

Р.И. Силин

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Рекомендовано Министерством образования
и науки в качестве учебного пособия для
студентов высших учебных заведений

Хмельницкий 2004

ББК 32.965

С36

УДК 658.52.011.56:621(075.8)

Гриф “Учебное пособие для студентов высших учебных заведений” выдан Министерством образования и науки Украины, письмо от 1/11-2881 от 17.06.2004 г.

Рецензенты:

Берник П.С. – д.т.н., проф., лауреат государственной премии Украины, зав. кафедрой автоматизации и комплексной механизации Винницкого государственного аграрного университета;

Афтаназив И.С. – д.т.н., проф., зав. кафедрой технологии машиностроения Национального университета “Львівська політехніка”.

Силин Р.И.

С36 Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебное пособие. – Хмельницкий: ХНУ, 2004. – 270 с.
ISBN 966-7789-93-4

Рассматриваются вопросы одного из больших разделов курса “Автоматизация производственных процессов в машиностроении”. Представлен обширный материал по автоматизации загрузки, приводятся ее общие вопросы, рассматриваются структурные схемы и конструктивные решения, подходы к основным расчетам. Много внимания уделено особенностям вибрационного перемещения как перспективного направления при осуществлении автоматической загрузки.

Пособие предназначено для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений. Может быть также использовано инженерно-техническими работниками предприятий при проектировании, создании и эксплуатации автоматических машин.

ББК 32.965

ISBN 966-7789-93-4

© Силин Р.И., 2004

© ХНУ, оригинал-макет, 2004

ПРЕДИСЛОВИЕ

Автоматизация технологических процессов, в простейшем виде зародившаяся уже при появлении первых машин-орудий, становится в наше время основным методом осуществления производства.

В областях промышленности, изготавливающих непрерывный продукт при непрерывном процессе производства, развитие автоматизации шло с опережением и более широким фронтом по сравнению с областями промышленности, выпускающими дискретную продукцию. Это естественное следствие значительно большей сложности автоматизации производства подобных изделий.

Машиностроение – одна из тех отраслей, в которых почти вся масса продукции является дискретной. Поэтому автоматизация машиностроительных производств в целом начала все более входить в промышленную практику лишь с сороковых годов прошедшего столетия. В настоящее время существуют многочисленные виды автоматических производств, выпускающих разнохарактерную машиностроительную продукцию с различным масштабом этих производств, различной комплексностью и универсальностью – от автоматических линий для

обработки одного определенного вида корпусных заготовок только стержневыми инструментами до комплексных автоматических цехов и заводов, переналаживаемых на выпуск гаммы типоразмеров таких сложных изделий, как валы, шестерни, поршни, подшипники качения и др.

Сегодняшнее развитие производства невозможно без его автоматизации для повышения производительности и облегчения условий труда человека. Автоматизация производственных процессов является основным направлением технического прогресса.

Современное машиностроительное предприятие представляет собой сложный комплекс, который должен обеспечивать бесперебойное функционирование всех элементов производственного процесса. Основной объем обработки выполняется в механических цехах, где заготовки, проходя механическую обработку, приобретают необходимую конфигурацию, точность и чистоту. Процессы механической обработки, начиная от черновых, обдирочных операций и кончая чистовыми, окончательными, очень многообразны и могут выполняться последовательно на многих станках в поточных или автоматических линиях.

На начальных этапах основным направлением автоматизации в машиностроении была автоматизация технологических процессов механической обработки: создание токарных, шлифовальных, фрезерных автоматов и полуавтоматов, агрегатных станков и автоматических линий из агрегатных станков и т.д. Такое направление в конечном итоге приводит к созданию автоматизированных участков и цехов, что позволяет значительно сократить количество производственных рабочих, непосредственно занятых обслуживанием станков.

Автоматизация станков позволяет повысить их производительность за счет сокращения времени холостого хода. Лишь по загрузке и выгрузке деталей оно в ряде случаев составляет 40 % от общего времени, требующегося на обработку детали.

Вопросам автоматизации производственных процессов посвящено большое количество публикаций, часть из которых приведена в списке литературы настоящей книги. Вместе с тем, для более успешного понимания процессов автоматизации и для их изучения в курсе “Автоматизация производственных процессов в машиностроении” студентами машиностроительных специальностей предлагается настоящее учебное пособие, в котором учтены научные достижения последних лет. Книга может использоваться для целей самообразования и для решения инженерами-механиками производственных вопросов действующих и проектируемых предприятий.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ

1.1. Основные направления и задачи автоматизации различных видов производства

Современная технологическая наука делит машиностроительное производство по своему характеру на массовое, серийное и единичное с внутренним подразделением (например, на мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное). При массовом производстве технологическое оборудование специализируется на выполнении одинаковых, повторяющихся операций технологического процесса без переналадки. При серийном производстве технологическое оборудование специализируется на выполнении двух или нескольких закрепленных операций, чередующихся в определенной последовательности. При единичном производстве оборудование загружается различными работами и не имеет постоянно закрепленных операций или объектов обработки.

Сроки службы техники не всегда определяются ее физической долговечностью. Чаще всего они определяются качеством выпускаемой продукции, требования к которому постоянно растут, заставляя модернизировать или вовсе заменять объекты производства. Например, нам выгодно наладить массовый выпуск машин или станков определенного типа путем создания станков-комбайнов и автоматических линий для их выпуска, как это принято при производстве автомобилей. Разумеется, таким путем можно выпускать машины высокого качества с минимальной себестоимостью, если сроки их выпуска будут длительными ($N > 10$ лет). Но это означало бы, что 10 лет мы будем выпускать машины одного и того же качества, пренебрегая требованиями непрерывного их совершенствования. Фирмы, выпускающие более дорогие машины мелкими сериями того же назначения, что и в первом случае, за эти 10 лет могут непрерывно совершенствовать выпускаемую продукцию, так что, хотя эти машины и будут дороже, чем машины массового выпуска, но по производительности, точности и степени автоматизации они будут намного лучше первых. Для потребителя всегда выгоднее иметь одну машину или станок, чем две, для выполнения той же работы. Отсюда естественное стремление к производству машин более высокого качества.

Здесь под качеством понимаем сложный комплекс, включающий в себя производительность, точность, надежность, степень автоматизации, удобство обслуживания, техническую эстетику и др. В зависимости от назначения изделия эти характеристики, естественно,

будут иными. Можно сказать, что качество технологических машин определяется тем, насколько с их помощью производят больше, лучше и дешевле.

Как видим, качество и массовость входят в противоречие, так как первое требует непрерывного совершенствования продукции (быстротенность производства), а второе – постоянства выпуска продукции высокого качества. Наиболее остро это противоречие проявляется при изготовлении предметов массового производства, которые в силу своего назначения и спроса должны в кратчайшие сроки выпускаться сотнями тысяч, миллионами. Так, предметы потребления (например, обувь, одежда, бытовая техника и даже мебель), с одной стороны, требуют налаженного массового производства, а с другой – непрерывного совершенствования моделей выпускаемых изделий. Еще более ужесточены сроки сменяемости продукции в области радиотехники, приборостроения, средств связи, оборонной техники. Таким образом, быстротенность производства – это признак, присущий не только мелкосерийному производству, как это принято считать, а характерный признак развития современной техники.

В последнее время во всем мире широким фронтом идут работы по автоматизации мелкосерийного производства. Это объясняется тем, что удельный вес мелкосерийного производства еще велик (до 80 %), поскольку срок жизни или срок выпуска одной и той же продукции, предопределяемые непрерывными, быстрыми темпами совершенствования качества объектов производства, сегодня постоянно сокращаются и в среднем составляют 3 года.

Известно, что темпы изменения качества объектов производства настолько сейчас велики, что прежние понятия о сроках службы ($N = 10, 20, 30$ лет) совершенно неприемлемы. Многие машины, аппараты, приборы, изделия быта настолько быстро совершенствуются, что невозможно говорить о длительных сроках выпуска продукции одного и того же качества, и, следовательно, о длительных сроках службы средств производства для этой продукции. Во многих случаях сроки выпуска сокращаются до одного года, а то и нескольких месяцев. Эта неумолимая тенденция в развитии техники требует пересмотра укоренившихся взглядов и наряду с известной характеристикой видов производства (мелкосерийное, серийное и массовое) необходимо видеть рождение принципиально нового вида производства со следующей характеристикой: **массовое быстрое производство**.

Как видим, имеет место сочетание двух противоречивых взаимоисключающих, характерных черт производства. До сих пор быстротенность была характерной чертой мелкосерийного производст-

ва, а массовость – стабильного производства. Это диалектическое противоречие и является тем движущим началом технической революции, свидетелями и участниками которого мы являемся. И весь мир ищет не только средства и способы автоматизации мелкосерийного производства, но и средства для нового вида быстросменного массового производства. Следовательно, на данном этапе развития техники ее движущим началом является противоречие между массовостью и быстросменностью производства. Разумеется, при определении эффективных путей развития техники необходимо исходить из этого условия.

Таким образом, важнейшей проблемой автоматизации является проблема мобильности техники. При современных темпах развития техники с быстроменяющимися объектами производства проблема мобильности требует разрешения противоречия между массовостью и быстросменностью, количеством и качеством путем резкого снижения средств и времени на автоматизацию производственных процессов и создания принципиально новых систем автоматизации. Современные методы и средства автоматизации решают задачи повышения производительности труда в первую очередь в условиях массового и крупносерийного производств. Поэтому создание новых мобильных средств и систем автоматизации, которые, обладая всеми достоинствами высокой производительности, позволяли бы свободно переходить от одного вида продукции к другому, является первоочередной проблемой.

Эта гигантской трудности задача должна быть решена для того, чтобы автоматизация из рычага технического прогресса не превратилась в его тормоз.

В условиях крупносерийного и массового производств автоматизация на первом этапе обеспечивает значительный экономический эффект благодаря повышению качества продукции, росту производительности, сокращению количества обслуживающих рабочих и занимаемых площадей.

Вместе с тем, развитие человечества приводит к переходу от индустриального производства к информационному, когда полученные и используемые знания превращаются в производительные силы. Это приводит к возникновению и использованию высоких технологий или технологий легкого касания, когда человек с помощью пусковых кнопок управляет оборудованием и всем технологическим процессом. Разумеется, что все это может быть достигнуто лишь при высокой степени автоматизации технологического процесса и оборудования.

Таким образом, сегодняшнее развитие производства невозможно без его автоматизации для повышения производительности и облегчения условий труда человека. Вместе с тем, в производственном процессе сегодня используется и механизация.

1.2. Основные положения автоматизации производства

1.2.1. Основные понятия и определения

Механизация – применение в производственном процессе машин и механизмов, заменяющих мускульный труд рабочего. Механизация может быть либо частичной, либо полной или, как ее называют, комплексной.

Частичная или **малая механизация** – это механизация части движений, необходимых для осуществления производственного процесса: либо главного движения, либо вспомогательных и установочных движений, либо движений, связанных с перемещением изделий (деталей и полуфабрикатов) с одной рабочей позиции на другую.

Полная или **комплексная механизация** – механизация всех основных, вспомогательных, установочных и транспортных движений, которые выполняются по ходу производственного процесса. При полной механизации обслуживающий персонал осуществляет только оперативное управление производственными процессами, включение и выключение в нужные моменты требуемых механизмов и управление режимом и характером их работы.

Автоматизация – характеризуется освобождением человека не только от мускульных усилий для выполнения тех или иных движений, но и от оперативного управления механизмами, выполняющими эти движения. Автоматизация может быть частичной и полной или, как чаще называют, комплексной.

Частичная автоматизация – автоматизация части операции по управлению производственным процессом при условии, что оставшая часть всех операций выполняется рабочим.

Полная или **комплексная автоматизация** характеризуется автоматическим выполнением всех функций для осуществления производственного процесса без непосредственного вмешательства человека в работу оборудования. В обязанности человека входит настройка машины или группы машин, включение и контроль. Автоматизация – это высшая форма механизации, но вместе с этим это новая форма производства, а не простая замена ручного труда механическим, поэтому следует избегать использования традиционных конструктивных схем, не дублировать движения руки рабочего в механизмах, а искать новые решения, используя возможности автоматических устройств. Таким образом, автоматизация предусматривает пересмотр применяемых технологий, а иногда и конструкцию самого выпускаемого изделия. Она дает экономический эффект только при наличии определенных предпосылок.

При рассмотрении проблем, связанных с автоматизацией, необходимо различать понятие “автоматизация” и “автоматика”. Автоматизация – сложный процесс, который охватывает множество соотношений: технических, научных, специальных, экономических и т. п., ставит их в некое единство, где противоречивые положения сочетаются в целесообразности, обусловленной диалектикой процесса. При разработке автоматического оборудования необходимо решать многие проблемы автоматики: управление, контроль, сбор, переработка информации и др. Автоматика как научная дисциплина связана с изучением общих закономерностей и условий функционирования и алгоритмов управления для различных технических процессов с целью разработки принципов построения систем автоматического управления. Различие понятий “автоматизация” и “автоматика” иллюстрируется рис. 1.1.



Рис. 1.1 – Соотношение между автоматизацией и автоматикой

В неавтоматизированном производстве все производственные процессы строятся из условий совместной работы человека и машины. Неавтоматизированная рабочая машина, как и указывалось ранее, имеет только механизмы рабочих ходов, а все холостые ходы (зажим, разжим, загрузка и т. п.) совершает человек. Человек своим непосредственным воздействием выбирает и осуществляет последовательность обработки, т. е. программу обработки.

На первом этапе автоматизации осуществлялась автоматизация выполнения рабочего цикла, т. е., создавались полуавтоматы и автоматы. Второй этап автоматизации представляет комплексная автоматизация, когда создаются целые комплексы автоматически работающих машин (автоматические линии, цехи и заводы).

1.2.2. Уровень механизации и автоматизации производства

Часто при анализе производства бывает недостаточно знать, на какой стадии механизации или автоматизации находится тот или иной технологический процесс. Степень механизации и автоматизации определяется уровнем механизации и автоматизации. Оценка уровня механизации и автоматизации осуществляется тремя основными показателями: степенью охвата рабочих механизированным трудом, уровнем механизированного труда в общих трудозатратах и уровнем механизации и автоматизации производственных процессов.

Для механических и сборочных цехов эти показатели определяются по следующим формулам [17].

Степень охвата рабочих механизированным трудом (в %)

$$C_{\text{м}} = \frac{P_{\text{м}}}{P_{\text{м}} + P_{\text{м.р}} + P_{\text{р}}} 100 = \frac{P_{\text{м}}}{P} 100. \quad (1.1)$$

Уровень механизированного труда в общих трудозатратах (в %)

$$Y_{\text{м.т}} = \frac{T_{\text{м}}}{T_{\text{м}} + T_{\text{м.р}} + T_{\text{р}}} 100 \approx \frac{\Sigma P_{\text{а}} K}{P_{\text{м}} + P_{\text{м.р}} + P_{\text{р}}} 100 = \frac{\Sigma P_{\text{а}} K}{P} 100. \quad (1.2)$$

Уровень механизации и автоматизации производственных процессов (в %), отражающий качественную сторону механизации, рассчитывают по формуле:

$$Y_{\text{н}} = \frac{\Sigma P_{\text{а}} K \cdot \Pi \cdot M}{\Sigma P_{\text{а}} K \cdot \Pi \cdot M + P_{\text{м.р}} + P_{\text{р}}} 100, \quad (1.3)$$

но

$$P_{\text{м.р}} + P_{\text{р}} = P \left(1 - \frac{Y_{\text{м.т}}}{100} \right); \quad (1.4)$$

тогда формула примет вид:

$$Y_{\text{н}} = \frac{\Sigma P_{\text{а}} K \cdot \Pi \cdot M}{\Sigma P_{\text{а}} K \cdot \Pi \cdot M + P \left(1 - \frac{Y_{\text{м.т}}}{100} \right)} 100. \quad (1.5)$$

Процент возрастания производительности труда в данном цехе (на предприятии, на участке) за счет его механизации P_p определяют по формуле:

$$P_p = \left[\frac{(100 - Y_{м.м_2})(100 - Y_{н_1})}{(100 - Y_{м.м_1})(100 - Y_{н_2})} - 100 \right] \frac{C_{м_2}}{C_{м_1}}, \quad (1.6)$$

где индекс 1 соответствует показателям, полученным до проведения механизации, а индекс 2 – после механизации.

В формулах приняты следующие обозначения: P_m – число рабочих, выполняющих работу механизированным способом; P – общее число рабочих на рассматриваемом участке (в цехе); $P_{м.р}$ – число рабочих, выполняющих работу при помощи ручного механизированного инструмента; P_p – число рабочих, выполняющих работу вручную; T_m – время механизированного труда в процессе; T_p – время ручного труда в процессе; $T_{м.р}$ – время труда с применением ручного механизированного инструмента; P_a – число рабочих (во всех сменах) на данном рабочем месте, занятых механизированным трудом; $\Sigma P_a = P_m$ – число рабочих (во всех сменах) на участке (в цехе), занятых механизированным трудом; K – коэффициент механизации, выражающий отношение времени механизированного труда к общим затратам времени на данном рабочем месте; P – коэффициент производительности оборудования, характеризующий отношение трудоемкости изготовления детали на универсальном оборудовании с наименьшей производительностью, принятом за базу (T_0), к трудоемкости изготовления этой детали на действующем оборудовании (T_1); M – коэффициент обслуживания, зависящий от количества единиц оборудования, обслуживаемого одним рабочим (при обслуживании оборудования несколькими рабочими M меньше единицы).

Система трех основных показателей уровня механизации и автоматизации производственных процессов позволяет:

- а) оценивать состояние механизации и автоматизации производства и вскрывать резервы для повышения производительности труда;
- б) сравнивать уровни механизации (автоматизации) родственных заводов и отраслей машиностроения и приборостроения;

в) сравнивать уровни механизации соответствующих объектов по периодам внедрения и тем самым определять состояние механизации и направления дальнейшего совершенствования производственных процессов;

г) планировать уровни механизации.

Наряду с приведенными основными показателями при анализе степени механизации и автоматизации отдельных видов производства на ряде предприятий уровень механизации определяется степенью экономии затрат труда, т. е. степенью повышения производительности труда.

Критерий уровня механизации должен количественно характеризовать, в какой мере на данной стадии механизации используются возможности экономии затрат труда, т. е. роста производительности труда, открываемые полной, комплексной механизацией производства.

Критерий уровня механизации (в %)

$$\alpha_m = \frac{\Delta t_{ч.м}}{\Delta t_{н.м}} 100 = \frac{t_p - t_{ч.м}}{t_p - t_{н.м}} 100, \text{ чел.}\cdot\text{ч/шт}, \quad (1.7)$$

где $\Delta t_{ч.м}$ – экономия рабочего времени при частичной механизации в чел.·ч/шт; $\Delta t_{н.м}$ – экономия рабочего времени при полной механизации в чел.·ч/шт; t_p – трудоемкость изделия при изготовлении его немеханизированным способом в чел.·ч/шт; $t_{ч.м}$ – то же, в условиях рассматриваемого уровня частичной механизации в чел.·ч/шт; $t_{н.м}$ – то же, в условиях полной, комплексной, механизации в чел.·ч/шт.

