристикам и используемым протоколам, поэтому они рассмотрены совместно в общей таблице.

Таблица № 5

№ этапа	Признак этапа	Наименование сети	Характеристики этапа
1	Фирменные сети каждого производителя ПТК	Информационная сеть	Ethernet, MAP, Arcnet, Talking-ring, FDDI и другие распространенные сети
		Промышленная сеть	Фирменная сеть каждого ПТК
		Полевая сеть	Отсутствует в большинстве ПТК или фирменная
2	Типовые и стандартные сети	Информационная сеть	Ethernet, Fast Ethernet, Giga Ethernet
		Промышленная сеть	Modbus, Profibus, WorldFip, Interbus и др.
		Полевая сеть	HART-протокол, Profibus DP, Foundation Fieldbus, Modbus
3	Внедрение протокола Ethernet в промышленные и полевые сети	Информационная сеть	Ethernet, Fast Ethernet, Giga Ethernet
		Промышленная сеть	Industrial Ethernet, Modbus/TCP, ControlNet, ProfiNet и др.
		Полевая сеть	Foundation Fieldbus HSE и др.
4	Беспроводные сети	Информационная сеть	Сотовая связь GSM, GPRS; Интернет; спутниковая связь
		Промышленная и полевая сеть	Wireless HART, ISA 100.11a и др.

Развитие сетей всех уровней управления особенно значимо сказывается на общих свойствах и характеристиках систем автоматизации, на особенностях их разработки и модернизации, на возможностях их объединения в единую интегрированную систему автоматизации всего производства.

В последние годы развитие сетей разных уровней начало сближаться на основе внедрения технических и программных компонентов информационной сети Ethernet на промышленный и полевой уровни. Возникшие современные сочетания технических средств сети Ethernet в промышленном исполнении (Industrial Ethernet) и ее транспортного протокола TCP/IP с промышленными протоколами более высоких уровней, использующими формат пакетов данных, соответствующих типовым, промышленным сетям, оказались выгодными как технически, так и экономически. Так возникли и все более широко распространяются в ПТК разных фирм гибриды:

- Modbus/TCP – сеть, использующая протоколы на уровне приложений Modbus, на нижнем транспортном уровне TCP/IP;
- ProfiNet – аналогичное сочетание сетей Profibus и Ethernet;
- адаптация протокола Foundation Fieldbus H1 под технологию Ethernet: сеть Foundation Fieldbus HSE (High Speed Ethernet) и т. д..

Бурный рост наблюдается в использовании беспроводных сетей на всех уровнях управления. Беспроводные сети существенно расширяют возможности ПТК, а в ряде случаев являются единственно возможными связующими элементами технических средств ПТК между собою и с производственным персоналом.

На информационном уровне в качестве оперативной связи систем автоматизации с операторами, находящимися в данный момент вне зоны своего пульта управления, и с мобильным инженерным, административным и обслуживающим персоналом широко используется сотовая связь GSM. Данные обычно передаются по технологии GPRS в виде пакетов информации текстовых SMS-сообщений.

На промышленном уровне наибольшее распространение находят беспроводные локальные сети по стандарту IEEE 802.11. Они не столько заменяют проводные сети (хотя такая тенденция в определенных областях намечается), сколько расширяют возможности и области применения распределенных систем автоматизации, занимая свои, достаточно четко очерченные ниши, в которых использование проводных сетей или невозможно, или затруднено, или невыгодно. Это в целом определяет рациональную сетевую структуру промышленного уровня распределенных систем автоматизации как совокупность локальных проводных и беспроводных сегментов промышленной сети.

На полевом уровне получают распространение маломощные беспроводные связи средств, находящихся на небольших расстояниях друг от друга. Основная область применения - связь полевых средств с контроллерами. В частности, ряд производителей, стали выпускать серии датчиков, снабженных специальными компонентами: радиомодемами и направленными антеннами.

2. Развитие АСУ технологического производства в рамках концепции «Индустрия 4.0» (Industry 4.0)

В последние годы все большее внимание уделяется так называемой, очередной «промышленной революции», являющейся следствием концепции функционирования предприятий под наименованием «Индустрия 4.0» (Industry 4.0), которая вызвана внедрением во все сферы функционирования предприятий информационной технологии (ИТ). перестраивающей и совершенствующей методы управления. Эта концепция обсуждается сейчас в массе журнальных статей, в десятках конференций, она вызывает повышенный интерес руководителей предприятий, экономистов, специалистов по информатизации и автоматизации. Концепция «Индустрия 4.0» является общей для предприятий любых отраслей, но наиболее полно и плодотворно она изменяет функционирование предприятий машиностроения, в которых она не только перестраивает работу почти всех подразделений предприятия, но и меняет форму их взаимоотношений с заказчиками выпускаемой продукции.

Предприятия технологических отраслей, хоть и не столь полно, расширяя использование информационной технологии, также модернизируют автоматизацию производства. Ниже рассмотрена модернизация и развитие систем автоматизации производственных объектов, необходимая для перестройки работы предприятия под концепцию «Индустрия 4.0».

Идеология концепции Индустрии 4.0 (Industry 4.0)

Основная идея концепции «Индустрия 4.0» - сервис-ориентированное или клиент-ориентированное проектирование, производство и эксплуатация продукции (см., например, [1]). Это изменяет существующие способы управления производством и взаимоотношения с заказчиками продукции и, в идеале, строит индивидуальное производство с высокой скоростью выполнения заказа при низких издержках, близких издержкам массового, серийного производства. Одним из следствий внедрения данной концепции является выгодная как для производителя, так и для заказчика не продажа/покупка продукции, а передача ее от производителя заказчику в виде аренды с оплатой производителю периодическими счетами за использование продукции и за эксплуатационное

обслуживание, выполняемое производителем.