Критерий α_m изменяется в пределах $0 \leq \alpha \leq 1$. При $\alpha_m = 0$ имеет место ручной труд. При $\alpha_m = 1$ осуществлена полная, комплексная механизация производства. Следует отметить, что критерий α_m учитывает рост производительности труда.

Обозначив через p производительность труда и подставив в формулу для α_m вместо величин трудоемкостей величины $1/p$ с соответствующим индексом, получим

$$\alpha_m = \frac{t_p - t_{ч.м}}{t_p - t_{н.м}} 100 = \frac{1 - \frac{P_p}{P_{ч.м}}}{1 - \frac{P_p}{P_{н.м}}} 100, \quad (1.8)$$

где p_p – производительность в условиях ручного труда; $p_{ч.м}$ – то же, в условиях частичной механизации производства; $p_{н.м}$ – то же, в условиях полной, комплексной механизации производства. Критерий уровня автоматизации производства (в %) определяют аналогично формуле (1.8):

$$\alpha_a = \frac{\Delta t_{ч.а}}{\Delta t_{н.а}} 100 = \frac{t_{н.м} - t_{ч.а}}{t_{н.м} - t_{н.а}} 100, \quad (1.9)$$

где $\Delta t_{ч.а}$ – экономия рабочего времени при частичной автоматизации в чел.·ч; $\Delta t_{н.а}$ – экономия рабочего времени при полной автоматизации в чел.·ч; $t_{н.м}$ – трудоемкость изготовления рассматриваемого изделия в условиях полной, комплексной механизации его производства в чел.·ч; $t_{ч.а}$ и $t_{н.а}$ – трудоемкость изготовления этого изделия при частичной ($t_{ч.а}$) и полной ($t_{н.а}$) автоматизации его производства в чел.·ч.

1.2.3. Классификация автоматического оборудования и технологических процессов

Классификация автоматического оборудования и производственных подразделений может быть представлена в следующем виде:

Полуавтомат – такая единица оборудования, на котором без непосредственного участия человека, т.е. автоматически, осуществляется выполнение всех операций по непосредственному воздействию на предметы труда (обрабатываемые заготовки). Повторение операций обработки (сборки) требует вмешательства человека для установки заготовки (детали), снятия ее и пуска оборудования. Основным недостатком полуавтоматического оборудования является нарушение непрерывности технологического процесса, которое производится как бы внутри самой машины и поэтому ведет к ряду весьма отрицательных последствий.

Автомат – такая единица оборудования, на которой без непосредственного участия человека, т. е. автоматически, выполняются все работы, для которых она предназначена. В автоматах человек заполняет загрузочные устройства заготовками (детальями), налаживает автомат, контролирует обработку и осуществляет подналадку, а также смену инструмента и удаление отходов. На некоторых автоматах конт-

роль обработки, подналадка автомата по результатам контроля, а также смена инструментов и удаление отходов осуществляются автоматически.

Понятия “автомат” и “полуавтомат” иллюстрируются схемой (рис. 1.2):

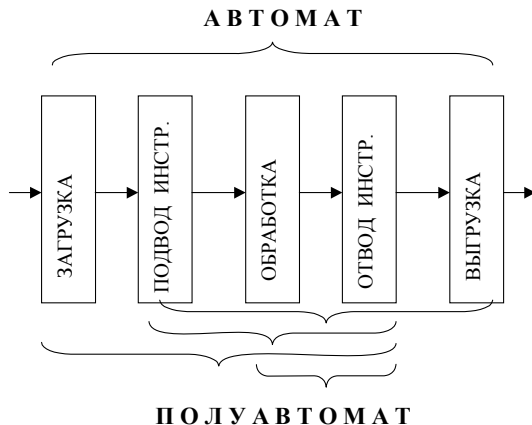


Рис. 1.2 – Иллюстрация понятий “автомат” и “полуавтомат”

Таким образом, автомат – это машина, которая самостоятельно выполняет более одного рабочего цикла. Из приведенного определения автомата следует, что в этом типе оборудования человек удален из сферы производства, его непосредственная связь с оборудованием нарушена, производственный процесс идет непрерывно, останавливаясь только для периодической загрузки, контроля, подналадки оборудования, а иногда только одной наладки.

Поточная линия – такой производственный участок, на котором постоянно или периодически изготавливается один или несколько видов изделий, при этом рабочие места (станки, рабочие машины, стенды и т.д.), специализированные на выполнение одной или нескольких однотипных операций, расположены по ходу технологического процесса (в линию, которая может быть не прямой). Любая поточная линия во всех случаях характеризуется прямоточностью, т.е. изготавливаемое изделие проходит последовательно все операции технологического процесса, что иллюстрируется рис. 1.3.

В механизированных поточных линиях большая часть операций производственного процесса выполняется механизмами, машинами и другими видами оборудования и, кроме того, механизированы

процессы перемещения предмета труда (заготовок, деталей, исходного материала) от одного рабочего места к другому. При этом в отдельных случаях допускается перемещение предмета труда вручную. В комплексно-механизированных поточных линиях все операции производственного процесса выполняются механизмами, машинами и другими видами оборудования с равной или кратной производительностью, а также механизированы процессы перемещения предмета труда от одного рабочего места к другому.

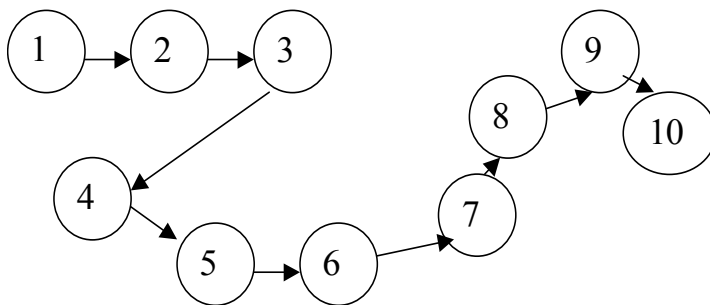


Рис. 1.3 – Иллюстративная схема поточной линии

Автоматическая линия представляет собой группу станков-автоматов, объединенных общими транспортными устройствами с единым темпом и общей системой управления, осуществляющих без участия человека в определенной технологической последовательности комплекс операций части производственного процесса. В автоматических линиях человек выполняет только наладку, наблюдение и регулирование, а в некоторых случаях – контроль обработки и подналадку, смену инструмента при износе (затуплении), а также начальные загрузочные или конечные разгрузочные операции.

Комплексно-механизированный завод (цех, участок) – завод (цех, участок), где все технологические процессы основного и вспомогательного производства, транспортные, погрузочно-разгрузочные и складские работы (внутризаводские, внутрицеховые), удаление отходов производства, уборка помещений и территорий, подготовка и управление производством (подготовка технической документации, планирование, диспетчеризация, учет и др.) выполняют работники завода, использующие машины, механизмы, приборы, аппараты и другие средства механизации. При этом в отдельных подразделениях допускается ручной труд.

Автоматизированный завод (цех, участок) – завод (цех, участок), в котором технологические процессы основного производства осуществляются с помощью автоматов, автоматических линий и других средств автоматизации, а вспомогательные работы и процессы (работы по инструментальному производству, служб главного механика и энергетика, транспортные, погрузочно-разгрузочные, складские), уборка помещений и территорий, подготовка и управление производством выполняются работниками различных служб с помощью машин, механизмов, приборов, аппаратов и других средств механизации с элементами автоматизации отдельных работ. При этом труд на отдельных операциях, процессах и в отдельных подразделениях может быть механизированным и ручным.

Комплексно-автоматизированный завод (цех, участок) – завод (цех, участок), в котором выполнение всех технологических процессов основного и вспомогательного производства осуществляется при помощи автоматического оборудования и устройств, а человек выполняет только функции централизованного наблюдения, регулирования и управления ходом заданного технологического процесса. При комплексно-автоматизированном производстве допускается на отдельных процессах и в подразделениях механизированный и ручной труд. Это возможно там, где механизация и автоматизация на данном этапе по технико-экономическим соображениям нецелесообразна.

Общим недостатком традиционных средств автоматизации следует признать узкую ориентацию станков и поточных линий на изготовление определенного вида изделий. В связи с этим подобные средства можно использовать только там, где производство носит массовый, устойчивый характер. В промышленно развитых странах крупносерийное и массовое производство составляет лишь 20 %, а единичное, мелкосерийное и серийное производство – 80 %. В целях разрешения противоречий, обусловленных, с одной стороны, мелкосерийностью объектов производства, а с другой, крупными масштабами самого производства, были введены методы групповой технологии.

Следующим шагом на пути автоматизированного производства является разработка программируемых и за счет этого **перенастраиваемых средств**, т.е. **гибкого оборудования**. К ним относятся станки с числовым программным управлением, в том числе обрабатывающие центры, промышленные роботы и другие виды оборудования. Еще большей гибкостью обладают системы из гибких (по управлению) элементов, управляемые ЭВМ как единым целым.

Таким образом, возникло **гибкое автоматическое производство** (ГАП) под которым понимается производственная единица (ли-

ния, участок, цех, завод) функционирующая на основе *безлюдной технологии*, работа всех производственных компонентов которой (технологического оборудования, складских и транспортных систем, участков комплектования и др.) координируется как единое целое многоуровневой системой управления, обеспечивающей изменение программы функционирования компонентов ГАП и тем самым быструю перестройку технологии изготовления при смене объектов производства. Гибкое автоматическое производство рассчитано на выпуск серийных, мелкосерийных и единичных изделий. В производственном процессе ГАП человек не принимает непосредственного участия; ГАП функционирует на основе программного управления и групповой организации производства.

К преимуществам ГАП механической обработки по сравнению с участками, составленными из универсальных станков, следует отнести:

- резкое увеличение производительности труда в процессе изготовления единичной и мелкосерийной продукции (благодаря более высокой загрузке оборудования);
- быстрое реагирование на изменение требований заказчиков;
- существенное повышение качества продукции за счет устранения ошибок и нарушений технологических режимов, неизбежных при ручном труде;
- сокращение времени производственного цикла в несколько раз;
- уменьшение капитальных вложений, площадей и численности обслуживающего персонала прежде всего за счет трехсменного режима работы, при этом две смены ведутся практически только под наблюдением оператора;
- снижение объема незавершенного производства;
- повышение эффективности управления за счет исключения человека из производственного процесса;
- улучшение условий труда, устранение сложных, трудоемких и тяжелых операций, освобождение человека от малоквалифицированного и монотонного труда.

Более подробно гибкое автоматическое производство рассмотрено в [1].

Классификация технологических процессов и оборудования машиностроительного и приборостроительного производств. Технологический процесс заключается в осуществлении определенного взаимодействия между предметом труда (заготовками, деталями) и орудием труда (инструментом) или рабочей средой (химическая среда, нагретый воздух или газ и т. п.). С точки зрения пригодности техноло-

гического процесса к автоматизации и сложности осуществления последней все применяемые в машиностроительном и приборостроительном производствах процессы можно разбить на два основных и два переходных класса. Эта классификация приводится в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Потребность ориентации:	Класс			
	I основной	I переходный	II переходный	II основной
заготовки (детали)	да	да	нет	нет
инструмента	да	нет	да	нет

К первому основному классу относятся процессы, которые требуют ориентации заготовки (детали) и характеризуются наличием обрабатывающего инструмента, который также должен быть ориентирован в пространстве. Ко второму основному классу относятся процессы, которые не требуют ориентации заготовки (детали), в них вместо обрабатывающего инструмента используют рабочую среду. К первому переходному классу относятся процессы, которые требуют ориентации заготовки (детали), но инструмент отсутствует, и его роль выполняет рабочая среда. Ко второму переходному классу относятся процессы, которые не требуют ориентации заготовки (детали), но в них участвует обрабатывающий инструмент, имеющий заданную ориентацию. К процессам первого основного класса относятся обработка резанием, давлением, а также сборка, контроль (вместо обрабатывающего инструмента в этом случае используют инструмент для сборки или измерительный инструмент); к процессам первого переходного класса – нанесение местных покрытий, контроль твердости намагничиванием и т. п. К процессам второго основного класса относятся термическая обработка, галтовка, мойка, сушка и т. п., а второго переходного класса – производство деталей из пресс-порошков, производство металлокерамических и керамических деталей и т. п. Процессы, относимые ко второму основному и переходному классам автоматизировать проще, нежели процессы первого основного и переходного классов.

Рабочие машины автоматизированного производства по степени непрерывности разбивают на три класса: дискретные, непрерывные и квазинепрерывные.

Машины дискретного действия (рис. 1.4, а) требуют остановки предмета труда на рабочей позиции на период выполнения рабочего процесса. Производительность таких машин

$$Q = \frac{1}{T_{\text{ц}}} = \frac{1}{t_{\text{м}} + t_{\text{х}} + t_{\text{з}} + t_{\text{о}} + t_{\text{мп}}}, \quad (1.10)$$

где $T_{\text{ц}}$ – время цикла; $t_{\text{м}}$ – машинное время; $t_{\text{х}}$ – время холостого хода; $t_{\text{з}}$ – время фиксации и зажима; $t_{\text{о}}$ – время освобождения (разжима и расфиксации); $t_{\text{мп}}$ – время транспортирования.

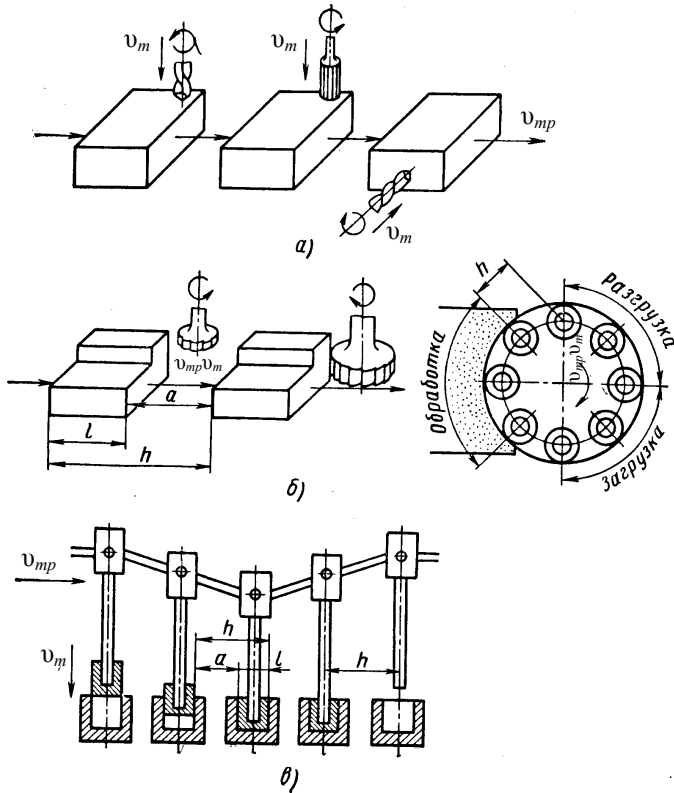


Рис. 1.4 – Схемы дискретных (а), непрерывных (б) и квазинепрерывных технологических машин (в)

Машины непрерывного действия (рис. 1.4, б) характеризуются тем, что орудия труда занимают заданные им положения (т. е. они не-

подвижны), а предмет труда непрерывно движется в процессе обработки. Производительность машин этого класса:

$$Q = \frac{v_m}{h} = \frac{v_m}{l + a}, \quad (1.11)$$

где v_m – скорость технологического движения; l – размер заготовки (детали), измеренный в направлении ее движения; a – расстояние между двумя заготовками (детальями).

Машины квазинепрерывного действия (рис. 1.4, в) характеризуются тем, что предмет и орудие непрерывно перемещаются. Производительность машин этого класса:

$$Q = \frac{v_{mp}}{h} = \frac{v_{mp}}{l + a}, \quad (1.12)$$

где v_{mp} – скорость транспортного движения. Значения размеров l и a приведены ранее.

Квазинепрерывные машины позволяют повысить производительность и занимают промежуточное место между машинами дискретного и непрерывного действия. В квазинепрерывных машинах скорости транспортного и технологического движений независимы друг от друга. Наибольшую точность обработки дают машины дискретного действия, а наименьшую – квазинепрерывные.

По принципу управления автоматические рабочие машины могут быть разделены на циклические, рефлекторные, самонастраивающиеся.

Циклические автоматические машины и системы машин – здесь выполняется жестко заданная программа производственного цикла без контроля в процессе ее выполнения. За человеком в этих машинах остаются функции контроля, наблюдения, регулирования и программирования производственного процесса. Этот тип машин характеризуется жестким ритмом процесса. Здесь $x = f(t)$.

Рефлекторные автоматические машины и системы машин – здесь управление и контроль хода производственного процесса осуществляется в соответствии с заданной постоянной программой, в которой каждая последующая команда выполняется после завершения предыдущей. При этом человек освобождается как от функции управления, так и от контроля качества продукции. Изменение программы или условий ее выполнения осуществляется человеком. Здесь команда управления $x_i = f(y_{i-1})$.

Самонастраивающиеся автоматические машины и системы машин – в них по заданным конечным параметрам производственного процесса и в зависимости от совокупности условий автоматически изыскивается и производится необходимое (или даже оптимальное) управление процессом, т. е. человек освобождается (целиком или частично) и от программирования. Работа этих машин связана с применением тех или иных электронно-вычислительных машин и устройств для управления и контроля. Команда управления $x = f(y, F, t)$.

В циклических машинах отсутствуют обратные связи и поэтому точность управления довольно низка. Рефлекторные автоматические машины позволяют повысить точность за счет введения обратных связей. Они успешно применяются для сравнительно простых процессов. Для сложных процессов, где на результаты процесса влияет значительное количество различных факторов, приходится применять самонастраивающиеся системы. Они значительно сложнее, используют несколько каналов обратной связи, что позволяет повысить эффективность управления, но стоимость таких систем выше, а надежность достигается дальнейшим усложнением.

1.2.4. Основные предпосылки автоматизации в машиностроении и приборостроении

Важнейшей объективной предпосылкой, определяющей возможность использования передовой техники производства, и, в частности, средств автоматизации, является достаточный объем выпуска однородной продукции на данном предприятии и ее стабильность. Важным средством решения этой задачи является специализация производства на изготовлении как определенных типов изделий, так и отдельных сборочных единиц и деталей к ним на базе наибольшей нормализации и стандартизации. Весьма важно проектирование новых изделий осуществлять с учетом созданных ранее, т. е. необходима преемственность конструкции, единообразие их, унификация как родственных изделий, так и сборочных единиц и деталей, имеющих одинаковое служебное назначение. Не менее важным является унификация отдельных элементов, деталей.

Унификация деталей в любом изделии оценивается с помощью коэффициента применяемости сборочных единиц и деталей

$$K_{np} = \frac{\Sigma_c + \Sigma_n + \Sigma_z}{\Sigma_c + \Sigma_n + \Sigma_z + \Sigma_o} 100. \quad (1.13)$$

Коэффициент применяемости заимствованных деталей (без учета покупных и стандартизованных), характеризующий степень унификации данного изделия по оригинальным деталям

$$K_{np.z} = \frac{\Sigma_z}{\Sigma_c + \Sigma_n + \Sigma_z + \Sigma_o} 100. \quad (1.14)$$

В формулах приняты обозначения: Σ_c , Σ_n , Σ_z и Σ_o – количество наименований типоразмеров деталей соответственно стандартизованных (в том числе нормализованных по действующим нормалям), покупных, заимствованных, оригинальных.