Индустрия 4.0 включает в себя следующие компоненты развития автоматизации, определяемые внедряемой информационной структурой предприятия:

- промышленный Интернет, заключающийся в единой ИТ-инфраструктуре предприятия и в ее информационной интеграции с другими, взаимосвязанными по производству предприятиями и клиентами;

- Интернет вещей, формирующий информационное взаимодействие различных объектов предприятия без непосредственного участия человека;

- цифровое предприятие, обладающее сквозной автоматизацией с единой ИТ-инфраструктурой, что изменяет методы управления всеми сферами деятельности внутри предприятия (включая его производство), а также его отношения с взаимосвязанными предприятиями и с клиентами.

Промышленный Интернет (industrial Internet)

Промышленный Интернет - это связь по Интернету между различными производственными цепочками, цехами, подразделениями предприятия, между ним и между группой взаимодействующих предприятий и потребителей его продукции (см., например, [2]). Промышленный Интернет обеспечивает, с использованием различных систем автоматизации, разнообразного сетевого оборудования, датчиков и исполнительных комплексов, горизонтальные информационные связи между участками, цехами, производственными службами, бизнес отделами предприятия. Он реализует межмашинный трафик и способствует эффективной, высокоскоростной кооперации между производственными подразделениями.

В средствах полевого уровня и системах автоматизации производственных объектов осуществляются сбор, фильтрация и первичная обработка данных, далее в системах класса MES производится сбор всех производственных данных, их анализ и хранение, из данных извлекается необходимая информация для отдельных служб и бизнес отделов; последними принимаются управляющие решения, поддерживаемые автоматическим анализом полученной информации, опытом и знаниями использующей ее персонала.

Основная задача, решаемая промышленным Интернетом, состоит в интеграции и визуализации тех текущих и исторических данных функционирования предприятия, которые находятся в памяти всех включенных в систему серверов предприятия. Это позволяет совершенствовать организационное взаимодействие между такими подразделениями предприятия, как бизнес отделы, производственные службы, отдельные

цеха, подразделения ИТ и КИПиА, служба информационной безопасности. В результате повышаются требования:

- к полноте, точности, надежности, реактивности первичных данных о работе производства;
- к детальности классификации выделяемой из данных информации;
- к глубине ее аналитической обработки;
- к рациональному использованию выдаваемой информации подразделениями предприятия.

Интернет вещей (Internet of Things, IoT)

Важнейшей составляющей концепции «Индустрия 4.0» является Интернет вещей (см., например, [3] и [4]). Он представляет собою совокупность различных физических объектов («вещей») и связывающих их цифровых сетей, оснащённых алгоритмами взаимодействия друг с другом и с внешними объектами. Это взаимодействие функционирует без непрерывного контроля и вмешательства персонала, что вполне соответствует наименованию: не Интернет людей, а Интернет вещей, поскольку число подключенных к Интернету вещей (предметов, устройств) превышает число подключенных к Интернету людей. Интернет вещей считается одним из основных трендов развития предприятий в сфере информатизации и автоматизации и зачастую объединяется с промышленным Интернетом в одно наименование «Промышленный Интернет вещей» (IIoT).

Ключевые признаки IIoT:

- интеграция информационной технологии с оперативным управлением производством через автоматизированные системы управления и создание единого информационного пространства предприятия;
- взаимный обмен информацией между производственными объектами без участия человека;
- горизонтальная интеграция производственных объектов внутри предприятия и интеграция предприятий, взаимосвязанных выпускаемой продукцией;
- аналитическая обработка большого объема данных, полученных от различных объектов, с целью анализа и прогноза состояния производства для рационализации управляющих решений; при этом, часть рутинных решений принимается системами автоматизации без участия персонала;
- достаточно полная автоматизация функционирования предприятия независимо от расстояний между его подразделениями и сквозная автоматизация в реальном времени всей деятельности предприятия;
- управление полным жизненным циклом продукции производства (от проектирования до вывода из эксплуатации). Возможны удаленный

контроль и обслуживание работы поставленного заказчику оборудования, а также поставка машин и механизмов потребителю не как продукции, а в виде аренды по их эксплуатации. При этом задача оператора связи обеспечить возможность быстрого обмена данными между предприятием-поставщиком и его эксплуатируемым изделием, независимо от расстояния между ними.

Программные и технические компоненты, упрощающие развитие Интернета вещей:

- Raspberry Pi - одноплатный компьютер размером с банковскую карту с параметрами: частота - 1.2 GHz, 4 ядра, ОЗУ - 1 Гбайт, 4 порта, Ethernet, WiFi;

- IPv6 – версия используемого в Интернете протокола IP с увеличенной длиной адреса – 128 бит, что значительно расширяет пространство доступных адресов;

- MQTT (Message Queue Telemetry Transport) — упрощённый сетевой протокол, работающий поверх TCP/IP, который может быть встроен в любую сложную систему. Он используется для обмена сообщениями между техническими устройствами по принципу издатель-подписчик: отправители (издатели) не привязаны программным кодом к подписчикам (получателям), а те не привязаны программным кодом к отдельным издателям. Это удобно для большинства связей с датчиками. MQTT работает в условиях возможной потери связи или других проблем на линии, не имеет ограничений на формат передаваемого сообщения. Все это существенно облегчает взаимодействия служб внутри предприятия и вне его с клиентами и с службами взаимодействующих предприятий;

- программно-конфигурируемая сеть – сеть передачи данных, в которой управление сетью отделено от устройства передачи данных и реализуется программно.

Технический состав Интернета вещей:

- оборудование контроля и учета работы производственных объектов: датчики физических величин, поточные и лабораторные анализаторы качественных показателей, измерители текущего состояния оборудования;

- оборудование формирования и реализации управляющих воздействий на производственные объекты: контроллеры, исполнительные механизмы (позиционеры) и регулирующие органы производственных объектов;

- совокупность средств сбора и передачи данных от различных подразделений разных уровней контроля и управления, состоящая из Интернета и локальных сетей (Ethernet, Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth и др.), оснащенных межсетевыми экранами, коммутаторами,

маршрутизаторами. Средой передачи данных служат проводные, беспроводные, спутниковые и другие сети связи;

- платформа Интернета вещей, которая выполняет сбор, интеграцию и синхронизацию данных с разных объектов; организует связь и взаимодействия производственных объектов; хранит, классифицирует и анализирует полученные данные; визуализирует их и передает в определенные подразделения персоналу; принимает от персонала и частично само формирует управляющие решения и воздействия; проводит настройку средств автоматизации. Она взаимодействует с АСУ производственных объектов и со всеми службами и отделами предприятия. Получаемые ею данные могут агрегироваться в облаке и обрабатываться в нем по требованиям пользователей.

Примеры платформ Интернета вещей разных производителей:

- Thing Worx (производство PTC) — платформа анализирует состояние и показатели работы объектов, помогает быстро создавать и развертывать приложения, решения и способы взаимодействия между различными удаленными объектами, интегрируется с облаком;

- SAP HANA Cloud Platform for IoT (производство SAP)— облачная платформа, в которой реализуются необходимые для функционирования Интернета вещей функции;

- Azure IoT Suite (производство Microsoft)— платформа, программа которой проводит сбор данных с объектов, анализирует движения потоков данных, организует хранение больших массивов данных, формирует запросы к ним, визуализирует текущие и архивные данные;

- HPE Universal Internet of Things Platform (производство Hewlett-Packard) – универсальный центр обеспечения информационных связей и функционирования Интернета вещей.

Цифровое предприятие (DigitalEnterprise)

Концепция цифрового предприятия (см., например, [5]) подразумевает на основе применения цифровой, информационной технологии перестройку:

- функционирования подразделений предприятия и взаимоотношений с клиентами;

- основных методов управления бизнес отделами, службами, производственными цехами и их участками.

Цифровое предприятие использует информационную технологию в качестве конкурентного преимущества во всех сферах своей деятельности: производстве, бизнес-процессах, маркетинге и взаимодействии с клиентами.

Основами цифрового предприятия являются промышленный Интернет, Интернет вещей, облачный сервис, которые позволили

создавать масштабируемые технические решения, обеспечивать различные виды коммуникации, проводить аналитические решения с большими массивами данных и формировать новые способы коллективной работы.

Термин "**цифровое**" подчеркивает ключевое отличие обычных предприятий от перспективного цифрового предприятия:

- сейчас информационная технология используется для автоматизации существующих производств и бизнес-процессов, но предприятие остается в рамках традиционных форм работы, продолжает выпускать традиционные продукты и оказывать традиционные услуги;

- в цифровом предприятии информационная технология формирует **новые** формы их работы и, в частности, может менять привычные формы взаимоотношений между производителями и потребителями.

Развитие АСУ производственных объектов предприятий технологических отраслей в рамках концепции «Индустрия 4.0»

Практическая реализация концепции «Индустрии 4.0» в предприятиях технологических отраслей имеет свои отличия от предприятий машиностроительных отраслей. Они обусловлены рядом причин:

- у предприятий технологических отраслей нет продукции типа оборудования или машин, которую они могли бы сопровождать в процессе ее эксплуатации, т. е. они не имеют влияния на эксплуатацию своей продукции;

- индивидуальное производство с выпуском продукции на заказ может иметь для предприятий технологических отраслей достаточно ограниченный характер;

- в предприятиях технологических отраслей содержание и формы контроля, учета и управления производством и его отдельными передулами отличны от содержания и форм этих функций в машиностроительных предприятиях.

Важное место систем автоматизации производственных объектов в развитии концепции «Индустрия 4.0» обусловлено тем, что только они являются источниками всех оперативных данных о работе производства для всех подразделений предприятия и только через них службы и отделы предприятия могут целенаправленно воздействовать и изменять ход работы производства. Для того, чтобы соответствовать требованиям концепции «Индустрия 4.0» необходима значительная модернизация и расширение функций систем автоматизации производственных объектов и, главное, систем автоматизации технологических агрегатов.

Развитие автоматического контроля и учета работы производственных объектов для соответствия концепции «Индустрия 4.0»

В первую очередь необходимо охватить достаточно полным

автоматическим контролем и учетом работу всех переделов, участков и агрегатов производства. Не вдаваясь в подробности и конкретные особенности отдельных предприятий, можно примерно выделить область достаточно полного автоматического контроля и учета работы производства ниже следующим перечнем необходимых измеряемых и вычисляемых величин.

1. Контроль текущей работы технологических агрегатов:

- измерение физических показателей режима технологического процесса датчиками температур, давления, уровня, расхода;
- измерение качественных показателей производимой агрегатом продукции поточными, виртуальными и лабораторными анализаторами;
- измерение объема (веса) производимой агрегатом продукции расходомерами, весами;
- измерение расхода агрегатом электро- и теплоресурсов электросчетчиками, расходомерами теплоносителей и вычислителями нормированного расхода теплоносителей и расхода тепловой энергии каждого теплоносителя;
- вычисление удельных расходов электро- и отдельных теплоресурсов на выпускаемую агрегатом продукцию на основе измеренных значений количества выпущенной продукции и затраченных на нее энергоресурсов.

Контроль текущей работы других производственных объектов (насосных станций, компрессоров, котельных и т. д.) состоит из части выше перечисленных показателей и выполняется аналогичными датчиками и вычислителями.