Очевидно, чем выше значения K_{np} и $K_{np.z}$ по данной машине (прибору), тем выше степень ее унификации. Наряду с коэффициентом применяемости следует определять коэффициент повторяемости

$$K_n = \frac{\Sigma_{c.ш} + \Sigma_{n.ш} + \Sigma_{z.ш} + \Sigma_{o.ш}}{\Sigma_c + \Sigma_n + \Sigma_z + \Sigma_o}, \quad (1.15)$$

где $\Sigma_{c.ш}$, $\Sigma_{n.ш}$, $\Sigma_{z.ш}$, $\Sigma_{o.ш}$ – общее количество деталей по группам, входящих в изделие, в штуках. Коэффициент K_n всегда больше единицы.

Исключительное значение для решения проблемы автоматизации имеет комплексность разработки конструкции изделий и методы их изготовления, т. е. технологичность.

Технологичность конструкций – это свойство отдельных деталей, сборочных единиц и изделия в целом, которое для данных условий завода, данного масштаба выпуска и данных тактико-технических требований к изделию обеспечивает наиболее быстрое и экономичное освоение его в производстве, а также рациональное его изготовление.

Специфика автоматизации требует особого конструктивного оформления изделий, и эта задача решается в каждом конкретном случае самостоятельно. Ряд рекомендаций по технологичности изделий (сборочных единиц, деталей) приведен в книге [15].

Для решения проблемы автоматизации не менее важное значение, особенно для серийного производства, имеет унификация технологических процессов.

Существует два направления унификации технологических процессов: метод типизации процессов и метод групповой технологии [11, 20].

Особое значение для автоматизации имеет метод групповой обработки, позволяющий в условиях серийного и мелкосерийного производства широко использовать прогрессивные методы обработки и сборки и их автоматизацию. Степень автоматизации и механизации производственных процессов находится в тесной связи с формами их организации.

Между уровнем техники производства и формами его организации существует органическое единство: совершенствование техники, прежде всего орудий труда, порождает новые формы организации производства, а появление последних создает предпосылки для дальнейшего развития техники. Степень совершенствования организации производства зависит от того, насколько полно воплощены принципы специализации, пропорциональности, параллельности, точности, непрерывности и ритмичности.

Приведенные предпосылки механизации и автоматизации позволяют сделать следующие выводы:

1. Основой автоматизации является технологический процесс, который должен быть прогрессивным; интенсификация технологических процессов обработки и сборки позволяет резко повысить производительность и тем самым обеспечить внедрение новой техники.

2. Автоматизацию следует внедрять при всех типах производства, но способы осуществления, т. е. используемые орудия производства, организация производства, характер технологических решений (работа по индивидуальным или унифицированным процессам) зависят от типа производства и определяются им.

3. Существенное значение в условиях серийного и мелкосерийного производства имеет работа по унифицированным технологическим процессам (групповым и типовым).

4. Конструктивное оформление изделий (сборочных единиц, деталей) должно учитывать возможность осуществления автоматизированного производства.

1.3. Производственный процесс и его элементы

Современное машиностроительное предприятие представляет собой сложный комплекс, который должен обеспечивать бесперебойное функционирование всех элементов производственного процесса (рис. 1.5).

Производственный процесс в машиностроении состоит из трех основных фаз: заготовительной, обработочной и сборочной.

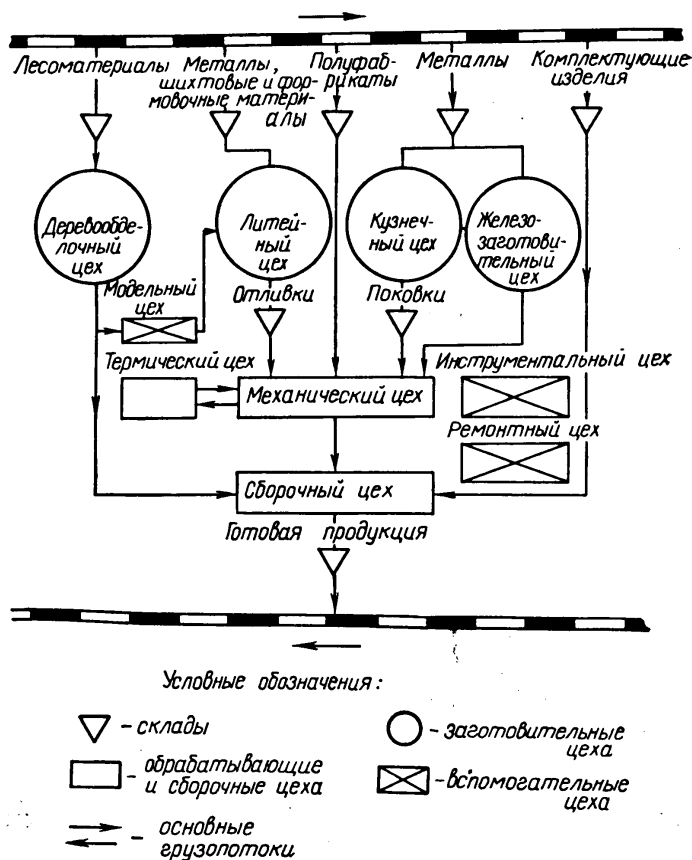


Рис. 1.5 – Структурная схема машиностроительного завода

Основной объем обработки выполняется в механических цехах, где заготовки, проходя механическую обработку, приобретают необходимую конфигурацию, точность и чистоту. Процессы механической обработки, начиная от черновых, обдирочных операций и кончая чистовыми, окончательными, очень многообразны и могут выполняться последовательно на многих станках в поточных или автоматических линиях. Между отдельными операциями механической обработки производится термообработка либо в специальных термических цехах, либо на участках термической обработки соответствующих механических цехов. В сборочных цехах готовые детали собирают в ме-

ханизмы и узлы; они проходят контроль, общую сборку, окончательный контроль, испытания, упаковку, консервацию и т. д. Заготовки основных деталей производят в заготовительных цехах: литейном, кузнечном и т. д. Комплекс литейного производства включает в себя и модельный цех.

Металл в кузнечно-штамповочные цеха поступает либо непосредственно с железнодорожных складов, либо из железозаготовительного цеха, где происходит раскрой листов, резка или рубка пруткового материала на штучные заготовки и т. д.

Для поддержания нормального хода производственного процесса существует целый ряд вспомогательных цехов: ремонтные, инструментальные и т. д. В ремонтных цехах производится обычно капитальный ремонт всего технологического оборудования, действующего на заводе, а также его модернизация. Задачей инструментального цеха является бесперебойное снабжение всех обрабатывающих цехов инструментом, штампами, приспособлениями и т. д.

Как показывает схема (рис. 1.5), для нормального функционирования производственного процесса нужна развитая система транспортирования и хранения заготовок, полуфабрикатов и готовых изделий. Современное машиностроительное предприятие имеет развитую систему грузопотоков, связывающих между собой различные цеха и службы предприятия. Некоторые основные грузопотоки показаны на рис. 1.5. Различают системы транспорта: межцехового – между отдельными цехами, внутрицехового – между участками и межстаночного – между отдельными станками в пределах одного технологического потока изготовления детали или узла.

Одной из характерных особенностей технического прогресса на современном этапе развития является широкое внедрение автоматизации во все элементы производственного процесса предприятия.

До недавнего времени основным направлением автоматизации в машиностроении была автоматизация технологических процессов механической обработки: создание токарных, шлифовальных, фрезерных автоматов и полуавтоматов, агрегатных станков и автоматических линий из агрегатных станков и т. д. Такое направление в конечном итоге приводит к созданию автоматизированных участков и цехов, что позволяет резко сократить количество производственных рабочих, непосредственно занятых обслуживанием станков.

В последние годы широко развернуты работы по автоматизации процессов контроля и сборки, созданию контрольных и сборочных автоматов и автоматических линий для сборки. Автоматизация этих процессов позволяет, в первую очередь, повысить качество изготавливаемых изделий, особенно в отраслях производства с большими мас-

штабами выпуска (подшипники, электровакуумные приборы, радиоэлементы и т. д.). Кроме того, автоматизация контроля и сборки позволяет устранить возникшую диспропорцию, когда на контроле и сборке готовых изделий занято больше рабочих, чем на их изготовлении.

Большие перспективы имеет внедрение автоматизации в заготовительных цехах: литейном, кузнечном и др., что позволит не только сократить трудоемкость заготовительных процессов, но и значительно облегчить условия труда в горячих цехах. Это относится прежде всего к литейным цехам, где автоматизируются процессы формовки, заливки металла, остывания, выбивки отливок и возврата опок к формовочным машинам. Решающая роль принадлежит автоматизации при внедрении прогрессивных заготовок с минимальными припусками на механическую обработку. Как правило, все технологические процессы получения прогрессивных заготовок методами профильного проката, холодной штамповки и т. д. имеют высокую степень механизации и автоматизации.

Автоматизация все больше проникает во вспомогательные цеха (инструментальный, ремонтный и др.), продукция которых является индивидуальной и серийной даже при массовом характере основного производства. Развитие электроискровой обработки позволило решить проблему автоматизированного изготовления штампов и других сложных изделий. Станки с программным управлением эффективны и в условиях серийного производства.

Автоматизация технологических процессов обработки и сборки приводит к значительному сокращению количества рабочих в основных цехах. В результате основная масса производственных рабочих сосредотачивается не на основных процессах производства, а на вспомогательных и обслуживающих. Так, например, в 1961 г. на заводе ЗИЛ на погрузочно-разгрузочных, складских и транспортных работах было занято 31 % всех рабочих, на первом Государственном подшипниковом заводе – 34 %. Поэтому в последнее время автоматизация все больше выходит за рамки автоматизации технологических процессов обработки, охватывая все звенья производственного процесса, что позволяет решать задачи автоматизации в комплексе, повышать эффективность средств, вкладываемых в автоматизацию.

Высокоэффективными являются не только работы по механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ. В равной степени это относится и к межцеховой и внутрицеховой транспортировке изделий, накоплению и расходованию межоперационных заделов.

Для транспортировки изделий между цехами и участками все большее применение получают различного типа конвейеры, в том числе конвейеры с автоматическим адресованием, с программным управ-

лением. Все более сложными и совершенными становятся транспортирующие системы автоматических линий, предусматривающие не только межстаночную транспортировку, но и хранение заделов в автоматических магазинах-накопителях.

Важнейшей задачей является автоматизация управления предприятием и, прежде всего, сбора и обработки текущей информации о состоянии всех звеньев производственного процесса, системы учета и оперативного планирования. Эта проблема решается при помощи компьютерной техники, которая решает не только арифметические, но и логические задачи, рассчитывая оптимальные условия функционирования производственного процесса.

Таким образом, в настоящее время существуют технические возможности автоматизации всех элементов производственного процесса. Поэтому особенно актуальной сейчас становится проблема правильного определения очередности работ по автоматизации, исходя из условий высокой их эффективности. Практика показывает, что чем ниже техническая оснащенность данного звена производственного процесса, тем больше резервы сокращений живого труда, тем эффективнее автоматизация.

Если ввести понятие коэффициента технической вооруженности K , показывающего, сколько техники приходится на каждого рабочего (отношение ее стоимости к годовому фонду зарплаты), то такой показатель будет иметь самые различные значения по различным звеньям производственного процесса. Так, например, на автоматических линиях величина K находится в пределах 15...25, на поточных линиях механической обработки – 1...3, а на погрузочно-разгрузочных и складских работах – 0,01...0,1. Отсюда различный уровень эффективности работ по автоматизации.

Так, например, автоматическая линия средней сложности, внедряемая взамен поточной линии, окупается в лучшем случае через 2-3 года, высвобождая 20-30 рабочих. Такое же количество рабочих можно высвободить, применив на погрузочно-разгрузочных работах 2-3 автопогрузчика, стоимость которых в 30 – 40 раз ниже, чем автоматической линии.

Успехи автоматизации в различных стадиях и звеньях производственного процесса создают условия для комплексной автоматизации производственных процессов.

Таким образом, этапы автоматизации производственного процесса можно сформулировать следующим образом:

- 1) автоматизация рабочего цикла, когда создаются машины-автоматы;

2) автоматизация системы машин, приводящая к созданию автоматических линий;

3) комплексная автоматизация производственных процессов, позволяющая создавать автоматические цехи и заводы.

Вместе с тем, целесообразность и очередность проведения автоматизации производственных процессов определяется следующими показателями:

1. Экономической целесообразностью и эффективностью.
2. Достижимой безопасностью работы и окружения.
3. Общим уровнем автоматизации.

1.4. Основные положения теории производительности

Автоматизация технологического оборудования, использующая новейшие достижения вычислительной техники, автоматике, теории управления и др., обеспечивает технический прогресс и является мощным рычагом для увеличения производительности труда. Однако не всякое новое оборудование является экономически эффективным для производства. Например, оснащение универсального металлорежущего станка сравнительно несложным механизмом, автоматизирующим рабочий ход, позволяет ввести многостаночное обслуживание. Если один станочник будет обслуживать два станка, то получается экономия до 50 % зарплаты обслуживающего персонала (рис. 1.6). Дальнейшая автоматизация универсального оборудования превратит станки в автоматы, объединит их в поточную линию, а затем и в автоматическую. Переход от поточной линии к автоматической позволит, например, увеличить количество станков Z , обслуживаемых одним

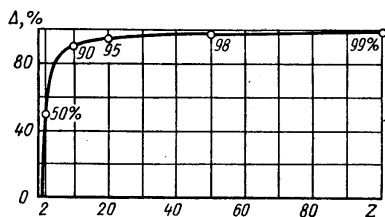


Рис. 1.6 – Зависимость экономии фонда заработной платы Δ производственных рабочих от числа станков Z , обслуживаемых одним рабочим

рабочим, с 50 до 100 шт., а экономии по заработной плате при этом получить всего лишь на 1 %. При всем этом потребуются введение сложного дорогостоящего комплекса автоматических устройств (автоматический транспорт, магазины-накопители, общая система управления, контрольные и блокировочные устройства и т. д.). Очевидно, что второй вариант для условий небольшого срока эксплуатации будет нерентабельным, хотя ав-

томатическая линия оснащена новейшим оборудованием. Таким образом, кроме технических требований новое оборудование должно отвечать определенным экономическим требованиям, поэтому для оценки экономической эффективности необходим обобщенный критерий, связывающий технические характеристики машины с экономическими требованиями.

Существует несколько точек зрения на то, какому общему критерию должна отвечать новая техника. Одним из распространенных критериев является срок окупаемости, который определяется при сопоставлении капиталовложений и себестоимости выпускаемой продукции с существующей. Этот критерий оценки экономической эффективности лежит в основе методики, предложенной еще Госкомитетом по науке и технике Совета Министров и Академией наук СССР.

Срок окупаемости новой техники:

$$n_o = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} \leq n_n, \quad (1.16)$$

где K_2 и K_1 – соответственно капиталовложения на новую автоматизированную и существующую машины в рублях; C_2 и C_1 – себестоимость продукции, выпускаемой на новой и существующей машинах, в рублях; n_n – нормативное число лет (для каждой отрасли свое), в течение которого должна окупиться новая машина.

Если расчетный срок окупаемости меньше нормативного, то автоматизация считается экономически эффективной и затраты на нее целесообразными.

Применение рассмотренной выше методики возможно только после изготовления в металле новых средств, когда становятся известными различные калькуляционные коэффициенты, входящие в формулу срока окупаемости. Методика проста, так как для определения различных затрат используются имеющиеся таблицы и номограммы, и дает хорошую количественную оценку сравниваемого варианта. Однако она не позволяет оценить, насколько удачно решена новая машина с конструктивной и технологической точек зрения, удобна ли в эксплуатации, экономична ли в работе и т. д. Ее нельзя использовать для прогнозирования развития новых средств автоматизации.

Наиболее объективным критерием оценки новых средств автоматизации является производительность труда Π_m , которая определяется отношением количества выпущенной продукции W (в штуках,

единицах длины, объеме) в определенный интервал времени к трудовым затратам на ее изготовление T [17]:

$$\Pi_m = \frac{W}{T}. \quad (1.17)$$

Количество выпущенной продукции зависит от времени эксплуатации техники и при неизменном годовом выпуске продукции Q определяется выражением:

$$W = NQ, \quad (1.18)$$

где N – календарное время эксплуатации в годах.

В трудовые затраты входят средства, затраченные на проектирование и изготовление, транспортировку, установку и наладку оборудования и оснастки, а также на постройку здания или сооружения, где ее устанавливают. Эти средства расходуют до введения оборудования в эксплуатацию и они не зависят от длительности работы оборудования. Другая часть затрат включает расходы на заработную плату обслуживающего персонала, а также затраты, связанные с покупкой и эксплуатацией режущего и измерительного инструмента, ремонтом оборудования, приобретением заготовок, затраты на энергию, вспомогательные материалы, является переменной величиной и зависит от N . Таким образом

$$T = T_n + (T_o + T_{ж})N, \quad (1.19)$$

где T_n – единовременные затраты прошлого труда на оборудование, здание, сооружение и т. д.; T_o – годовые текущие затраты прошлого труда на материалы, инструмент, ремонт, энергию и др.; $T_{ж}$ – годовые текущие затраты живого труда, связанные с обслуживанием машин.

Используя выражения (1.17), (1.18) и (1.19), получим

$$\Pi_m = \frac{NQ}{T_n + (T_o + T_{ж})N}. \quad (1.20)$$

Эта формула показывает, от каких затрат и в какой степени зависит производительность труда. Из формулы также видно, что в период ввода в эксплуатацию (N близко к нулю) новая техника обеспечивает низкий уровень производительности труда.

Все затраты прошлого труда, текущие и единовременные, могут быть реализованы лишь через живой труд, поэтому чаще производительность выражают через затраты живого труда:

$$\Pi_m = \frac{NQ}{[K + (m+1)N]T_{жс}}, \quad (1.21)$$

где $K = T_n / T_{жс}$ характеризует степень технической вооруженности производства; $m = T_o / T_{жс}$ учитывает издержки эксплуатации оборудования.

Эта формула показывает, что с увеличением степени автоматизации количество людей, обслуживающих машину, уменьшается, а количество создающих ее – возрастает. В этом заключается тенденция развития техники.

Технико-экономическое сравнение различных вариантов автоматизации осуществляется через соотношение их производительности труда, которое принято называть коэффициентом роста производительности труда:

$$\lambda = \frac{\Pi_2}{\Pi_1} = \frac{NQ_2[K_1 + N(m_1 + 1)]T_{жс1}}{NQ_1[K_2 + N(m_2 + 1)]T_{жс2}} = \frac{Q_2T_{жс1}[K_1 + N(m_1 + 1)]}{Q_1T_{жс2}[K_2 + N(m_2 + 1)]}, \quad (1.22)$$

где Π_2 и Π_1 – соответственно производительности труда по новому и существующему вариантам.