2. Мониторинг текущего состояния основного динамического оборудования и средств систем автоматизации производственных объектов:

- контроль и прогноз состояния основного динамического оборудования, под которым понимаются те единицы вращающегося оборудования, от качества работы и износа которых зависит поддержание заданного режима работы производственного объекта. Он производится путем измерения температуры подшипников, уровня вибрации, волн напряжения, энергопотребления и т. п. характеристик отдельных единиц оборудования;
- контроль качества работы компонентов систем автоматизации производственных объектов полевого уровня: автоматический анализ работы датчиков (анализ смещения нуля прибора и потери точности); диагностика состояния позиционеров и регулирующих органов (измерение гистерезиса и залипания регулирующих органов, процента времени их нахождения в конечных положениях); мониторинг работы полевых сетей и выявление их обрывов;

- контроль качества работы компонентов ПЛК (PCY): анализ ПИД-регулирования путем вычисления текущего среднеквадратичного отклонения регулируемой величины от заданной уставки, выявления колебательного режима регулирования, вычисления процента времени отключения регуляторов и перевода управления на ручной режим; определение неисправностей во всех компонентах ПЛК.

3. Контроль текущего перемещения материальных потоков по производству:

- контроль перемещения материальных потоков по всем линиям транспортной сети производства путем измерения и вычисления расходов материальных потоков по каждой линии сети;

- контроль заполнения и опорожнения хранилищ сырьевых компонентов, полуфабрикатов, готовой продукции (резервуаров, бункеров, складов) измерением наполнения/опорожнения хранилищ уровнемерами, расходомерами материальных потоков, весами;

- контроль приема сырьевых компонентов и отгрузки готовой продукции путем измерения их массы (объема) весами или расходомерами.

4. Обнаружение сверхнормативных материальных и энергетических потерь и мест их возникновения:

- вычисление материального баланса между входами и выходами технологических агрегатов, между взаимосвязанными материальными потоками цехами производства, между поступлением и расходом материальных потоков в хранилищах, между отдельными участками транспортной сети материальных потоков. Результатом анализа уравнений материального баланса является, в частности, выявление мест сверхнормативных материальных потерь;

- вычисление энергетического баланса (отдельно по различным видам потребляемых энергоресурсов) между отдельными переделами производства и обнаружение мест сверхнормативных энергетических потерь.

Естественно, что все измеряемые, вычисляемые и анализируемые величины и показатели должны удовлетворять заданным требованиям по достоверности, точности и надежности.

Развитие информационной платформы производства и ее преобразование в платформу Интернета вещей

Платформа Интернета вещей является в значительной степени развитием общей системы контроля и учета текущей работы производства (информационной платформы MES, перечень функций которой см., например, в [6]), и дополнением ее функций. Ниже перечислены основные функции платформы Интернета вещей, причем **курсивом** написаны функции уже реализуемые (возможно, в меньшем объеме и в не

столь глубокой аналитической обработке) в типовой информационной платформе MES, а обычным шрифтом перечислены функции платформы Интернета вещей, которые отсутствуют в существующей информационной платформе MES:

- сбор необходимых для всех подразделений предприятия данных от АСУ производственных объектов со всех площадок предприятия, независимо от объема требуемых данных и расстояний до отдельных площадок;

- передача управляющих воздействий, полученных от подразделений предприятия или выработанных в самой платформе, в АСУ производственных объектов на всех площадках предприятия, независимо от расстояний до отдельных площадок;

- информационное взаимодействие с различными подразделениями предприятия по различным цифровым проводным и беспроводным сетям, по Интернету и по сотовой связи;

- унификация полученных данных от АСУ производственных объектов разных производителей;

- интеграция и хранение полученных от АСУ производственных объектов данных в сервере платформы;

- вычислительная и логическая обработка полученных данных и подразделение их по разной степени важности и по разным адресатам служб и отделов предприятия;

- расчет ключевых показателей эффективности работы производства и отдельных технологических агрегатов и их передача руководству и основным подразделениям предприятия;

- аналитическая переработка полученных данных, прогнозирование их изменений, выявление событий, требующих внимания определенных производственных служб и отделов предприятия;

- сквозная автоматизация и взаимосвязь всех подразделений предприятия через платформу;

- непосредственное взаимодействие различных средств и систем автоматизации производственных объектов, участков, служб, отделов предприятия без участия персонала;

- автоматизированная перестройка функционального содержания систем автоматизации при любых изменениях (модификациях) управляемых производственных объектов;

- организация взаимодействия с облачным сервисом по хранению и заданной переработке пересылаемой от АСУ информации.

Последняя функция применительно к АСУ производственных объектов требует пояснения и конкретизации: использование облачного сервиса для задач управления производственными объектами обычно

невозможно из-за необходимости иметь высокоскоростную реакцию на текущие значения измеряемых в объектах величин, что затруднительно гарантировать при обработке измеряемых данных в пространственно удаленном от объекта центре. Но имеется возможность использования облачной технологии для АСУ производственных объектов при ориентации на взаимодействие облачной технологии с Интернетом вещей (так называемые туманные вычисления /Fog Computing/), которая позволяет использовать облачную технологию не в центре обработки данных, а во взаимодействующих между собою компьютерах отдельных АСУ, распределенных в пространстве данного предприятия. Это позволяет туманным вычислениям с достаточно высокоскоростной реактивностью решать заданные им задачи в реальном времени.

В целом, платформа Интернета вещей в цифровом технологическом предприятии выполняет функции информационной платформы MES в аналогичном предприятии сегодняшнего дня, но с гораздо более полным контролем работы всех переделов производства, с существенно более серьезной аналитической обработкой собираемых от производства данных, с более совершенными алгоритмами управления (частично формируемыми в самой платформе), с многообразными взаимодействиями ее с техническими средствами автоматизации разных уровней управления без участия персонала, с использованием облачных серверов.