Если ввести безразмерные коэффициенты: $\varphi = Q_2 / Q_1$, коэффициент роста производительности технологических машин; $\varepsilon = T_{жс1} / T_{жс2}$ – коэффициент, характеризующий сокращение живого труда; $\sigma = T_{n2} / T_{n1}$ – коэффициент, учитывающий изменение стоимости средств производства; $\delta\varphi = T_{v2} / T_{v1}$ – определяет изменение текущих эксплуатационных затрат на единицу продукции, то подставляя эти обозначения в формулу (1.22), выражая K_2 и m_2 , через K_1 и m_1 и разделив числитель и знаменатель на ε , получим:

$$\lambda = \varphi \frac{K + N(m_1 + 1)}{K\sigma + N(m_1\delta\varphi + \frac{1}{\varepsilon})}. \quad (1.23)$$

Из формулы (1.23) видно, что введение автоматизации во втором варианте потребовало увеличения числа людей, занятых в создании средств производства, в σ раз; людей, обеспечивающих эксплуатацию машины, в δ раз, а количество рабочих, непосредственно занятых обслуживанием машины, сократилось в ε раз. Увеличение роста производительности труда достигается путем улучшения технико-экономических показателей: повышения производительности машины (φ), сокращения обслуживающего персонала (увеличение ε), снижения стоимости средств производства (σ), уменьшения расхода инструмента, энергии и т. д. на каждое изготовленное изделие.

На современном этапе развития техники, оснащенной средствами автоматизации, характерным является рост производительности средств производства ($\varphi > 1$), резкое сокращение числа людей, непосредственно обслуживающих эту технику ($\varepsilon > 1$), и увеличение общей стоимости оборудования ($\sigma > 1$).

Основные пути повышения производительности труда при автоматизации. Основные положения теории производительности труда позволяют не только выявить влияние отдельных технико-экономических показателей на увеличение производительности труда, но и показать направления развития автоматизации, по которым должна совершенствоваться техника. Главные из них следующие.

1. Увеличение производительности средств производства, т. е. увеличение φ . Это достигается созданием машин непрерывного действия, применением новых высокопроизводительных технологических процессов и особенно таких, которые невозможны при ручном управлении, с оптимальной дифференциацией и концентрацией технологических процессов; созданием устройств, автоматизирующих рабочие и холостые ходы, инструментов, позволяющих вести обработку на высоких режимах резания; использованием многоинструментальных наладок, устройств для автоматической смены инструмента, средств активного контроля, оргтехники, более современных орудий производства (паяльники, пистолеты для оплетки и вязки жгутов и кабелей, монтажно-координатные столы в сборочных операциях, программные устройства в контрольно-наладочных операциях) и др.

2. Уменьшение затрат живого труда за счет сокращения рабочих, непосредственно обслуживающих машины, т. е. увеличения ε . Это возможно за счет многостаночного обслуживания при автоматизации рабочих, холостых и вспомогательных операций, блокирования машин в автоматические линии, за счет хорошей организации труда и др. Однако автоматизация, позволяющая вводить многостаночное обслуживание, имеет ограниченные возможности, что и отмечалось ранее. Она оказывается более эффективной в отраслях производства с малым значением K , где велики затраты живого труда.

3. Снижение стоимости средств производства, т. е. уменьшение σ . Этот путь требует непрерывного совершенствования технологии изготовления средств производства, применения методов групповой технологии, стандартизации и унификации механизмов, узлов и деталей машин, обеспечивающих снижение их себестоимости. Характерным для этого направления является агрегатное станкостроение, поточные методы производства, унификация средств автоматизации.

Выбор оптимального варианта. С помощью теории производительности труда можно не только прогнозировать перспективность различных направлений автоматизации, но и осуществлять выбор наиболее выгодного варианта автоматизации в зависимости от конкретных условий его применения. Например, производство деталей (сборочных единиц) машин можно выполнить на поточной линии либо на многопозиционном станке, спроектированном для этой цели. Оба варианта имеют свои преимущества и недостатки. Так, поточную линию из универсальных машин можно создать в более короткие сроки и с малыми затратами, но для ее обслуживания потребуются значительные затраты ручного труда на загрузку и снятие заготовок, межстаночную транспортировку, контрольные операции, уборку стружки и т. д. Многопозиционный станок обеспечит повышение производительности труда и сокращение числа непосредственно обслуживающих его рабочих, но потребует больших затрат на проектирование, изготовление и отладку.

Только на основе комплексного учета всех технико-экономических показателей (производительности φ , количества обслуживающих рабочих ε , стоимости σ и др.), а также сроков эксплуатации новой техники можно выбрать оптимальный вариант. На рис. 1.7, а показаны кривые, характеризующие производительность труда по первому и второму вариантам, а также график коэффициента роста производительности труда сравниваемых вариантов в соответствии с формулой (1.23). Если число лет эксплуатации меньше n , то многопозиционный станок из-за большей стоимости невыгоден. В этих условиях произво-

дительность труда Π_2 на станке ниже, чем на поточной линии, коэффициент λ здесь меньше единицы. При сроке эксплуатации с большим n , невыгодной становится поточная линия. В этом случае многопозиционный станок с более высокой производительностью ($\varphi > 1$) и меньшим количеством обслуживающих рабочих ($\varepsilon > 1$) имеет меньшие эксплуатационные затраты, поэтому производительность труда на нем становится более высокой и коэффициент роста производительности λ будет больше единицы.

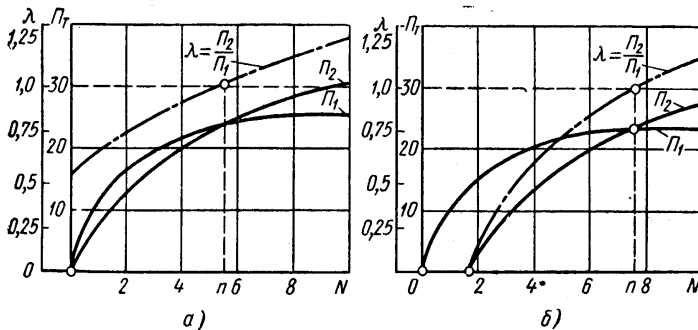


Рис. 1.7 – Рост производительности труда при одновременном вводе в эксплуатацию средств автоматизации (а) и при различных сроках ввода (б)

В рассматриваемом примере имелось в виду, что оба сравниваемых варианта вводятся в эксплуатацию одновременно. Однако на практике часто бывает не так. Более сложный многопозиционный станок требует на проектирование, изготовление и отладку больше времени, чем поточная линия, и вводится он в эксплуатацию, как правило, позже на L лет. Следовательно, производительность труда на нем

$$\Pi = \frac{Q_2(N-L)}{[K_2 + (N-L)(m_2+1)]T_{ж2}}, \quad (1.24)$$

при этом рост производительности сравниваемых вариантов будет

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \frac{N-L}{N} \cdot \frac{[K_1 + N(m_1+1)]T_{ж1}}{[K_2 + (N-L)(m_2+1)]T_{ж2}} = \\ &= \varphi \frac{(N-L)}{N} \cdot \frac{K + N(m+1)}{K\sigma + (N-L)\left(m\delta\varphi + \frac{1}{\varepsilon}\right)} \end{aligned} \quad (1.25)$$

Таким образом, приведенная ранее формула (1.23) является частным случаем формулы (1.25) (при $L = 0$).

На рис. 1.7, б приведены графики изменения Π_2 , Π_1 и $\lambda = \Pi_2 / \Pi_1$, которые показывают, что к моменту ввода в эксплуатацию многопозиционного станка Π_2 производительность поточной линии составляет уже определенную величину (при $N = L$, $\Pi_1 > 0$, $\Pi_2 = 0$ и $\lambda = 0$). Таким образом, формула (1.25) показывает, что, чем длиннее сроки освоения и ввода в эксплуатацию новой техники, тем ниже производительность труда. Поэтому даже самый совершенный многопозиционный станок, имеющий высокую производительность и надежность в работе, который обслуживается минимальным количеством рабочих, может оказаться невыгодным, если сроки ввода его в эксплуатацию будут слишком длительными.

Если известны технико-экономические показатели φ , ε , σ , δ , m и K и срок ввода L , то можно по формуле (1.25) определить λ и сделать заключение, является ли новый вариант машины прогрессивным. Прогрессивной техника считается в том случае, если ее внедрение в производство обеспечит коэффициент роста производительности выше предусмотренного планом отрасли.

Производительность технологического оборудования. Работа любого технологического оборудования характеризуется периодическим повторением в заданной последовательности рабочих и холостых ходов, т. е. повторением рабочего цикла. Период рабочего цикла является важнейшим параметром, определяющим производительность оборудования.

Цикловая производительность технологического оборудования определяется количеством произведенной на нем продукции в единицу времени:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{T_{\text{ц}}} = \frac{1}{t_p + t_x}, \text{ шт/мин}, \quad (1.26)$$

где $Q_{\text{ц}}$ – цикловая производительность оборудования; $T_{\text{ц}}$ – продолжительность рабочего цикла; t_p – время рабочих ходов (формообразование, сборка и т. д.); t_x – время холостых ходов (подготовительные операции: транспортные, загрузочные, установочные, зажимные).

Для машины, у которой отсутствуют холостые ходы или совмещены с рабочими, производительность определяется длительностью рабочих ходов и называется технологической:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{t_p} = k, \text{ шт/мин}, \quad (1.27)$$

где k – технологическая производительность.

Технологическая производительность зависит от сложности детали или сборочной единицы, метода и последовательности обработки (или сборки), режимов обработки, степени совмещения операций и т. д. Повышение технологической производительности является важнейшим средством увеличения производительности машин и достигается путем интенсификации режимов обработки, дифференцированием и концентрированием технологических процессов, применением новых высокопроизводительных технологических процессов.

Анализ формулы цикловой производительности показывает, что рост производительности машины предела не имеет, если одновременно с увеличением технологической производительности уменьшать время холостых ходов. Время холостых ходов можно уменьшить модернизацией оборудования путем оснащения его устройствами, автоматизирующими загрузочные, установочные, транспортные операции и др.

Фактическая производительность и внецикловые потери.

Если проследить за работой оборудования в течение длительного периода времени, можно заметить, что оно не только выпускает продукцию, но и простаивает. Поэтому при определении фактической производительности нужно учитывать как время рабочих и холостых ходов, так и все простои (потери), следовательно,

$$Q_{\text{ф}} = \frac{1}{t_p + t_x + \sum t_n} = \frac{1}{t_p + t_x + \sum C_i + t_e + t_{o.n} + t_{\sigma} + t_{\text{неп}}}, \quad (1.28)$$

где $Q_{\text{ф}}$ – фактическая производительность машины; $\sum t_n$ – суммарные внецикловые потери; t_x – потери холостых ходов (потери I вида – цикловые); $\sum C_i$ – потери, связанные с эксплуатацией инструмента (II вида); t_e – потери на ремонт и регулировку механизмов машины (III вида); $t_{o.n}$ – потери на обслуживание и управление машинами (IV вида); t_{σ} – потери, связанные с браком (V вида); $t_{\text{неп}}$ – потери,

идущие на переналадку машины при переходе с выпуска одного изделия на другое (VI вида).

Простои технологических машин разделяют на собственные и организационно-технические. К собственным простоям относят простои, связанные с холостыми ходами, со сменой и подналадкой инструмента, с отказами механизмов (поломки, регулирование, загрязнение механических, гидравлических, электрических устройств и др.). К организационно-техническим простоям относят простои из-за отсутствия заготовок, электроэнергии, несвоевременного прихода или ухода обслуживающих рабочих, остановки станков для очистки, уборки стружки и т. д. Собственные простои присущи работе машин, поэтому, вскрывая причины появления, их можно снизить, а организационно-технические простои при надлежащей организации труда можно устранить вообще или свести к минимуму. Таким образом, фактическая производительность получается меньше цикловой, так как учитывает все внецикловые потери.

Рассматривая потери как движущие противоречия в развитии техники, назовем основные проблемы комплексной автоматизации, решение которых определяет перспективы ее развития.

Проблемы автоматизации.

1. Автоматизация холостых ходов. Решение этой проблемы осуществляется двумя путями: модернизацией существующих машин, у которых время t_x велико, путем оснащения их механизмами холостых ходов, позволяющих уменьшить t_x , и созданием машин непрерывного действия, в которых осуществляется непрерывная обработка или сборка. Машины непрерывного действия являются наиболее совершенными, высокопроизводительными. Это машины роторного типа, гайконарезные автоматы с гибким валом и др. Создание машин непрерывного действия является в настоящее время перспективным. Они особенно эффективны для технологических процессов с большим k .

2. Автоматизация смены и регулировки инструмента. Уменьшение потерь II вида, связанных со сменой и регулировкой инструмента, возможно путем применения более износостойкого материала режущей части инструмента; быстросменных приспособлений для крепления инструмента, позволяющих вести установку и регулировку инструмента вне машины; высокопроизводительных устройств для установки и регулировки инструмента (например, оптические устройства с экраном); автооператоров с магазином инструментов (по типу устройств для автоматической смены инструмента, применяемых на многооперационных станках).

3. Надежность. Все потенциальные возможности повышения производительности, заложенные в машинах, можно реализовать тогда, когда все механизмы и устройства будут иметь высокую надежность в работе.

Надежность – свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки. В данном случае под изделием понимается любая технологическая машина: станок, автомат, автоматическая линия и др.

Различают надежность срабатывания, связанную с отказом того или иного механизма машины (деталь не зафиксировалась в рабочей позиции, агрегатная головка не переключилась с рабочей подачи на быстрый отвод и т. д.), и технологическую надежность, определяемую стабильностью протекания процесса, нарушение которого происходит вследствие износа трущихся поверхностей механизмов, колебаний жесткости деталей, припусков на обработку, твердости обрабатываемого материала и т. п. Причины, вызывающие нестабильность работы механизмов, носят случайный характер. Поэтому основным направлением решения этой проблемы является увеличение надежности как отдельных элементов, так и всей машины путем увеличения точности изготовления и чистоты поверхности сопрягаемых деталей, рационального подбора материала этих деталей и др. Более подробно вопросы надежности рассмотрены в разделе 6.

4. Автоматизация управления производством. Одним из наиболее эффективных направлений снижения потерь по организационным причинам является использование АСУП (автоматизированных систем управления производством) и различных средств вычислительной техники, так как сложность и многообразие современных процессов порождает большое количество информации. Задержка переработки этой информации без применения указанных средств приводит к простоям машин из-за отсутствия заготовок, инструмента, вспомогательных материалов и т. д.

Другим направлением сокращения организационных потерь является автоматизация транспортировки, хранения готовой продукции во всех звеньях производственного процесса. На транспортировке, погрузочно-разгрузочных и складских работах затраты неавтоматизированного труда велики, поэтому здесь оказываются особенно эффективны различные автопогрузчики с программным управлением. В определенной степени сокращение простоев из-за отсутствия заготовок на автоматических линиях решает правильная установка бункеров-накопителей.

5. Качество продукции. Проблема борьбы с браком и снижение простоев, связанных с ним, является одной из наиболее важных, так как здесь имеется значительный резерв увеличения производительности. Применение средств для автоматического контроля, а также различных подналадчиков, позволит повысить качество контроля и высвободить значительный штат контролеров.

6. Мобильность. Особенно актуальна эта проблема применительно к условиям мелкосерийного производства, где быстрая сменяемость объектов производства вызывает частую переналадку оборудования и при низкой мобильности его большие простои. Одним из направлений решения этой проблемы является применение программных устройств для управления работой технологического оборудования. Задача создания высокопроизводительного оборудования заключается в том, чтобы еще на стадии проектирования предусмотреть конструктивные меры и технико-организационные мероприятия для предотвращения всех потерь.

1.5. Технологический процесс автоматизированного производства

Создание любого автоматизированного оборудования начинается с разработки технологического процесса. При этом решаются такие задачи, как выбор методов обработки (сборки), последовательности осуществления этих операций, разделения и концентрации (агрегатирования) их, выбора технологических баз, орудий труда (режущего, измерительного инструмента), режимов резания (или сборки) и др. Особенностью технологических процессов автоматизированного производства является их интенсификация, совмещение операций (совмещение рабочих ходов с холостыми, холостых с холостыми), интенсификация режимов обработки, применение новых высокопроизводительных методов, невозможных при ручном управлении процессом.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения производительности машин при автоматизированном производстве является агрегатирование, т. е. деление технологического процесса на составные элементы и их концентрация в многопозиционных машинах. Различают последовательное, параллельное и смешанное агрегатирование. Знание законов агрегатирования позволит правильно решить вопросы об оптимальном количестве позиций многопозиционной машины и способе их объединения в зависимости от конкретных производственных условий (трудоемкости технологического процесса и надежности оборудования).

Последовательное агрегатирование применяют для сложных технологических процессов с высокой трудоемкостью, для выполнения которых используют различные инструменты. Рассмотрим производительность поточной линии, представляющей собой группу станков, расставленных в технологической последовательности, и производительность многопозиционной машины с последовательным расположением позиций. Сопоставление производительности группы станков и многопозиционной машины будем вести при следующих допущениях: весь технологический процесс равномерно разбит на q операций; в поточной линии работа каждого станка не зависит от других, а в многопозиционном станке работа каждой позиции зависит полностью от других; количество позиций в автоматической линии равно числу станков поточной линии. Производительность одного станка поточной линии (без учета потерь IV, V и VI видов)

$$Q_{cm} = \frac{1}{T_u + \Sigma t_n}, \quad (1.29)$$

где T_u – продолжительность рабочего цикла, $T_u = t_p + t_x$; Σt_n – внецикловые потери, связанные с эксплуатацией инструмента и оборудования, $\Sigma t_n = t_e + \Sigma C_i$, здесь t_e – потери, связанные с ремонтом, ΣC_i – потери, связанные с инструментом.

Производительность поточной линии

$$Q_{mp.q} = \frac{1}{\frac{t_p}{q} + t_x + t_e + \frac{\Sigma C_i}{q}} = \frac{k_o q}{1 + q k_o (t_x + t_e) + k_o \Sigma C_i}, \quad (1.30)$$

где k_o – технологическая производительность до деления процесса,

$$k_o = \frac{1}{t_p} = \frac{1}{kq}.$$

Производительность многопозиционной машины

$$Q_q = \frac{1}{\frac{t_p}{q} + t_x + \left(t_e + \frac{\Sigma C_i}{q}\right)q} = \frac{q k_o}{1 + k_o q (t_x + q t_e) + q k_o \Sigma C_i}, \quad (1.31)$$

Эта зависимость показана на рис. 1.8, а.