Обеспечение информационной защиты АСУ производственных объектов в цифровом предприятии

В связи со сквозной автоматизацией в цифровом предприятии и наличия в нем множества разнообразных, взаимодействующих между собою цифровых сетей, значительно более открытыми для всевозможных внешних вторжений становятся все системы автоматизации производства. Ввиду этого особенно актуальной становится задача обеспечения систем автоматизации производства информационной защитой (обеспечение кибербезопасности). Средства и методы защиты информации от несанкционированного доступа в системы автоматизации производственных объектов должны закладываться на всех этапах их проектирования, внедрения и эксплуатации и модернизироваться по мере появления новых типов угроз и вмешательств в работу систем. Следует учитывать, что информационные угрозы системам автоматизации производственных объектов непрерывно возрастают численно и становятся все более изощренными; а сами системы автоматизации в цифровом предприятии ввиду открытости оказываются все более уязвимыми для внешних угроз.

К настоящему времени подготовлены международные и российские

нормативные документы, в которых формулируются условия необходимой киберзащиты АСУ производственных объектов. Выполнение этих нормативов тем важнее, чем более ответственно, взрыво- и пожароопасно автоматизируемое производство, чем более охвачено оно различными сетевыми структурами, имеющими выход за пределы предприятия. Краткое перечисление документов по кибербезопасности, подробно рассмотренных выше в главе 18, и ссылок на них повторено ниже.

Для формирования требований к информационной безопасности проектируемой АСУ предусматривается необходимое проведение анализа рисков вторжений в ее программное обеспечение. Описание различных методов обнаружения и анализа информационных уязвимостей в технических и программных компонентах АСУ производственных объектов приведено в [7]). Результатом анализа имеющихся информационных уязвимостей является установление требуемого уровня защиты данной системы автоматизации и ее программных и технических средств от несанкционированного доступа, который должен проверяться и подтверждаться специальными органами сертификации (см. ГОСТ Р МЭК 62443-3-3-2016. Часть 3-3. Требования к системной безопасности и уровню безопасности [8]).

Требуемый уровень защиты от киберугроз — Safety Integrity Level (SIL) подразделяется на следующие категории:

- SIL 0: информационная защита не требуется (к этой категории SIL могут относиться некоторые функции АСУ; например: электронная почта, IP-телефония, совместный доступ к файлам);
- SIL 1: информационная защита от случайного или непредумышленного нарушения безопасности;
- SIL 2: информационная защита от умышленного нарушения безопасности с использованием простых средств и при низкой мотивации;
- SIL 3: информационная защита от умышленного нарушения безопасности с использованием изолированных средств, при умеренных ресурсах и умеренной мотивации;
- SIL 4: информационная защита от умышленного нарушения безопасности с использованием изолированных средств при обширных ресурсах и высокой мотивации (информационная защита от угроз организованной преступной группировки).

Требование к уровню защиты SIL включается в техническое задание на создание АСУ. Реализация утвержденных уровней защиты SIL различается числом и глубиной реализуемых (встраиваемых) элементов (процедур) в программные и технические средства АСУ, специально нацеленных на повышение их информационной защиты.

В соответствии со стандартом ГОСТ Р МЭК 62443 сертификационные

фирмы в США и в Европе (Exida Certification, ISA Security) проводят сертификацию средств автоматизации (контроллеров, SCADA программ и т. д.) различных производителей по киберзащите, оценивая их функциональную безопасность, программную безопасность, коммуникационную безопасность и выдавая этим средствам сертификаты, определяющие их уровень кибербезопасности (имеющуюся категорию SIL).

Заказчики средств и систем автоматизации могут теперь отбирать их, учитывая их категорию кибербезопасности SIL, подтвержденную сертификатом.

Кроме этих внутренних, встраиваемых в основные компоненты системы автоматизации элементов (процедур) киберзащиты, строится еще и внешний слой киберзащиты каждой отдельной сетевой структуры и системы автоматизации. Этот слой имеет следующие основные компоненты:

- межсетевые экраны, которые подразделяются на пять классов защиты информации: самый низкий класс - пятый, самый высокий – первый [9];

- средства вычислительной техники, которые подразделяются на семь классов защиты информации: самый низкий класс – седьмой, а самый высокий класс – первый [10];

- съемные машинные носители информации, которые подразделяются на шесть классов защиты информации: самый низкий класс – шестой, самый высокий – первый [11].

Достижение уровня цифрового предприятия (уровня «Индустрия 4.0») с полномасштабным использованием ИТ для предприятий технологического типа является достаточно медленным эволюционным (отнюдь не революционным) процессом даже в случае, если они имеют достаточно современные АСУ производственных объектов, частично эксплуатируют и внедряют системы класса MES, используют на уровне бизнес отделов ERP-систему.

Основными линиями постепенного развития систем и средств автоматизации технологических производств, приближающих их к уровню «Индустрия 4.0» являются:

- развитие значительно более полного и точного автоматического контроля и учета работы всех производственных объектов (особенно, технологических агрегатов) и систем их управления;

- расширение и модернизация информационной платформы MES: включение в нее новых функций углубленной аналитики исходных данных; прогноза основных характеристик протекания технологических процессов; взаимодействия платформы с различными

системами автоматизации предприятия и с облачным сервисом без участия персонала;

- пересмотр и тщательное оснащение систем автоматизации и сетевых структур внутренними, встраиваемыми в основные компоненты систем автоматизации элементов (процедур) киберзащиты, а также организация внешнего слоя киберзащиты каждой отдельной сетевой структуры и системы автоматизации.

Литература

Введение

1. http://www.rugost.com/index.php?catid=21&id=76:24104-85-3-34603-92&Itemid=52&option=com_content&view=article
2. http://mainavi.ru/normativnye-dokumenty/gost/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_34_601-90/3.
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%A1%D0%A3_%D0%A2%D0%9F.
4. Ф. Т. Адилов и др. Опыт разработки и эксплуатации АСУТП Бухарского НПЗ.// Автоматизация в промышленности, №7, 2015.
5. С. И. Антипов и др. О создании конкурентоспособной АСУТП для АЭС нового поколения.// Автоматизация в промышленности, №11, 2015.

Первая часть

Состав и функции современных технических и программных средств автоматизации в АСУТП

Раздел I. Типовые цифровые сети АСУТП

1. http://vtk34.narod.ru/suprun_kts/lekci/tema4.htm
2. <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/rs232/start.htm>
3. <http://www.musidora.ru/format485.htm>
4. <http://docs.cntd.ru/document/1200028699>
5. http://citforum.ru/nets/ip/glava_2.shtml
6. http://www.bookasutp.ru/Chapter2_7.aspx
7. https://ru.wikipedia.org/wiki/Foundation_fieldbus
8. <http://www.cntd.ru/assets/files/upload/060513/15745-3-2010.pdf>
9. <http://nknaromanova.narod.ru/IEEE.htm>
10. <http://autoworks.com.ua/setevye-resheniya/industrial-ethernet/>
11. <https://ru.wiki2.org/wiki/Modbus>
12. <https://ru.wikipedia.org/wiki/HART-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB>
13. <http://www.analytic.ru/articles/lib414.pdf>
14. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
15. <https://ru.wikipedia.org/wiki/WirelessHART>
16. <http://variant-group.ru/news-item.php?p=7>

Раздел II. Средства автоматизации полевого уровня АСУТП (датчики и исполнительные комплексы)

1. В. М. Дозорцев. О термине «интеллектуализация» в применении к средствам и системам управления ТП.// Автоматизация в промышленности. №6, 2006г.

- 2 <https://ru.wikipedia.org/wiki/VXI>
3. <http://partners.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/99713>
4. http://rfmw.em.keysight.com/spdhelpfiles/33500/webhelp/RU/Content/_I_SCPI/00%20scpi_introduction.htm
5. <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293794/4293794403.htm>
- 6 <http://docs.cntd.ru/document/1200047566>
7. <http://docs.cntd.ru/document/1200001401>
8. http://www.elec.ru/viewer?url=/library/gosts_p32/gost_r_52320-2005.pdf
9. <http://www.elec.ru/viewer?url=/files/2014/05/06/GOST-32144-2013-Elektricheskaja-energija.pdf>
10. http://files.stroyinf.ru/data1/48/48382/servomotors.ru/documentation/technical_means_of_automation_and_control/book/soderjanie.html
11. <http://files.stroyinf.ru/Data1/41/41366/>
12. http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/mi/20.pdf
13. http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/mi/19.pdf
14. cervomotors.ru/documentation/technical_means_of_automation_and_control/book/soderjanie.html.
15. В фокусе: мониторинг и диагностика регулирующих клапанов.// Автоматизация в промышленности, № 10, 2016.

Раздел III. Средства автоматизации промышленного уровня АСУТП (Промышленные контроллеры)

1. <http://sezador.radioscanner.ru/pages/library/sources/std/gost28601-90.html>.
2. <http://partners.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/99713>
3. <http://mirznanii.com/a/309111/lokalnaya-shina-personalnogo-kompyutera>.
4. <http://www.osp.ru/cw/1995/10/1755/>.
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/VSAT>
6. <http://www.studfiles.ru/preview/6210689/>
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ECC-D0%BF%D0%B0%D0%BC%D1%8F%D1%82%D1%8C>
8. <http://docs.cntd.ru/document/1200135008>
9. <http://autoworks.com.ua/programmirovanie-kontrollerov/iec-61499/>
10. http://www.bookasutp.ru/Chapter9_3.aspx..
11. <https://ru.wikipedia.org/wiki/CoDeSys>
12. <http://docs.cntd.ru/document/1200100344>
13. С.В. Золотарев. ISaGRAF 6: эволюция от среды программирования контроллеров к единой платформе автоматизации.// Автоматизация в промышленности, № 3, 2011г.

Раздел IV. Средства автоматизации информационного уровня АСУТП

(SCADA-программы)

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Object_Linking_and_Embedding
2. http://www.interface.ru/fset.asp?Url=/borland/com_dcom.htm
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/CORBA>
4. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ActiveX>
5. http://www.bookasutp.ru/Chapter9_2.aspx
6. http://www.bookasutp.ru/Chapter9_2_4.aspx
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/SQL>
8. <http://infostart.ru/public/120965/>

Вторая часть Особенности построения современных систем автоматизации производственных объектов

Раздел V. Структуры и функции систем автоматизации разных классов производственных объектов

1. <http://meganorm.ru/Data2/1/4293776/4293776878.pdf>
2. <http://files.stroyinf.ru/data2/1/4293787/4293787906.pdf>
3. <http://base.garant.ru/70365948/>
4. http://www.stroyoffis.ru/gost_procie/gost_r_51901_2002/gost_r_51901_2002.php
5. <http://docs.cntd.ru/document/1200041154>
6. <http://docs.cntd.ru/document/1200073589>
7. <http://docs.cntd.ru/document/1200046169>
8. <http://docs.cntd.ru/document/1200067569>
9. Ю. Н. Федоров. Справочник инженера по АСУ ТП: проектирование и разработка. Изд-во «Инфра-Инженерия», 2008,.
10. Н. Плескач. Структуры управления с распределенным интеллектом.// Промышленные контроллеры и АСУ, № 9, 2007 г.
11. О. Сердюков и др. Магистральное направление развития промышленных контроллеров.// Автоматизация в промышленности, № 12, 2007 г.
12. А. Жирков. Интернет вещей и облачные технологии Euvrotech.// СТА, №2, 2015г.