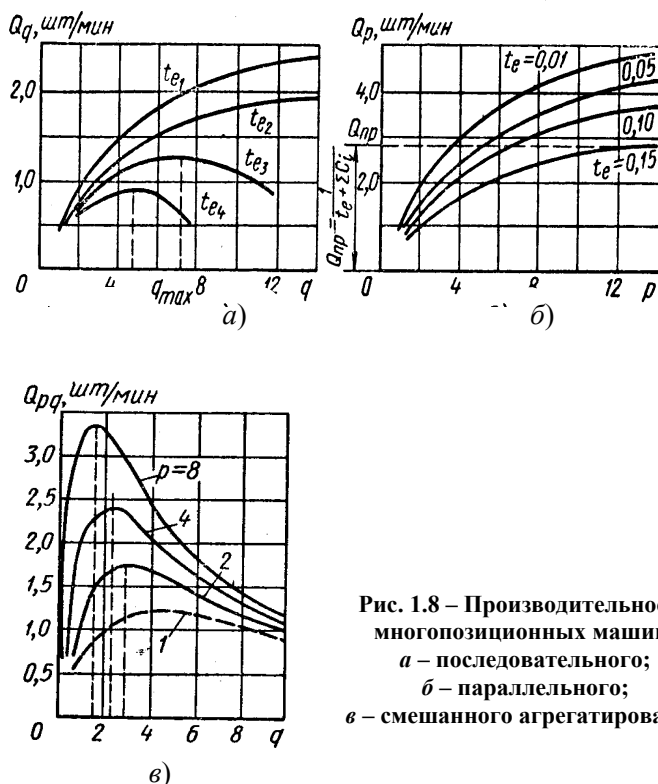


Рис. 1.8 – Производительность многопозиционных машин:
а – последовательного;
б – параллельного;
в – смешанного агрегатирования

В поточной линии дифференциация уменьшает рабочее время t_p и потери по инструменту, в многопозиционной машине внецикловые потери увеличиваются в q раз. Последнее обстоятельство приводит к тому, что с увеличением числа позиций производительность Q_q сначала растет, затем падает за счет интенсивного увеличения внецикловых потерь. Таким образом, при большом количестве позиций можно получить многопозиционную машину с низкой производительностью.

Оптимальное количество позиций зависит от трудоемкости технологического процесса и сложности оборудования (его надежности):

$$q_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{1}{k_o t_e}}, \quad (1.32)$$

Таким образом, для оборудования с высокой надежностью число допустимых позиций будет больше. Этим положением широко пользуются в практике автоматостроения. Так, многопозиционные машины в полупроводниковом и электровакуумном машиностроении, где условия работы более легкие, усилия и износ незначительны, имеют большое число позиций (24, 36, 48 и выше). В металлообработке – наоборот: автоматы и полуавтоматы имеют лишь 4, 6, 8 позиций. Это объясняется тяжелыми условиями работы (большие усилия, стружка, повышенный износ).

Параллельное агрегатирование применяют для сравнительно простых технологических процессов, имеющих низкую трудоемкость, где дробление операций нецелесообразно. Время обработки детали на одной позиции при параллельном агрегатировании не меняется. Производительность для многопозиционных машин с параллельным агрегатированием

$$Q_p = \frac{pk_o}{1 + k_o t_x + pk_o(t_e + \Sigma C_i)}, \quad (1.33)$$

где p – число параллельно расположенных позиций.

Производительность группы независимо работающих машин

$$Q_{ep.p} = \frac{pk_o}{1 + k_o(t_x + t_e) + k_o \Sigma C_i}. \quad (1.34)$$

График производительности машин параллельного действия (рис. 1.8, б) показывает, что кривые не имеют минимума, а максимальная производительность зависит лишь от внецикловых потерь, и она тем больше, чем меньше потери.

Производительность машин параллельно-последовательного действия (рис. 1.8, в)

$$Q_{pq} = \frac{pqk_o}{1 + qk_o t_x + pqk_o(qt_e + \Sigma C_i)}, \quad (1.35)$$

максимальное число позиций

$$q_{\max} = \sqrt{\frac{1}{pk_o t_e}}. \quad (1.36)$$

Смешанное агрегирование сочетает в себе последовательное и параллельное агрегирование на различных участках. Проводя анализ производительности по отдельным участкам, получаем общую производительность для всей линии. Более подробно этот вопрос рассмотрен в [39].

Рассматривая значение автоматизации производства для всего общества, можно сформулировать следующие её следствия:

1. Развитие автоматизации позволяет расширять механизацию производства в самых разнообразных отраслях.

2. Внедрение различных автоматических машин и систем приводит к экономии человеческого труда, а, следовательно, и к повышению производительности производства.

3. Автоматизация производства ведет за собой изменение структуры и организации производства с возможным изменением и самого продукта производства.

4. Передача машинам интеллектуальных функций при реализации автоматизации изменяет условия труда и требует повышения квалификации всего производственного персонала.

5. Более высокая квалификация обслуживающего персонала, сокращение малоквалифицированных рабочих приводят к социальным изменениям в обществе, требуя более высокого образовательного уровня всего общества и изменяя взаимоотношения между людьми.

Сегодняшнее разнообразие выпускаемой продукции, значительное её усложнение делают производственный процесс весьма разветвленным и многообразным, что иллюстрируется схемой рис. 1.9.

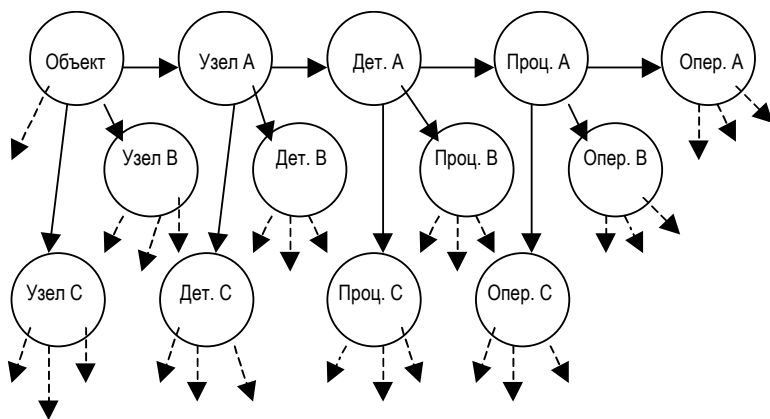


Рис. 1.9 – Схема разветвления производственного процесса

Выпускаемое изделие или объект состоит из ряда узлов, каждый из которых в свою очередь содержит определенное количество деталей, и для каждой детали существуют свои процессы, операции, переходы и т. д. Таким образом, современное предприятие обладает огромным многообразием технологических процессов и требует для их осуществления большого разнообразия оборудования. Однако каждая рабочая машина ведет обработку в специально созданном месте, называемом рабочей зоной станка или машины. Тогда, для выполнения обработки заготовку необходимо подать в рабочую зону, а после обработки ее необходимо удалить из рабочей зоны для повторения рабочего процесса, что иллюстрируется схемой рис. 1.10.



Рис. 1.10 – Обобщенная схема рабочего процесса

Здесь необходимо выбрать заготовку, придать ей необходимое положение в пространстве и в нужный момент времени поместить в рабочую зону машины. По завершению обработки полученное изделие следует освободить и передать в зону хранения или в следующую машину. Тогда этапы производственного процесса можно свести в приведенную таблицу 1.2.

Таблица 1.2

№ п/п	Этап производственного процесса
1	Выделение (выбор) заготовки
2	Ориентирование заготовки
3	Подача заготовки в рабочую зону
4	Фиксация заготовки
5	Подвод инструмента
6	Обработка
7	Отвод инструмента
8	Расфиксация обработанной детали
9	Удаление обработанной детали из рабочей зоны
10	Передача обработанной детали в зону хранения или к другой машине

В процессе обработки или во время других действий, а также дополнительно могут осуществляться контрольные операции, проверяющие правильность выполнения рабочего процесса и осуществляющие необходимую коррекцию. Наиболее ответственным действием является собственно обработка и, как указывалось выше, ей уже давно уделяется большое внимание. Создано большое разнообразие автоматических машин, автоматизированных станков и приспособлений. В металлообработке все большее распространение получают станки с программным управлением – станки с ЧПУ, позволяющие одновременно вести обработку разнообразных деталей. Автоматизация процессов обработки с помощью станков-автоматов и станков с ЧПУ является специальным разделом и здесь рассматриваться не будет.

Вместе с тем, при сегодняшних масштабах производства и уровне автоматизации загрузка и разгрузка машин занимает уже существенную часть рабочего цикла. Кроме того, при загрузке машин приходится иметь дело с произвольным положением загружаемых заготовок, что существенно затрудняет выполнение этого действия. В связи с этим рассмотрим вопросы автоматизации загрузки и разгрузки.

2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАГРУЗКИ И РАЗГРУЗКИ

Автоматизация загрузки и разгрузки в общем комплексе задач по автоматизации технологических процессов является одной из наиболее сложных, что вызвано разнообразием процессов, а также форм и размеров заготовок (деталей). Иногда конструкция заготовок (деталей) такова, что автоматизировать загрузку вообще невозможно. Основное назначение автоматизации загрузки (питания) металлорежущих станков – превращение станков в полуавтоматы и автоматы и повышение коэффициента их использования, облегчение труда рабочих, создание лучших возможностей применения многостаночного обслуживания и в итоге – значительное повышение производительности труда и снижение себестоимости изготавливаемых деталей.

Автоматизация загрузки позволяет сократить вспомогательное время, затрачиваемое на установку и съём изделий. Анализ действующих технологических процессов механической обработки резанием, проделанный ЭНИМС, показывает, что от 20 до 70 % вспомогательного времени для мелких и средних изделий и от 50 до 70 % для крупных изделий занимают установка и снятие изделия со станка.

Автоматизация загрузки станков осуществляется путем установки на станках или около них механических, электромеханических, пневматических, гидравлических и пневмогидравлических устройств.

Автоматическим загрузочно-разгрузочным устройством (АЗРУ) называется комплекс механизмов, обеспечивающих автоматическое перемещение заготовок в нужный момент времени с данного места хранения в рабочую зону станка и после завершения операции обработки удаление обработанной детали (полуфабриката) в заданное место хранения или транспортирования.

2.1. Назначение и виды загрузочных устройств

В настоящее время в промышленности применяется большое количество разнообразных по конструкции и по принципу действия загрузочных устройств. В зависимости от конструктивного выполнения загрузочно-разгрузочные устройства представляют собой:

- конструктивные узлы самой рабочей машины;
- самостоятельные независимые узлы;
- приспособления.

Загрузочно-разгрузочные устройства относятся к группе вспомогательных механизмов, так как сами не участвуют в собственно технологическом процессе обработки (сборки), т. е. в процессе изменения состояния предмета труда.

В зависимости от типа используемых заготовок различают два способа загрузки или питания: непрерывный и прерывистый или порционный.

При непрерывном способе питания заготовка подается на заданный шаг и от нее отделяется очередная порция материала или обрабатываемая деталь. При прерывистом или порционном способе питания осуществляется подача отдельных порций или штучных заготовок.

При первом способе материал, загружаемый в машину, обеспечивает непрерывную работу в течение нескольких операций и представляет единое целое. К этому способу относятся подача из бунтов (мотков) проволоки, ленты, проката профильного сечения или подача пруткового либо листового материала. Для питания оборудования, служащего для изготовления заготовок из проволоки или ленты, могут применяться бунты (мотки) материала. Проволока или лента, свернутые в бунт (моток), который надевается на свободно вращающуюся катушку, после обработки каждой (предшествующей) заготовки автоматически подается к месту обработки, сматываясь с катушки.

Ручная заправка конца проволоки или ленты здесь производится только при установке нового (взамен израсходованного) бунта.

Для изготовления деталей из прутка, через полый шпиндель одношпиндельных и многошпиндельных токарных автоматов пропускается пруток длиной 1...4 м. В автоматах введенный в пустотелый шпиндель прутки автоматически подаются до упора к месту обработки заготовки. В этом случае приходится несколько чаще производить загрузку прутков в автоматическое загрузочное устройство автомата, чем при питании станка из бунта.

При порционном способе или поштучном питании осуществляется подача заготовок не связанных друг с другом. Для этого способ заготовки могут быть сориентированными предварительно в пространстве (магазинное питание) или могут быть расположены “навалом” (бункерное питание). Задача автоматического загрузочного устройства в этом случае состоит в том, чтобы каждый раз захватить заготовку и подать ее в рабочую зону в строго ориентированном положении. Второй способ является более многообразным и в ряде случаев более сложным.

2.2. Автоматические устройства для непрерывного способа питания

Автоматические устройства для непрерывного способа питания можно разделить по способу привода, по способу захвата материала, по способу действия на подаваемый материал.

По способу привода эти устройства могут выполняться:

- с независимым (самостоятельным) приводом;
- приводимыми от рабочего органа машины.

Независимый привод делает загрузочное устройство самостоятельным механизмом, освобождает рабочие органы от дополнительной нагрузки, что особенно важно при выполнении деликатных или высокоточных работ. Привод от рабочего органа упрощает само устройство и, в ряде случаев, значительно упрощает синхронизацию и управление работой загрузочного устройства.

Блок-схема рабочей машины с автоматическим загрузочным устройством, имеющим независимый привод, представлена на рис. 2.1.

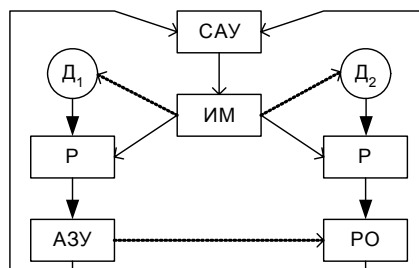


Рис. 2.1 – Блок-схема машины с независимым приводом

Здесь привод автоматического загрузочного устройства (АЗУ) осуществляется от своего двигателя D_1 , а рабочих органов РО – от двигателя D_2 . Для преобразования движений служат в каждой ветви редукторы Р, которые управляются исполнительным механизмом (ИМ). Синхронизация и выработка команд управления осуществляются системой автоматического управления САУ всего комплекса.

Блок-схема рабочей машины с автоматическим загрузочным устройством, имеющим привод от рабочего органа, может быть представлена рис. 2.2.

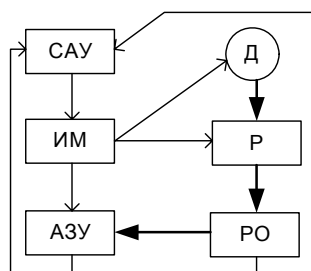


Рис. 2.2 – Блок-схема АЗУ с приводом от рабочего органа машины

Здесь все механизмы работают от одного двигателя Д, который через редуктор Р сообщает движение рабочему органу машины РО. Последний сообщает движение собственно автоматическому загрузочному устройству АЗУ, осуществляющему подачу материала в рабочую зону станка. Синхронизация движений, включение и выключение РО и АЗУ, а иногда и общего двигателя Д, производятся исполнительным механизмом ИМ, управляемым системой автоматического управления САУ, содержащей программу управления и получающей информацию от АЗУ и РО. Уже из самой блок-схемы видно, что такое загрузочное устройство проще, чем предыдущее, содержит меньше узлов, а, следовательно, и более надежно. Однако оно создает дополнительную нагрузку на рабочий орган станка, что не всегда допустимо по условиям точности и характеру работы рабочей машины. Кроме того, ремонт и наладку такого загрузочного устройства необходимо производить совместно с рабочей машиной, что также не всегда удобно и рационально.

По способу захвата подаваемого материала автоматические загрузочно-разгрузочные устройства непрерывного питания делятся на следующие:

- 1) крючковые;
- 2) клещевые или цанговые;
- 3) валиковые (валковые) или роликовые.

Крючковые подающие устройства используются обычно для подачи ленточного или листового материала, осуществляя захват материала за технологические или рабочие отверстия или выступы, получаемые в процессе обработки (чаще вырубки).

На рис. 2.3 приводится сечение загрузочного устройства с подачей материала приводным клиновым устройством. При движении клина рабочего органа 3 вниз его скос через ролик 2 перемещает каретку 1 влево. Тогда крючок 4 поворачивается и его зуб перемещает материал влево. При движении клина вверх пружина 5 перемещает каретку 1 вправо, крючок 4 поворачивается, его зуб выходит из зацепления и скользит по материалу, подготавливая следующий шаг.

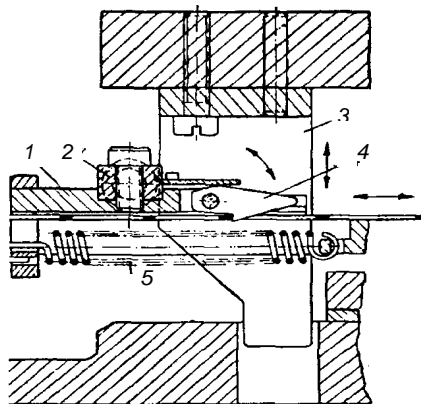


Рис. 2.3 – Крючковая подача

Затем процесс повторяется. Могут быть различные модификации этих устройств, но всегда имеется захват (жесткая фиксация) по выступам или отверстиям и возвратно-поступательное или качательное движение подающего механизма. Иногда для повышения точности подачи и быстродействия используются грейферные механизмы, имеющие более сложную траекторию движения, но принцип захвата и транспортирования остается прежним.

Крючковые подачи просты по конструкции, дешевы в изготовлении и могут быть легко установлены на любом кривошипном или эксцентриковом прессе с числом ходов до 200 в минуту. Однако для их работы требуются технологические отверстия или выступы, а подаваемый материал должен быть непрерывным, что приводит к повышению расхода материала. В связи с этим применение этого способа ограничено.

Клещевые или **цанговые** подающие устройства характеризуются захватом и перемещением материала за счет сил трения при возвратно-поступательном движении механизма подачи. Поскольку передача движения осуществляется за счет сил трения, то сила трения в первом приближении определяется как $F_{тр} = Nf$, где N – сила нормального давления, а f – коэффициент трения. Тогда, изменяя силу нормального давления, обеспечивают одностороннюю подачу материала (зачастую с перехватом). Зажим материала для его перемещения может осуществляться рычажным, клиновым, шариковым или роликовым устройствами. В качестве примера на рис. 2.4 показана конструкция односторонней клещевой подачи с захватом подаваемой полосы или ленты роликами.

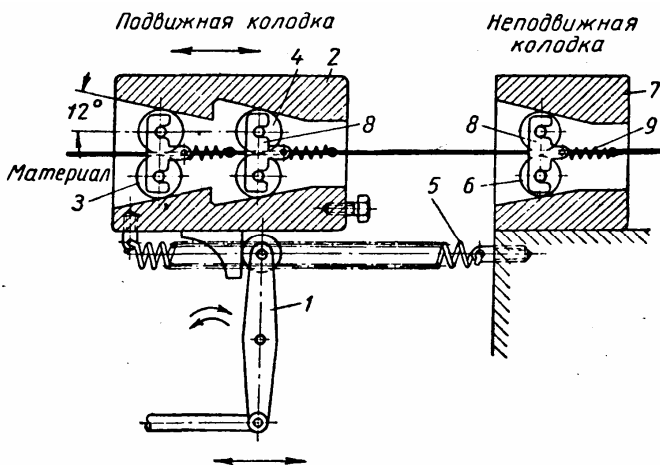


Рис. 2.4 – Клещевая подача с роликами

Тяга рычага 1 получает движение от привода и совершает возвратно-поступательное движение, заставляя рычаг 1 совершать колебательное движение, что приводит к возвратно-поступательному движению колодки 2 с захватывающими роликами. Две пары роликов 3 и 4, находящихся в клиновых гнездах колодки 2, при перемещении ее в результате нажима рычага 1 заклинивают подаваемый материал (ленту или полосу) и подают его в рабочую зону на заданный шаг подачи. При обратном ходе рычага колодка с подающими роликами под действием пружин 5 возвращается в исходное положение. В этот момент ролики 3 и 4 освобождают подаваемый материал, разжимаясь под действием встречного сопротивления подаваемого материала, а последний в момент возврата подвижной колодки зажимается фиксирующими роликами 6, расположенными в клиновых гнездах неподвижной (тормозной) колодки 7, закрепленной на основании.