Раздел VI. Защита средств и систем автоматизации от внешних воздействий и кибератак

1. http://www.klapan.ru/files/uploads/GOST_15150_69_ispolnenie_klimaticheskikh_raion.

2. http://www.ntcexpert.ru/documents/docs/gost_14254_96_1.pdf.
3. <http://www.picad.com.ua/0404/pdf/56/pdf>.
4. <http://gostexpert.ru/gost/gost-50030.1-2007>.
5. <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/8587>.
6. http://www.aton-vet.ru/data/pages/client/files/GOST_R_MEK6007
полевой сети - HART9182011.pdf
7. <http://atex-tools.ru/standarti>.
8. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2007/P626.pdf>.
9. <http://baza-kip.narod.ru/GOST/51841-2001.pdf>.
10. http://cdn.elec.ru/library/gosts_e08/gost_17516_1-90.pdf.
11. <http://docs.cntd.ru/document/gost-22261-94>
12. http://87.mchs.gov.ru/upload/site83/document_file/XKF9i8Dwqc.pdf
13. Р. Н. Хайретдинов. Защита технологических процессов: чем и куда движется отрасль.// Автоматизация в промышленности, № 1, 2016.
14. И. Лопухов. Промышленные сети в условиях возросших киберугроз.// СТА, №4, 2014.
15. Э. Кнапп. Кибербезопасность в нефтеперерабатывающей отрасли: понимание рисков и защита важнейшей инфраструктуры.// Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области, № 3, 2015.
16. <http://files.stroyinf.ru/data2/1/4293768/4293768035.pdf>
17. <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/60330>
18. <http://files.stroyinf.ru/index/62/62748.htm>.
19. В фокусе: промышленная автоматизация и кибербезопасность.// Автоматизация в промышленности, № 2, 2015.
20. <http://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/53-prikazy/868-prikaz-fstek-rossii-ot>
21. <http://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/385-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsdatelya-gostekhkommisii-rossii-ot-30-marta-1992-g2>
22. <http://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/383-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsdatelya-gostekhkommisii-rossii-ot-25-iyulya-1997-g>
23. <http://fstec.ru/component/attachments/download/305>
24. <http://fstec.ru/component/attachments/download/319>
25. <http://fstec.ru/download/663>
28. <http://fstec.ru/tekhnicheskaya-normotvorcheskaya/informatsionnye-i-analiticheskie-materialy/471-informatsionnoe-pismo-fstek-rossii-2>
26. <http://fstec.ru/component/attachments/download/401>
27. <http://fstec.ru/component/attachments/zashchita-informatsii/dokumenty-po-sertifikatsii/120-normativnye-dokumenty>

29. <http://fstec.ru/component/attachments/download/744>.
30. <http://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty-po-sertifikatsii/120-normativnye-dokumenty/926-metodicheskie-dokumenty-utverzhdeny-fstek-rossii-1-dekabrya-2014-g>
31. http://fstec.ru/component/attachments/download/296_

Третья часть

Рационализация взаимодействия персонала с системой автоматизации в АСУТП

Раздел VII. Новые способы представления информации операторам

1. А. И Галактионов. Представление информации оператору. Изд-во «Энергия», 1969 г.
2. А.Л. Пинаев. Передовые решения Pro-fase для организации человеко-машинного интерфейса.// Автоматизация в промышленности, №8, 2013.
3. В. Л. Сельченков. Психологические аспекты дизайна экранных форм для диспетчера.// Автоматизация в промышленности. №6, 2012.
4. Н.Кузьмина. Человеко-ориентированный подход при проектировании систем визуализации автоматизированных объектов.// СТА. №1, 2015.
5. В. М. Дозорцев, А. А. Обознов. Имитационное моделирование как инструмент экспериментально-психологических исследований. Труды конференции ИММОД-2015. Том «Пленарные доклады». Издание ИПУ РАН, 2015.
6. https://ru.wikipedia.org/wiki/ISO_9241
7. <http://docs.cntd.ru/document/1200066538>
8. <http://files.stroyinf.ru/Data1/58/58332/>
9. <http://files.stroyinf.ru/data2/1/4293822/4293822747.htm>
10. <http://files.stroyinf.ru/Data1/53/53657/>
11. <http://docs.cntd.ru/document/1200082718>
12. <http://files.stroyinf.ru/data2/1/4293820/4293820814.htm>
13. <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293768/4293768927.htm>
14. <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-9241-210-2012>
15. <http://docs.cntd.ru/document/1200108140>
16. http://www.iso.org/iso/ru/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=16884
17. http://www.iso.org/iso/ru/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=16885
18. http://www.iso.org/iso/ru/catalogue_detail.htm?csnumber=16889
19. А.И. Иванов. Ситуационное восприятие – современный подход

к дизайну НМИ.// Автоматизация в промышленности. №7, 2014.

20. Д. Краевски, А. И. Иванов. Ситуационное восприятие. Новый подход к дизайну человеко-машинных интерфейсов.// Автоматизация в промышленности. №12, 2014.

21. А. Н Анохин, А. С Ивкин, Е. Н. Алонцева. Проектирование экологического интерфейса для операторов сложных технологических процессов.// Автоматизация в промышленности. №12, 2014.

22. А.А.Башлыков. Образное представление состояния сложных технологических объектов управления.// Искусственный интеллект и принятие решений.. стр. 9-18, 2012.