Ролики-клещи подвижной колодки и неподвижной тормозной колодки своими цапфами уложены в направляющие хомутики 8, которые пружинами 9 притягивают ролики-клещи к клиновым гнездам колодок.

К этой же группе подач относятся и широко применяемые цанговые механизмы, в которых перемещение также осуществляется за счет сил трения. Эти механизмы широко используются для подачи пруткового материала в одношпиндельных и многошпиндельных токарных автоматах. Длина применяемых прутков находится в пределах 1...5 м. Прутковые материалы выполняются круглого, шестигранного, квадратного и других профилей.

Клещевые и цанговые подачи позволяют более экономично и полно использовать подаваемый материал, однако в них неизбежно проскальзывание, что приводит к снижению точности. Для повышения точности позиционирования подачу осуществляют до упора, но тогда повышается износ губок цанги.

Валиковые (валковые) или роликовые автоматические загрузочные устройства осуществляют подачу в рабочую зону периодическим вращением валиков или роликов. При этом передача движения (захват) может быть за счет сил трения (фрикционная передача) либо захватом за отверстия или выступы, получаемые до захватного органа или в процессе осуществления захвата. Схема роликовой подачи приведена на рис. 2.5.

Подача такими загрузочными устройствами осуществляется либо фиксированным поворотом валков, либо до упора. В последнем случае необходимо проскальзывание роликов для досылки материала, что приводит к повышенному износу валиков. Захват материала за выступы или отверстия улучшает сцепление роликов с материалом и

позволяет достичь большую точность подачи, однако это требует более точного фиксированного поворота валиков, что в свою очередь ведет к усложнению и удорожанию механизма привода.

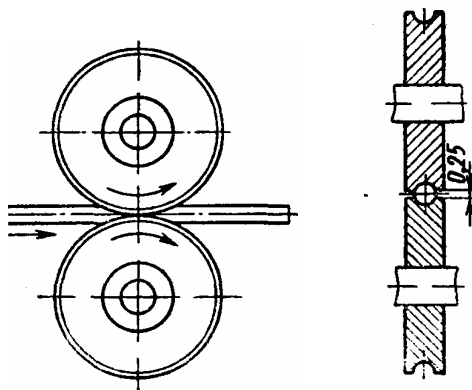


Рис. 2.5 – Роликовая подача

Валиковые или роликовые подачи позволяют подавать проволоку, прутки, ленту, полосу, листы. Таким образом они наиболее универсальны. Этот тип подающего механизма позволяет достичь наибольшей производительности, поскольку здесь отсутствует возвратное движение в отличие от предыдущих подач, однако им трудно обеспечить высокую точность шага перемещения.

По способу действия на подаваемый материал автоматические загрузочно-разгрузочные устройства с непрерывным способом питания могут быть (см. рис. 2.6):

- тянущими (рис. 2.6, а);
- подающими (рис. 2.6, б);
- тянуще-подающими (рис. 2.6, в).

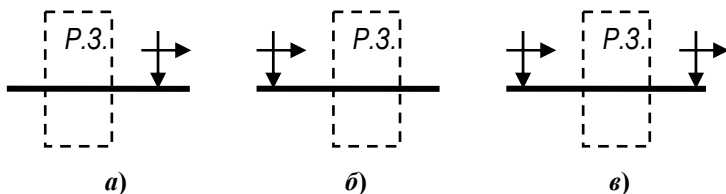


Рис. 2.6 – Блок-схемы АЗРУ по способу действия

Здесь стрелки показывают место и направление действия на подаваемый материал, проходящий через рабочую зону (Р.З.) машины.

Тянущие АЗРУ обеспечивают более надежную подачу, особенно тонкого материала, т. к. в этом случае материал может быть напряжен (растянут) на рабочей позиции путем подтормаживания свободной части (бухты). Однако для его осуществления необходимо, чтобы после рабочей зоны материал оставался неразрывным, т. е. из основы происходило отделение (вырубка) заготовок или деталей без нарушения целостности самой основы. Этот способ связан с повышенным расходом материала.

Подающие АЗРУ позволяют добиться более экономного раскроя материала, не связаны требованием целостности и недеформированности материала после рабочей зоны. Однако подачу тонкого материала осуществлять труднее из-за возможных короблений и заклинивания.

Тянуще-подающие АЗРУ являются комбинацией обоих методов с целью объединения положительных характеристик, но они оказываются более сложными и громоздкими.

В ряде случаев, при непрерывной подаче оказывается необходимым предварительно править подаваемый материал, деформированный остаточными напряжениями. Для этих целей используются специальные механизмы правки. Существует много различных конструкций механизмов правки, в которых материал протягивается между штифтами, гребенками, роликами и т. д. В результате многократных деформаций материал приобретает правильную форму.

2.3. Автоматические устройства для поштучного способа питания

Автоматические загрузочно-разгрузочные устройства непрерывного питания довольно просты, однако они применимы далеко не во всех случаях, т. к. заготовки здесь далеки от оптимальных форм и размеров, что приводит к увеличению отходов и снижению производительности труда. Стремление сблизить формы и размеры заготовок и изготавливаемых деталей приводит к необходимости загрузки штучными (отдельными) заготовками рабочих машин. Количество используемых в машиностроении типоразмеров заготовок огромно, что значительно усложняет создание и эксплуатацию автоматических загрузочно-разгрузочных устройств. В большинстве случаев подаваемые в рабочую зону заготовки должны быть ориентированными в пространстве, тогда как разгрузка осуществляется для уже ориентированных

деталей. В связи с этим, большее значение имеет создание автоматических загрузочных устройств.

Автоматические загрузочные приспособления для штучных изделий появились довольно давно. Первоначально загрузочные устройства нашли применение в огнестрельном автоматическом оружии для подачи патронов, затем на пуговичных, патронных, конфетных фабриках, где продукция производится в массовых количествах.

Автоматические устройства для поштучного способа питания позволяют подавать в рабочую зону машины заготовки, не связанные друг с другом, поштучно. Все разнообразие таких устройств может быть, прежде всего, разделено на два типа:

- 1) устройства магазинного питания;
- 2) устройства бункерного питания.

2.3.1. Устройства магазинного питания

Эти устройства осуществляют автоматическую подачу заготовок предварительно ориентированных и уложенных в магазин вручную. Иногда такие устройства называют полуавтоматическими.

Ручное ориентирование и загрузка в магазин требуют значительных затрат времени, что снижает производительность по сравнению с бункерным питанием. И, тем не менее, магазинные загрузочные устройства применяются в следующих случаях:

- 1) для деталей сложной формы, автоматическое ориентирование которых трудно осуществимо или неосуществимо вообще;
- 2) для деталей повышенной взаимосцепляемости из-за трудности их разделения;
- 3) для деталей, которые могут быть повреждены (хрупкие, высокоточные и т.п.) при засыпке их навалом;
- 4) при автоматизации загрузки рабочих машин, осуществляющих длительный цикл обработки, когда применение более сложных и более производительных бункерных загрузочных устройств становится нецелесообразным.

В общем случае магазинное загрузочное устройство состоит из следующих основных узлов:

- 1) накопителя или собственно магазина;
- 2) отсекателя;
- 3) питателя;
- 4) блокирующего механизма;
- 5) привода загрузочного устройства.

Взаимодействие этих узлов может быть представлено схемой, приведенной на рис. 2.7.

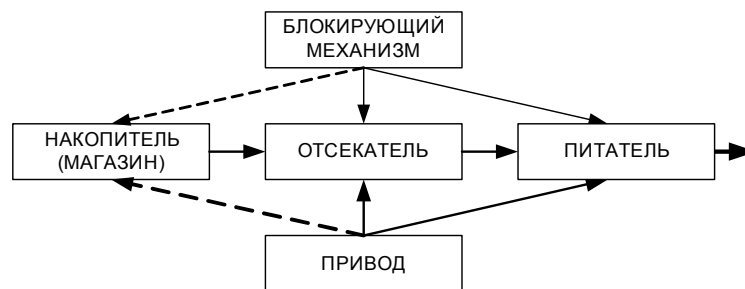


Рис. 2.7 – Схема взаимодействия узлов магазинного загрузочного устройства

Заготовки или детали из накопителя поступают к отсекателю и затем с помощью питателя подаются в рабочую зону станка или машины. Блокирующий механизм предупреждает нарушение работы загрузочного устройства, воздействуя на магазин, отсекаТЕЛЬ или питатель. Движение рабочих органов устройства осуществляется с помощью привода АЗУ.

Накопитель или магазин служит для помещения в него заданного количества ориентированных заготовок и транспортирования их в питатель, а затем и в рабочую зону станка. Количество загружаемых заготовок должно обеспечить бесперебойную работу рабочей машины в течение определенного времени, обуславливаемого технологическим процессом. Обычно это время – 10...30 мин. Таким образом, при выборе размеров и объема накопителя приходится решать задачу о размещении в нем загружаемых заготовок. Заготовки могут помещаться в накопителе:

- 1) в один ряд;
- 2) в один слой и несколько рядов;
- 3) в один штабель;
- 4) в несколько штабелей и один ряд;
- 5) в несколько штабелей и рядов.

При выборе размещения заготовок приходится решать альтер-нативные задачи. Наиболее простой способ – это размещение в один ряд, поскольку здесь упрощается отбор заготовок, их транспортирование, да и сама загрузка. Однако при этом увеличиваются габариты самого магазинного загрузочного устройства, что может потребовать дополнительную производственную площадь.

В зависимости от конфигурации подаваемых заготовок, требо-ваний их хранения, условий выдачи заготовки могут располагаться вплотную или вразрядку.

В автоматических загрузочных устройствах заготовки перемещаются под действием силы тяжести, внешней приложенной силы или сил инерции.

Следовательно, можно выделить четыре вида движения, или транспортирования, изделий:

- 1) самотечное – под действием силы тяжести;
- 2) принудительное – под действием приложенной внешней силы;
- 3) вибрационное – под действием инерционных сил;
- 4) комбинированное – сочетающее вышеперечисленные виды для использования их различных преимуществ.

Самотечное транспортирование находит большое применение, так как в этом случае не требуется ни источника энергии, ни двигателя, ни специальных механизмов. Однако применение самотечного транспорта ограничивается тем, что перемещение изделий происходит с ускорением, и часто скорости бывают настолько велики, что оказываются опасными для изделий. Кроме того, самотечный транспорт можно использовать только в случае перемещений сверху вниз. Поэтому, наряду с самотечным находят применение и другие виды транспорта, несмотря на то, что для них требуются особые механизмы, специальный привод и часто довольно сложные устройства.

Самотечный способ транспортирования иногда можно несколько улучшить, если сообщить поперечные колебания плоскости, по которой скользят изделия. При этом скольжение осуществляется под углами, значительно меньшими углов трения, а движение замедляется и становится более равномерным. Перемещение заготовки получают за счет искусственного уменьшения силы трения между поверхностями скольжения путем поперечного колебания или равномерного движения несущей плоскости, или в результате образования между поверхностями скольжения воздушной подушки. Характер такого полусамотечного движения можно менять в небольших пределах за счет частоты колебаний, скорости движения опорной плоскости или изменения угла наклона отдельных участков плоскости. Такие установки относительно несложны и имеют по высоте меньшие размеры.

Принудительный транспорт позволяет перемещать детали в любом направлении равномерно, ускоренно, замедленно и т. д. Но внешние силы могут приводить к повреждению подаваемых заготовок, к их заклиниванию при транспортировании, к повреждению самого загрузочного устройства. Вместе с тем они обычно более сложны, поэтому применение такого способа транспортирования ограничено.

Вибрационный транспорт является в некоторой мере промежуточным между самотечным и принудительным. Так как изделия движутся силами инерции, а не направляются жесткими толкателями, то движение их может приостановиться до тех пор, пока освободится

место для транспортируемых изделий, как это имеет место в самотечном транспорте. Изделия можно перемещать под очень небольшим углом вниз, горизонтально и даже под небольшим углом вверх, т. е. так, как это позволяет принудительное транспортирование. При вибрационном транспортировании очень удобно осуществлять ориентирование изделий сложной формы.

Используя принцип расположения изделий в один ряд, предложены конструкции загрузочных приспособлений лоткового типа. В наименее развитой форме эти приспособления состоят из одних лотков, где изделия перемещаются самотеком (под действием собственного веса) непосредственно в зону обработки. Довольно часто лотки применяются в качестве накопителя или магазина.

2.3.2. Лотки

По форме продольного профиля лотки бывают прямолинейные обычные, прямолинейные роликовые, изогнутые, винтовые (спиральные), зигзагообразные и специальные (змейковые, каскадные и др.).

Схемы таких лотков приводятся на рис. 2.8. При проектировании самотечных лотков следует иметь в виду, что движение заготовок осуществляется под действием составляющей силы земного притяжения и, следовательно, необходим определенный перепад высоты. Вертикальное расположение лотка приводит к быстрому росту его высоты и, таким образом, применимо для довольно мелких заготовок. Вместе с тем, такое расположение приводит к повышенному давлению заготовок друг на друга, что также не всегда допустимо. В связи с этим для самотечных лотков наиболее часто применяют их наклонную установку.

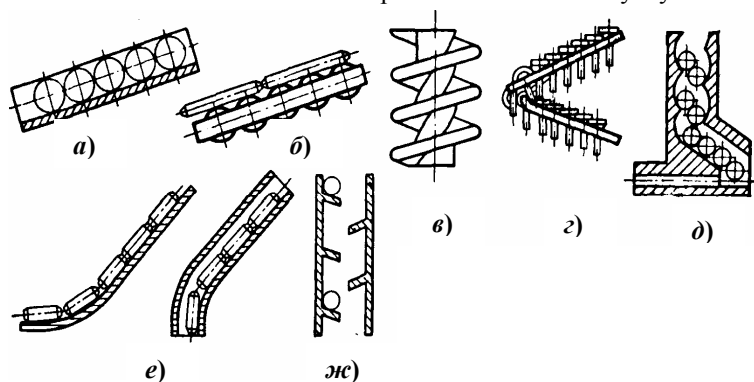


Рис. 2.8 – Типы лотков:

а – прямолинейные обычные; *б* – прямолинейные роликовые; *в* – спиральные; *г* – овальные; *д* – змейковые; *е* – дугообразные; *ж* – каскадные

Тогда для осуществления движения (см. рис. 2.9):

$$g \sin \alpha > gf \cos \alpha, \quad (2.1)$$

откуда

$$\operatorname{tg} \alpha > f = \operatorname{tg} \rho \text{ и } \alpha > \rho, \quad (2.2)$$

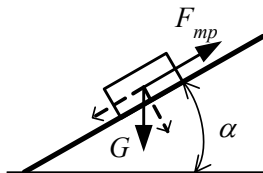


Рис. 2.9 – Схема скольжения тела

т. е. угол наклона лотка должен быть больше угла трения. Стремясь уменьшить перепад высоты, применяют различные методы уменьшения коэффициента трения. Вместе с тем необходимо увеличить долговечность самих лотков, т. е. повысить износостойкость рабочих поверхностей. Одним из наиболее старых и испытанных методов является замена трения скольжения трением качения. В связи с этим самотечные лотки делятся на лотки-склизы и лотки-скаты. В лотках-склизах заготовки скользят по наклонно установленной поверхности или направляющей. Рабочие поверхности таких лотков выполняются из износостойкой каленой стали и шлифуются. Угол наклона, исходя из приведенного соотношения, для большинства случаев должен быть более 26° (обычно принимают $30 \dots 55^\circ$).

По форме поперечного сечения различают открытые и закрытые лотки, представители которых приведены на рис. 2.10. Закрытые лотки применяют при вертикальном расположении лотка, наклоне лотка под углом свыше 10° , при большой длине заготовок и независимо от длины – для заготовок типа колпачков, ступенчатых и конических валиков, так как они могут изменять свою ориентацию при движении. В закрытых лотках в стенках делают смотровые щели для наблюдения за перемещением и устранения застревания заготовок. Расчет лотков состоит в определении размеров в поперечном и продольном сечениях, наклоне лотка и скоростей перемещения заготовок.

Поперечное сечение и его размеры для лотков-склизов выбираются сообразно с конфигурацией подаваемых заготовок таким образом, чтобы обеспечить их свободное перемещение (скольжение) без потери ориентации. Исходя из этих соображений, внутренний профиль лотка-склиза должен быть описан вокруг профиля подаваемой заготовки, он должен быть легок для исполнения, обеспечивать достаточную жесткость, не допускать самопроизвольного поворота заготовки во время транспортирования.

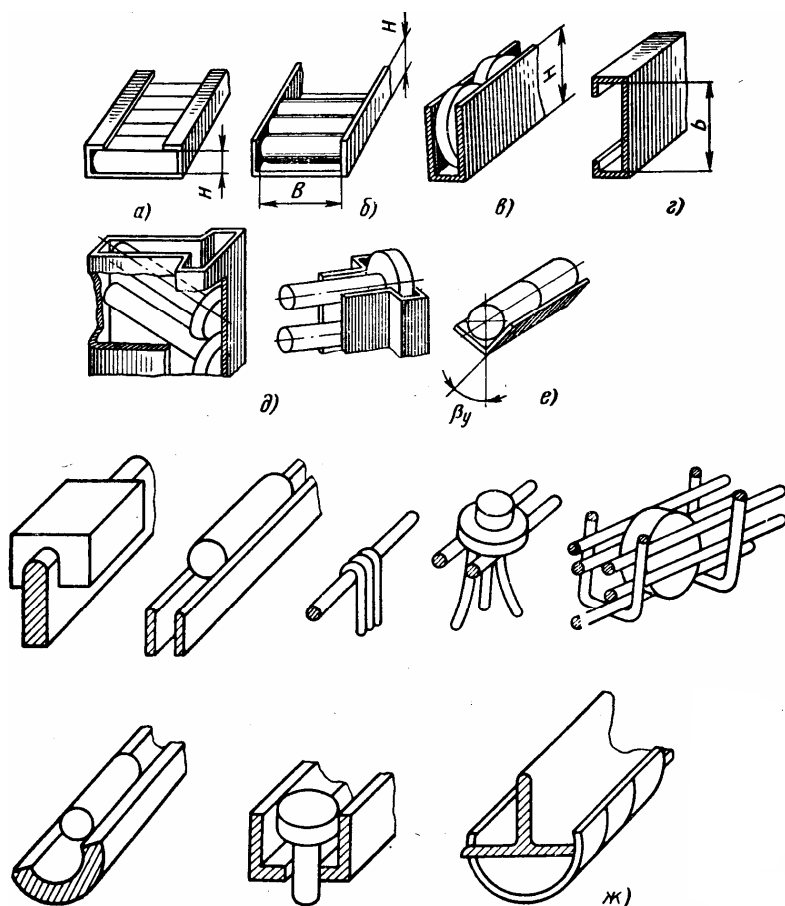


Рис. 2.10 – Поперечное сечение лотков:
a – закрытый для валиков; ***б*** – открытый для валиков; ***в*** – открытый для дисков; ***г*** – закрытый для дисков; ***д*** – пазовые лотки; ***е*** – угловой лоток; ***ж*** – стержневые и специальные

Вместе с тем, необходимо учитывать колебания размеров заготовок и попадание попутной грязи (смазки, стружки, посторонних легких предметов и т. п.). Тогда возникает тенденция расширить размеры лотка до максимально возможных, но не допустить заклинивания и поворота заготовки.

В каждом конкретном случае следует анализировать возможные вариации. Так, при подаче прямоугольных заготовок или заго-

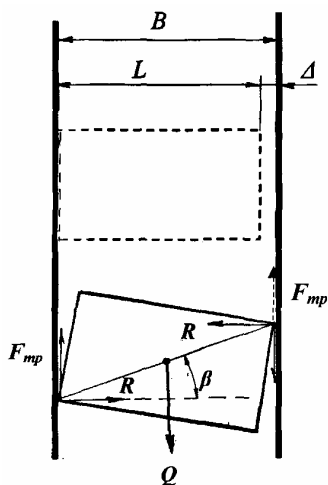


Рис. 2.11 – Поворот заготовки

товок, имеющих прямоугольное сечение (например, цилиндры) зазор между размером заготовки и размером лотка (в сечении сохранения ориентации) ограничивается не только возможностью поворота заготовки, но и возможностью самозаклинивания. Возможный поворот заготовки иллюстрируется на рис. 2.11. Пусть при движении по лотку заготовка коснулась одной из стенок. Тогда под действием силы трения этот торец замедляет скорость и заготовка начнет поворачиваться вокруг точки O под действием приведенной силы земного ускорения Q . Этот поворот будет продолжаться до тех пор, пока крутящий момент от силы Q не уравнивается моментом реакции стенок, т.е.

$$Q \cdot \frac{B}{2} = R \cdot B \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (2.3)$$

откуда

$$R = \frac{Q}{2 \cdot \operatorname{tg} \beta}. \quad (2.4)$$

После прекращения поворота заготовка будет продвигаться, преодолевая силы трения по боковым поверхностям, для чего необходимо соблюдать условие:

$$Q > 2F_{mp} = 2Nf, \quad (2.5)$$

откуда

$$N < \frac{Q}{2f}. \quad (2.6)$$

Поскольку всегда реакция равна действующей нормальной силе, то $N = R$ и тогда движение будет при

$$\frac{Q}{2f} > \frac{Q}{2 \cdot \operatorname{tg} \beta}, \quad (2.7)$$

отсюда

$$\operatorname{tg} \beta > f = \operatorname{tg} \rho \text{ и } \beta > \rho, \quad (2.8)$$

т. е. для осуществления движения (предотвращения самозаклинивания) угол β между диагональю (распорным размером) заготовки и нормалью к поверхности лотка должен быть больше угла трения.

Для заготовок с большим соотношением продольного и поперечного размеров (l/d) самозаклинивание может не происходить, но возникает опасность движения заготовок в два ряда. Тогда следует ввести ограничение зазора Δ , исходя из поперечного размера заготовки. Обозначив размер поперечного сечения через b , можем записать: $B < 2b$, но $B = b + \Delta$ и $\Delta < b$.

Обычно вводят некоторый коэффициент запаса k (0,8...0,9) и тогда записывают:

$$\Delta \leq kb. \quad (2.9)$$

Лотки-скаты позволяют значительно уменьшить перепад высот и износ самого лотка. Для осуществления качения вместо скольжения возможны два пути: либо использовать конфигурацию заготовок, если они представляют собой тела вращения (рис. 2.8, *а*), либо в качестве несущих поверхностей лотков использовать валики или ролики (рис. 2.8, *б*). При проектировании таких лотков следует рассмотреть условия движения для определения минимального угла наклона лотка (т.е. при наличии катков необходимо определить приведенный коэффициент трения). Следует избегать чрезмерного количества катков, ибо это удорожает лоток и увеличивает сопротивление движению. Однако при движении не должен происходить поворот, препятствующий движению заготовки.

2.4. Вибрационное перемещение

Для хранения и принудительной подачи заготовок, расположенных в один ряд, в последнее время все шире применяют вибрационные лотки-транспортеры, позволяющие работать даже с отрицательным перепадом высот и обеспечивающие высокую надежность подачи без повреждения подаваемых заготовок. Они, конечно, сложнее самоходных лотков, однако, указанные их преимущества: малая энергоемкость, сравнительная простота конструкции и износостойкость – завоевывают все большее признание.

Принцип вибрационного транспортирования одинаков как для прямолинейных лотков, так и для вибрационных бункерных питателей, которые будут рассмотрены позже.

Под вибрациями обычно понимают колебательное движение поверхности тела сравнительно малой амплитуды и значительной частоты.

Тогда вибрационное перемещение есть движение тела по вибрирующей поверхности под воздействием периодической возмущающей силы сообщаемой этой поверхностью, т. е. движение под воздействием инерционных сил, возникающих в результате вибрационного перемещения рабочей (несущей) поверхности.

Законы движения рабочего органа (несущей или транспортирующей поверхности) могут быть весьма разнообразными. Наиболее легко осуществляются гармонические колебания (движение описывается уравнением $x = A \sin(\omega t + \beta)$), чем объясняется их наибольшее распространение в вибрационных машинах. Вместе с тем, могут применяться полигармонические и негармонические законы движения рабочих органов. Осуществление таких колебаний значительно сложнее, поэтому при отсутствии каких-либо специальных требований их применение нерационально.

Кроме закона, колебательное движение рабочего органа характеризуется и направленностью, т. е. колебания могут совершаться в одном направлении – линейные, в двух направлениях – плоскостные, или в трех направлениях – объемные, т. е. колебания могут быть однокомпонентными, двухкомпонентными и трехкомпонентными. Естественно, что самыми простыми являются однокомпонентные колебания, которым отдается предпочтение.

Рабочий орган вибромашины (лотка, питателя) для осуществления перемещения совершает колебательное движение около некоторого нейтрального (исходного) положения. В результате этого движения рабочий орган воздействует на транспортируемые заготовки, сообщая им ускорение. Тогда возникают и силы инерции, под действием которых и осуществляется движение заготовок относительно транспортирующей поверхности. Поскольку рабочий орган лишь вибрирует и его суммарное перемещение равно нулю, то именно относительное перемещение заготовок по вибрирующей поверхности и является транспортирующим движением.

Режимы движения заготовки по вибрирующей поверхности можно разделить на две группы: **безотрывные**, при которых заготовка все время находится в контакте с вибрирующей поверхностью, и ее относительное перемещение осуществляется только скольжением по

этой поверхности, и *отрывные*, при которых заготовка в течение части каждого цикла не касается вибрирующей поверхности, совершая микрополет, во время которого происходит относительное перемещение.

2.4.1. Основные закономерности вибрационного транспортирования

Однокомпонентные колебательные системы получили наибольшее распространение в автоматических загрузочных устройствах. При этом колебания рабочей поверхности могут совершаться в продольном, поперечном и наклонном направлениях. Наибольшее применение получили однокомпонентные колебания в наклонном направлении.

Этот способ вибротранспортирования является более универсальным, поскольку позволяет осуществлять направленное движение не только по горизонтальному лотку, но и имеющему небольшой подъем. Возможность транспортирования тел вверх по наклонному лотку позволяет осуществлять выбор заготовок или изделий из объемного магазина или из навала, что положено в основу работы бункерных вибропитателей. Горизонтальное расположение лотка или вибрирующей поверхности в данном случае может рассматриваться как частный случай наклонной поверхности с углом подъема $\alpha = 0$. Тогда расчетная схема представляется рис. 2.12. Здесь тело размещено на плоскости наклоненной под углом α , которая совершает колебания под углом β . Наклонное движение лотка может быть разложено на продольное и поперечное.

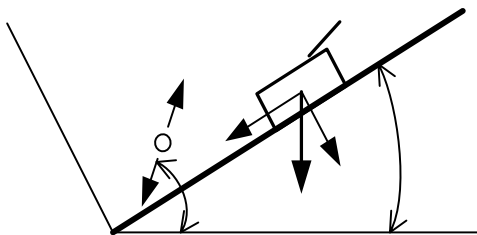


Рис. 2.12 – Наклонные колебания

Расположив систему координат так, что вибрирующая поверхность совпадает с осью OX , можем рассматривать движение по оси OX (x) и оси OY (y). Тогда движение по оси x будет характери-

зовать продольное перемещение заготовки, а движение по оси y – ее нормальное, т. е. перпендикулярное к несущей поверхности, движение. В этом случае, естественно, отсутствие движения вдоль оси OY указывает на безотрывность режима транспортирования, а наличие его – на существование отрывного режима. Отрыв тела (заготовки) от лотка произойдет, когда составляющая нормального ускорения лотка вниз превысит нормальную составляющую земного ускорения, т. е. $w_{лн} > g \cdot \cos \alpha$, что для гармонических колебаний записывается как $A_{лн} \cdot \omega^2 \cos \omega t > g \cdot \cos \alpha$. Соотношение максимальных значений этих нормальных составляющих является одной из важнейших характеристик вибротранспортирования и называется **параметром режима** вибротранспортирования и обозначается ξ . Тогда можно записать:

$$\xi = \frac{w_{лн}(t)_{\max}}{g \cdot \cos \alpha}. \quad (2.10)$$

Для гармонических колебаний параметр режима запишется:

$$\xi = \frac{A_{лн} \omega^2}{g \cdot \cos \alpha}, \quad (2.11)$$

где $A_{лн}$ – нормальная составляющая амплитуды колебаний лотка;

ω – круговая частота колебаний ($\omega = 2\pi\nu$, ν – частота колебаний).

При $\xi \leq 1$ режимы вибротранспортирования будут безотрывными, а при $\xi > 1$ наступают отрывные режимы. Для отрывных режимов происходит разрыв в закономерности движения, поскольку часть цикла заготовка находится на поверхности транспортирующей плоскости, а часть цикла – в отрыве от нее. Таким образом, транспортируемое тело либо скользит по вибрирующей поверхности, либо движется вместе с ней, либо совершает микрополет. Тогда для продольной составляющей движения, являющейся движением транспортирования, можем записать дифференциальные уравнения:

– для этапов **скольжения** (скорость тела относительно лотка $v_{мл} \neq 0$):

$$m\ddot{x} = -mg \sin \alpha - mf \left[g \cos \alpha + w_{лн}(t) \right] \text{sign} v_{мл}, \quad (2.12)$$

откуда

$$\ddot{x} = -g \sin \alpha - f \left[g \cos \alpha + w_{лн}(t) \right] \text{sign} v_{мл}, \quad (2.13)$$

тогда для гармонического закона движения:

$$\ddot{x} = -g \sin \alpha - f \left(g \cos \alpha + A_{лн} \omega^2 \cos \omega t \right) \text{sign} v_{мл}; \quad (2.14)$$

– для этапов *совместного движения* (т. е. без проскальзывания, $v_{мл} = 0$):

$$\ddot{x} = A_{лн} \omega^2 \cos \omega t, \quad (2.15)$$

где $A_{лн}$ – продольная амплитуда колебаний лотка;

f – коэффициент трения;

– для этапов *микрополета*:

$$\ddot{x} = -g \sin \alpha. \quad (2.16)$$

Решение дифференциальных уравнений для различных этапов с учетом начальных условий для каждого этапа, определяемых как постоянные интегрирования и учитывающие переходы от одного этапа к следующему, позволяет определить пути и скорости на каждом этапе. Затем, суммируя пути всех этапов, получают путь, пройденный телом за колебательный цикл, а разделив суммарный путь на длительность цикла, вычисляют среднюю скорость вибротранспортирования. Переход от одного этапа к другому зависит от нормальной составляющей ускорения и соотношения скоростей движения тела и лотка. Эти моменты не являются постоянными и для каждого сочетания требуют своего вычисления. Поскольку различные этапы описываются разными уравнениями, то общее уравнение движения будет представлять собой *нелинейную кусочную функцию*.

Процесс вычисления средней скорости оказывается довольно сложной процедурой. С помощью компьютера для различных режимов и начальных условий вычислены средние скорости вибротранспортирования в безразмерном виде, которые приводятся в специальной литературе в виде графиков и таблиц. Имеются приближенные способы вычисления этой скорости, дающие значения с разной степенью точности.

Для гармонических законов колебательного движения этот процесс наиболее изучен. Если не учитывать вторичных микрополетов, возникающих в результате упругого удара, то картина скорости перемещения может иметь для установившегося режима (после осуществления разгона) от 2 до 5 этапов. Наиболее общим является пяти-этапный режим, представленный графиком на рис. 2.13 (штриховыми линиями на рисунке показаны ускорения в нормальном направлении):

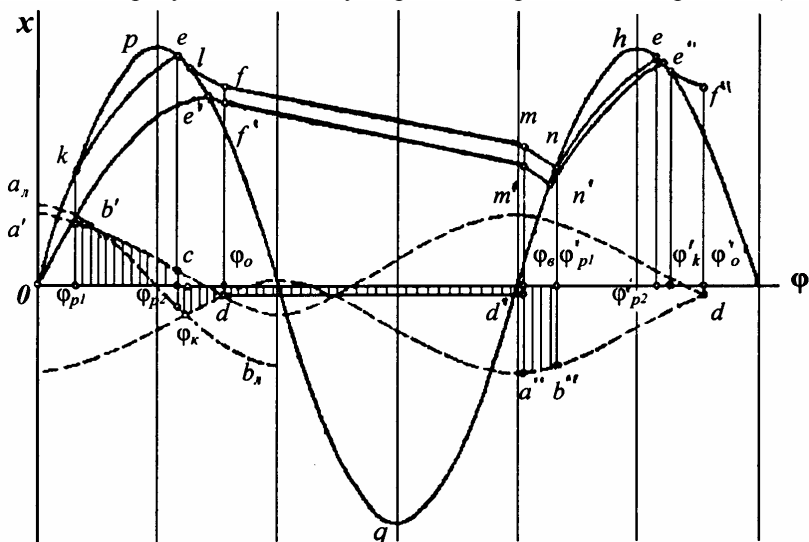


Рис. 2.13 – Графики скоростей при вибротранспортировании

Кривая $o-e'-f'-m'-n'-e'$ соответствует последовательному ряду начального разгона тела. Затем на протяжении нескольких циклов режим постепенно стабилизируется, т. е. тело переходит в установившийся режим движения, характеризуемый кривой $k-e-l-f-m-n-e$. Здесь:

1. Этап разгона ($k-e$ или $n-e$) – тело проскальзывает назад относительно лотка и его скорость увеличивается.
2. Этап совместного движения ($e-l$) – тело движется с лотком.
3. Этап первого торможения ($l-f$) – когда скорость тела оказалась выше скорости лотка и происходит проскальзывание вперед.
4. Этап микрополета ($f-m$) – определяемый параметром режима транспортирования ξ , когда тело потеряло контакт с поверхностью лотка.
5. Этап второго торможения ($m-n$) – тело продолжает терять скорость до выравнивания скоростей тела и лотка.

Важными показателями во всей картине вибротранспортирования являются моменты отрыва тела от лотка и его падения на лоток после микрополета, определяемые фазовыми углами φ_o и φ_e . При движении лотка вниз нормальная составляющая ускорения лотка уменьшается, а затем приобретает отрицательное значение. Когда отрицательное значение нормальной составляющей лотка становится равным значению нормальной составляющей земного ускорения, сила прижима становится равной нулю и тело теряет контакт с поверхностью лотка. Начинается этап микрополета.

Фазовый угол φ_o , при котором начинается отрыв заготовки от лотка, определяется из соотношения: $mg \cos \alpha = -mA_{\text{лн}}\omega^2 \cos \varphi_o$.

Тогда можно записать:

$$\varphi_o = -\arccos\left(\frac{g \cos \alpha}{A_{\text{лн}}\omega^2}\right) \quad (2.17)$$

и учитывая значение параметра ξ (см. (2.11)):

$$\varphi_o = \arccos\left(-\frac{1}{\xi}\right). \quad (2.18)$$

После микрополета тело (заготовка) падает на поверхность лотка. При этом во время микрополета лоток совершает движение по гармоническому закону, а тело движется по параболе. Суммарные пути от отрыва до падения должны быть одинаковыми. Тогда, после подстановки уравнений движения, получим трансцендентное уравнение:

$$\sin \varphi_o \cdot (\varphi_e - \varphi_o) - \frac{1}{\xi} \cdot \frac{(\varphi_e - \varphi_o)^2}{2} - \cos \varphi_o + \cos \varphi_e = 0. \quad (2.19)$$

Решение этого уравнения относительно φ_e позволяет вычислить фазовый угол встречи заготовки и лотка. Анализируя нормальные составляющие движения, можно определить максимальную величину отрыва заготовки от лотка ΔS_m и фазовый угол наибольшего удаления заготовки от лотка. Расстояние между заготовкой и лотком во время микрополета определяется как разность путей, пройденных заготовкой и лотком:

$$\Delta S = S_{\text{зн}} - S_{\text{лн}} = S_{\text{он}} + \int_{\varphi_o}^{\varphi} v_{\text{зн}} d\varphi - S_{\text{он}} - \int_{\varphi_o}^{\varphi} v_{\text{лн}} d\varphi. \quad (2.20)$$

Нормальная составляющая скорости заготовки v_{zn} определяется соотношением:

$$v_{zn} = A_{\text{лн}} \omega \sin \varphi_0 - \frac{g}{\omega} \cos \alpha \cdot (\varphi - \varphi_0), \quad (2.21)$$

а нормальная составляющая скорости лотка v_{zn} для гармонических колебаний:

$$v_{\text{лн}} = A_{\text{лн}} \omega \sin \varphi. \quad (2.22)$$

Как показывает анализ, максимальное расстояние между заготовкой и лотком ΔS_m будет в момент равенства их нормальных скоростей. Приравнявая значения v_{zn} и $v_{\text{лн}}$ при фазовом угле максимального отрыва φ_s , получаем:

$$A_{\text{лн}} \omega \sin \varphi_0 - \frac{g}{\omega} \cos \alpha \cdot (\varphi_s - \varphi_0) = A_{\text{лн}} \omega \sin \varphi_s \quad (2.23)$$

или

$$\sin \varphi_0 - \sin \varphi_s - \frac{\varphi_s - \varphi_0}{\xi} = 0. \quad (2.24)$$

Решая это трансцендентное уравнение, получим значение фазового угла максимального удаления заготовки от лотка, а сама величина удаления определяется формулой:

$$\Delta S_m = \frac{A_{\text{лн}}}{\xi} \left[(\varphi_s - \varphi_0) \sqrt{\xi^2 - 1} - \frac{(\varphi_s - \varphi_0)^2}{2} + \xi \cos \varphi_s + 1 \right]. \quad (2.25)$$

Значения фазовых углов моментов отрыва, встречи (падения) и максимального удаления, полученные путем решения приведенных уравнений, приводятся на графиках рис. 2.14. Как видно из приведенных графиков, по мере роста параметра режима ξ момент отрыва начинается раньше, а момент встречи – позже и, таким образом, длительность полета увеличивается. При $\xi = 1$ отрыва заготовки от лотка не происходит, а при $\xi = 3,3$ длительность полета равна 2π , т. е. полет заготовки происходит в течение всего цикла и наступает режим непрерывного подбрасывания.