23. С. П. Сетин. Обеспечение оперативного контроля за значениями уставок блокировочных параметров и сигнализаций на опасных производственных объектах с применением АСУТП.// Автоматизация в промышленности. №10, 2014.

24. <http://ua.automation.com/content/diagnostiruem-sistemu-trevozhnogo-opoveshhenija>

25. http://www.ptb72.ru/upload/Prikaz_RTN_ot_11.03.13__96.pdf

26. Д. В. Кнеллер, С. П. Сетин, М. М. Шундерюк. Управление сигнализациями в АСУТП.// Автоматизация в промышленности. №7, 2015.

Раздел VIII. Совершенствование работы персонала с системой автоматизации

1. А. С. Кремез, В. В. Бонч-Бруевич. Психологические аспекты деятельности оперативного персонала технологических установок.// Автоматизация в промышленности. №7, 2011.

2. <http://www.studfiles.ru/preview/5437889/page:6/>

3. В.М. Дозорцев. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. Изд-во Синтег. 2009.

4. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (ПБ 09-540-03). Изд-во Металлургия. 2003.

5. Bainbridge, L. Ironies of Automation.// Automatica. Vol. 19, №. 6, 1983.

6. В.М. Дозорцев. Компьютерный тренинг операторов технологических процессов: десять «мифов»... и еще пять.// Датчики и системы. № 6, 2009.

7. В.М. Дозорцев. Разработка тренажера для обучения операторов технологических процессов: основные участники, их роли и взаимодействия.// Автоматизация в промышленности. № 5, 2009.

Четвертая часть

Перспективные методы автоматизации технологических агрегатов

Раздел IX. Развитие методов контроля и учета

1. Е. А. Гребенюк, Э. Л. Ицкович. Особенности оценки основных ключевых показателей эффективности работы производства технологического типа. Часть 2. Особенности оценок количественных показателей производственной продукции.// Автоматизация в промышленности. №3, 2013.

2. Е. А. Гребенюк, Э. Л. Ицкович. Выбор рациональной частоты проведения лабораторных анализов на непрерывном производстве технологического типа.// Автоматизация в промышленности. №12, 2014.

3. Е. А. Гребенюк, Э. Л. Ицкович. Повышение точности оценки значений текущих качественных показателей по их дискретным лабораторным анализам использованием алгоритмов экстраполяции.// Автоматизация в промышленности. №8, 2016.

4. Бокс Дж, Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление, Изд-во Мир. 1974.

5. Г.Г. Канторович. Анализ временных рядов. Лекционные и методические материалы.// Экономический журнал ВШЭ, №2, 2002.

6. Е. А. Гребенюк, Э. Л. Ицкович. Методы оперативного определения не измеряемых поточными приборами качественных показателей химико-технологических процессов.// Автоматизация в промышленности, № 6, 2011.

Раздел X. Развитие методов автоматического управления

1. В. Я. Ротач. Теория автоматического управления. Изд-во МЭИ. 2004.

2. В. М. Дозорцев, Д. В. Кнеллер. APC – усовершенствованное управление технологическими процессами.//Датчики и системы, №10, 2005

3. В.М.Дозорцев,Э.Л.Ицкович,Д.В.Кнеллер. Усовершенствованное управление технологическими процессами (APC): 10 лет в России.// Автоматизация в промышленности, № 1, 2013.

Пятая часть

Особенности управления всеми этапами жизненного цикла АСУТП

Раздел XI. Методы планирования АСУТП

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Утверждено 21.07.1999 г. Минфином и

Минэкономикой. Изд-во «Экономика».

2. П. Виленский, В. Лившиц, П. Смоляк. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. Изд-во «Дело», 2002.

Раздел XII. Реализация и эксплуатация АСУТП

1. А. Захаров. Международные конкурсные торги. Изд-во МГИМО. 2006 г.

2. Э.Л. Ицкович. Методы рациональной автоматизации производства. Стр. 91-140. Изд-во Инфра-Инженерия. 2009.

Заключение

1. <http://hi-news.ru/business-analitics/industriya-4-0-chto-takoe-chetvertaya-promyshlennaya-revolyuciya.html> И. Хель. Индустрия 4.0: что такое четвертая промышленная революция?

2. Промышленный интернет: ключ на старт.// Директор информационной службы. №9, 2015.

3. http://www.rostelecom.ru/projects/IIoT/study_IDC.pdf. Е. Семеновская. Интернет вещей. Перспективы российского рынка.

4. Обсуждаем тему: промышленный Интернет вещей и облачные технологии. Стр.30-46.// Автоматизация в промышленности, № 8, 2016.

5. Максим Баранов. Цифровое предприятие: пришло время перемен.// PCWeek, №10 (909), 7 июня 2016.

6. Э. Л. Ицкович. Методы комплексной автоматизации производства предприятий технологических отраслей. Стр. 20 – 75. Изд-во URSS. 2013.

7. В фокусе: промышленная автоматизация и кибербезопасность.// Автоматизация в промышленности, № 2, 2015.

8. <http://files.stroyinf.ru/index/62/62748.htm>.

9. <http://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/383-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsdatelya-gostekhkommisii-rossii-ot-25-iyulya-1997-g>.

10. <http://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/385-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsdatelya-gostekhkommisii-rossii-ot-30-marta-1992-g>.

11. <http://fstec.ru/component/attachments/download/744>.

д.т.н., профессор **Ицкович** Эммануил Львович

Особенности современных АСУТП

Подписано в печать 22.05.2017.

Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 32,75.

Тираж 130 экз. Заказ 124.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова

Российской академии наук

117997, Москва,

ул. Профсоюзная, д. 65