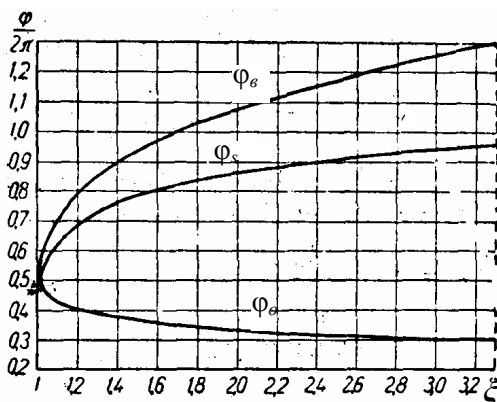


Рис. 2.14 – Фазовые углы отрыва, встречи и максимального удаления

Анализ графика приведенного на рис. 2.13 показывает, что в зависимости от выбранных параметров движения лотка (величины ξ , определяющей фазовые углы отрыва и встречи заготовки с лотком, φ_0 и φ_β и углов β и α), средняя скорость движения заготовки $v_{зн}$ будет приближаться к максимальной скорости лотка $v_{лн. max}$, оставаясь всегда меньше нее.

Критерием эффективности режима вибротранспортирования является коэффициент скорости K_c , показывающий, насколько средняя скорость заготовки в данном режиме приближается к продольной скорости лотка:

$$K_c = \frac{v_{зн}}{v_{лн. max}}. \quad (2.26)$$

И для гармонического закона колебательного движения:

$$K_c = \frac{v_{зн}}{A_{лн} \omega}. \quad (2.27)$$

Для унификации рассмотрения процесса движения вводятся безразмерные коэффициенты:

$$K_\alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{f}, \quad (2.28)$$

$$K_{\beta} = \frac{\operatorname{ctg}(\beta - \alpha)}{f}. \quad (2.29)$$

Зная K_c , всегда можно определить среднюю скорость движения заготовки. Вместе с тем, выбирая режим вибротранспортирования, стремятся получить максимально возможное значение K_c , поскольку это будет снижать динамическую нагрузку на вибротранспортер. От изменения параметров движения будет зависеть и характер транспортирования. Наиболее общий пятиэтапный режим с максимальным числом этапов движения рассмотрен ранее и представлен на рис. 2.13. Однако при изменении параметра режима ξ , круговой частоты ω , амплитуды колебаний A_d , угла бросания β , угла наклона лотка α , коэффициента трения f , картина движения будет изменяться и возможны режимы с различными этапами движения [22, 33].

Для различных значений параметра режима ξ и K_{β} при $K_{\alpha} = 0$ вычислены значения K_c , представленные графиками рис. 2.15.

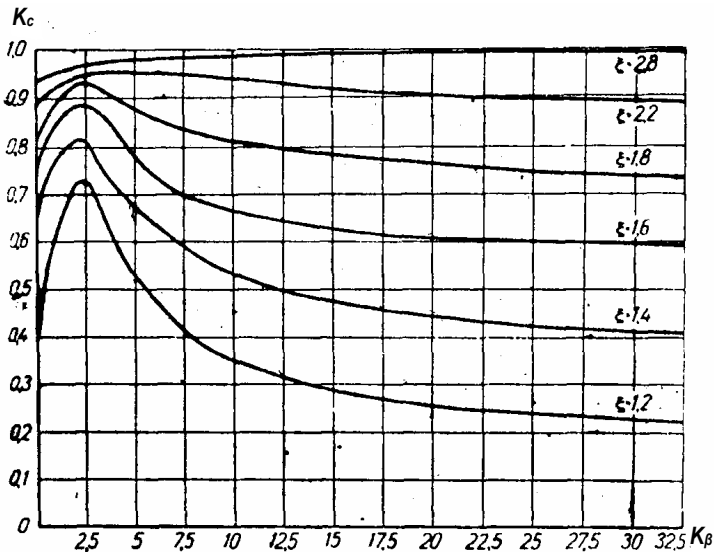


Рис. 2.15 – Зависимость K_c от K_{β} и ξ при $K_{\alpha} = 0$

Как видно из представленных графиков, коэффициент скорости возрастает с увеличением параметра режима ξ . Графики дают воз-

возможность определить коэффициенты скорости для заготовок с различными значениями коэффициента трения.

Приведенные ранее уравнения движения заготовки по вибрирующему лотку показывают, что скорость транспортирования, а, следовательно, и коэффициент скорости K_c зависят и от угла подъема, характеризуемого коэффициентом K_a . Вычисленные значения коэффициента скорости K_c при $\xi = 1,6$ для различных значений K_a приводятся на графиках рис. 2.16.

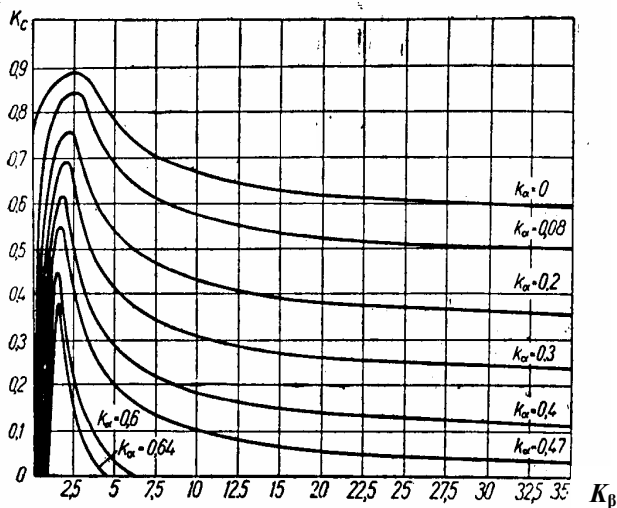


Рис. 2.16 – Зависимости K_c от K_a и K_β при $\xi = 1,6$

Приведенные здесь графики дают возможность определить коэффициент скорости K_c для заготовок с разными коэффициентами трения при различных углах подъема лотка для $\xi = 1,6$ и неупругом ударе заготовки о лоток после микрополета. При других значениях параметра режима ξ численные значения K_c будут другими, но общая картина сохранится.

Построенные графики основаны на уравнениях, не учитывающих явления удара заготовки о лоток. При абсолютно неупругом ударе и параметре режима $\xi = 3,3$ (см. рис. 2.14) наступает режим непрерывного подбрасывания, т. е. режим движения становится одноэтапным. Рассмотренная картина вибротранспортирования не учитывала передачу энергии при соударении и для нее при $\xi = 3,3$ движение

вверх осуществляться не будет. Если же учесть передачу энергии при соударении, то и для таких режимов должно осуществляться движение при $\alpha > 0$.

Процесс соударения связан с упругими свойствами транспортируемых изделий и лотка и является довольно сложным. Вместе с тем, реальные заготовки и лотки не являются абсолютно неупругими и эти свойства необходимо учитывать. Введение учета упругих свойств значительно усложняет картину виброперемещения, поскольку упругий удар будет проявляться во всех случаях отрывных режимов вибротранспортирования.

Явление упругого удара, прежде всего, скажется на нормальной к поверхности лотка составляющей движения. Тогда после соударения в конце этапа микрополета заготовка вновь оторвется от поверхности лотка и совершит следующий, вторичный микрополет.

При этом возможны следующие случаи: либо вторичные прыжки будут постепенно затухать и в течение одного периода (до следующего регулярного момента отрыва) они прекратятся и начнется движение заготовки по поверхности лотка; либо прыжки не успеют затухнуть до следующего регулярного момента отрыва и транспортируемая заготовка, совершая несколько прыжков за каждый период, войдет в режим непрерывного подбрасывания. При непрерывном подбрасывании возможны также два случая: либо цикл прыжков (количество и моменты соударений) замкнется в пределах одного периода колебаний лотка; либо цикл замкнется за пределами одного периода, т. е. цикличность прыжков будет определяться несколькими периодами колебаний транспортирующего лотка. Наконец, возможна комбинация этих случаев, т. е. в течение нескольких периодов заготовка находится в режиме непрерывного подбрасывания, затем прыжки затухают, следует этап движения заготовки по поверхности лотка и весь цикл повторяется.

Таким образом, по характеру движения возможны режимы:

I – по длительности цикла: а) равные одному периоду; б) больше одного периода.

II – по характеру прыжков: а) с периодически чередующимися прыжками и скольжением; б) с непрерывным подбрасыванием.

Рассмотрим движение транспортируемой заготовки относительно лотка в плоскости действия земного ускорения g и направлений колебаний лотка в нормальном к его поверхности направлении.

Пусть лоток совершает гармонические колебания. Тогда его скорость в рассматриваемом направлении запишется:

$$v_{\text{лн}} = A_{\text{лн}} \omega \sin \varphi. \quad (2.30)$$

После очередного соударения заготовки с лотком скорость заготовки в нормальном направлении $v_{zn,i}$ будет:

$$v_{zn,i} = R v_{c,i} + A_{\text{лн}} \omega \sin \varphi_i, \quad (2.31)$$

где R – коэффициент восстановления;

$v_{c,i}$ – скорость соударения заготовки с лотком;

$A_{\text{лн}}$ – амплитуда колебаний лотка в нормальном к его поверхности направлении;

ω – круговая частота колебаний;

φ_i – фазовый угол соударения заготовки с лотком.

Для постоянного сочетания транспортируемых заготовок и лотка при установившемся режиме можно принять $R = \text{const}$. Истинная величина R должна определяться для конкретного сочетания заготовок, транспортирующего лотка и режима транспортирования. Скорость каждого последующего соударения:

$$v_{c,i+1} = A_{\text{лн}} \omega \sin \varphi_{i+1} - A_{\text{лн}} \omega \sin \varphi_i - R v_{c,i} + \frac{g}{\omega} \cos \alpha (\varphi_{i+1} - \varphi_i), \quad (2.32)$$

где g – ускорение свободного падения;

α – угол подъема транспортирующего лотка.

Обычно отрывные режимы характеризуются отношением проекций на нормаль амплитуды ускорения лотка и ускорения свободного падения, т. е. параметром ξ (2.11).

Для первой скорости соударения, т. е. скорости соударения после первого микрополета, получаем:

$$v_{c,1} = \frac{g \cos \alpha}{\omega} \left[\xi (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_0) + \varphi_1 - \varphi_0 \right], \quad (2.33)$$

где φ_0 и φ_1 – соответственно фазовые углы отрыва и падения заготовки.

Введя обозначения $\xi (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_0) + \varphi_1 - \varphi_0 = n$ и $v_{c,i+1} = \zeta_i v_{c,i}$, после соответствующих преобразований уравнения (2.32) можем получить коэффициент скорости соударения ζ_i для любого соударения:

$$\zeta_i = \frac{\xi (\sin \varphi_i - \sin \varphi_{i-1}) + \varphi_i - \varphi_{i-1}}{n} - R \zeta_{i-1}. \quad (2.34)$$

Для определения каждого последующего фазового угла соударения φ_i принимаем, что пути, пройденные в нормальном к поверхности лотка направлении от момента отрыва до момента соударения лотка с изделием, равны. Тогда можно записать:

$$\int_{\varphi_{i-1}}^{\varphi_i} \left[A_{\text{лн}} \omega \sin \varphi_{i-1} + R v_{c,i-1} - \frac{g}{\omega} \cos \alpha (\varphi - \varphi_{i-1}) \right] d\varphi = \int_{\varphi_{i-1}}^{\varphi_i} A_{\text{лн}} \sin \varphi d\varphi, \quad (2.35)$$

откуда получаем трансцендентное уравнение:

$$\left(\sin \varphi_{i-1} + \frac{R \zeta_{i-1} n}{\xi} \right) (\varphi_i - \varphi_{i-1}) - \frac{(\varphi_i - \varphi_{i-1})^2}{2\xi} + \cos \varphi_i - \cos \varphi_{i-1} = 0. \quad (2.36)$$

За первым микрополетом последует второй и т. д.; фазовые углы соударений и коэффициенты скорости соударения могут быть последовательно определены решением уравнений (2.34) и (2.36). Таким образом, длительность этапа прыжков в общем цикле транспортирования возрастает. Последующие прыжки постепенно затухают, и, если они успеют затухнуть до следующего момента отрыва, наступит этап скольжения изделия по поверхности лотка. В противном случае наступит либо режим непрерывного подбрасывания, либо режим с циклом, выходящим за рамки одного периода колебаний лотка.

Результаты последовательного решения уравнений (2.34) и (2.36) на ЭВМ для различных сочетаний R и ξ с целью выявления границы перехода от этапа прыжков к этапу скольжения показывают, что упругие свойства транспортируемых изделий существенно сдвигают границу перехода от прыжков к скольжению, а режимы непрерывного подбрасывания начинаются значительно раньше, чем при условии $R = 0$.

При экспериментальном исследовании процесса вибротранспортирования было замечено, что между заготовкой и поверхностью лотка возникают силы взаимодействия, которые изменяют режимы движения. Таким образом, на характер вибротранспортирования оказывает влияние не только R , но и сила взаимодействия между транспортирующим лотком и транспортируемым телом. Это взаимодействие в нормальном направлении было названо “прилипанием”. В основном, такое торможение движения в нормальном к поверхности лотка направлении обусловлено аэродинамическим эффектом (на 90-95 %) и значительно меньше – наличием тонких прослоек смазки, адгезией и т.п.

Поскольку частота колебаний рабочего органа довольно высока, то скорости движения в момент отрыва оказываются значительными. Тогда, при отрыве тела от поверхности лотка (см. рис. 2.17) между ними образуется зазор δ , в который воздух при большой скорости не

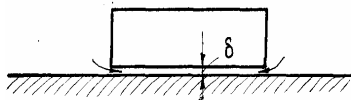


Рис. 2.17 – Отрыв тела от поверхности

успевает войти и образуется разрежение в зазоре, т. е. тело прижимается атмосферным давлением к поверхности лотка. Во время соударения картина повторяется в обратном порядке, что будет снижать коэффициент восстановления R .

При вибротранспортировании заготовок сила прилипания будет удерживать транспортируемое тело на поверхности рабочего органа и при использовании отрывных режимов будет затягивать (сдвигать) момент отрыва тела от лотка. Тогда для момента начала свободного полета тела, определяемого фазовым углом φ'_a , можно записать:

$$mg \cos \alpha + mA_{\text{лн}} \omega^2 \cos \varphi'_a + F_{np} = 0, \quad (2.37)$$

где m – масса транспортируемого тела;

F_{np} – сила прилипания, действующая в нормальном к поверхности лотка направлении.

Решая уравнение (2.37) относительно φ'_a , получим:

$$\varphi'_a = \arccos \left(- \frac{1 + \frac{F_{np}}{mg \cos \alpha}}{\xi} \right). \quad (2.38)$$

Введя безразмерный коэффициент прилипания $C_{np} = \frac{F_{np}}{mg \cos \alpha}$,

запишем:

$$\varphi'_a = \arccos \left(- \frac{1 + C_{np}}{\xi} \right). \quad (2.39)$$

Изменение момента отрыва за счет силы прилипания приведет к изменению момента встречи $\varphi_в$ и вообще к изменению режима транспортирования. Так как после отрыва следует этап полета, то как и ранее, приравняв пути, пройденные в нормальном к лотку направлении транспортируемым телом и лотком, запишем:

$$\int_{\varphi'_a}^{\varphi_в} \left[A_{лн} \omega \sin \varphi'_a - \frac{g \cos \alpha}{\omega} (\varphi - \varphi'_a) \right] d\varphi = \int_{\varphi'_a}^{\varphi_в} A_{лн} \sin \varphi d\varphi, \quad (2.40)$$

откуда

$$\sin \varphi'_a (\varphi_в - \varphi'_a) - \frac{(\varphi_в - \varphi'_a)^2}{2\xi} + \cos \varphi_в - \cos \varphi'_a = 0. \quad (2.41)$$

Решение уравнения (2.41) позволяет получить фазовый угол встречи для различных значений C_{np} и ξ .

Анализ движения с учетом C_{np} показывает, что сила прилипания сдвигает режим безотрывного транспортирования по оси ξ вправо, т. е. увеличение коэффициента прилипания C_{np} приводит к увеличению граничного ξ , до которого осуществляется режим безотрывного транспортирования. После граничного ξ моменты отрыва и встречи расходятся довольно круто и достигают значений, близких к значениям для $C_{np} = 0$.

После соударения наступает этап последующего микрополета, обусловленный упругими свойствами заготовки и лотка.

Поскольку коэффициент восстановления R есть отношение скоростей после и до соударения, то явление прилипания будет изменять коэффициент восстановления, а в остальном картина повторных микрополетов будет описываться так же, как и без прилипания.

При вибротранспортировании заготовок в автоматических загрузочных устройствах важно сохранить их ориентацию, полученную ранее. На сохранение ориентации, особенно для мелких заготовок, существенно влияет величина максимального удаления транспортируемой заготовки от лотка, т. е. высота микрополета заготовок над транспортирующим лотком. Кроме того, большие величины отрывов транспортируемых заготовок будут нарушать плавность их движения.

Величина удаления заготовок от лотка ΔS , выраженная в A_n , может быть получена трансформированием уравнения (2.36). Посколь-

ку предполагалось, что при φ_i относительное перемещение $\Delta S = 0$, то для переменного значения φ можно записать:

$$\Delta S = \left(\sin \varphi_{i-1} + \frac{Rn\zeta_{i-1}}{\xi} \right) (\varphi - \varphi_{i-1}) - \frac{(\varphi - \varphi_{i-1})^2}{2\xi} + \cos \varphi - \cos \varphi_{i-1}. \quad (2.42)$$

Здесь φ_{i-1} – фазовый угол отрыва в начале полета заготовки;

ζ_{i-1} – соответствующий коэффициент скорости соударения.

Экстремальное значение получается дифференцированием уравнения (2.42) и приравниванием его к нулю. Тогда фазовый угол максимального удаления в каждом микрополете φ_m определяется из уравнения:

$$\sin \varphi_{i-1} + \frac{Rn\zeta_{i-1}}{\xi} - \frac{\varphi_{mi} - \varphi_{i-1}}{\xi} - \sin \varphi_{mi} = 0. \quad (2.43)$$

Результаты последовательного решения уравнений (2.34), (2.39), (2.41), (2.43), (2.42) для различных сочетаний R , C_{np} и ξ приведены на рис. 2.18. Здесь по оси ординат отложено наибольшее значение величины максимального отрыва ΔS_m (в мм) из всей серии последовательных микрополетов для частоты колебаний транспортирующего лотка $\nu = 50$ Гц. По оси абсцисс отложено значение параметра ξ . Кривые рис. 2.18 показывают, что при $R = 0$ и $C_{np} = 0$ величины максимальных отрывов определяются монотонной кривой ОА. Введение $R \neq 0$ изменяет характер движения. Теперь до определенного значения параметра ξ величина ΔS_m , такая же, как и при $R = 0$, но, начиная от некоторого значения, назовем его предельным значением ξ_R , величина ΔS_m круто уходит вверх, указывая на резкий рост величины максимального отрыва после ξ_R . Значения ξ_R для различных R соответствуют значениям ξ , при которых окончание этапа прыжков совпадает с моментом следующего регулярного отрыва.

Анализ характера последующих этапов полета показывает также, что после значения ξ_R нарушается регулярность в пределах одного периода колебаний, т. е. количество и фазы соударений в разные периоды будут различными, периоды непрерывного подбрасывания могут сменяться периодами, имеющими этапы скольжения. Следует отметить, что при таких режимах часть соударений приходится на моменты, когда лоток имеет отрицательную скорость, в силу чего ожидать значительного увеличения скорости не приходится.

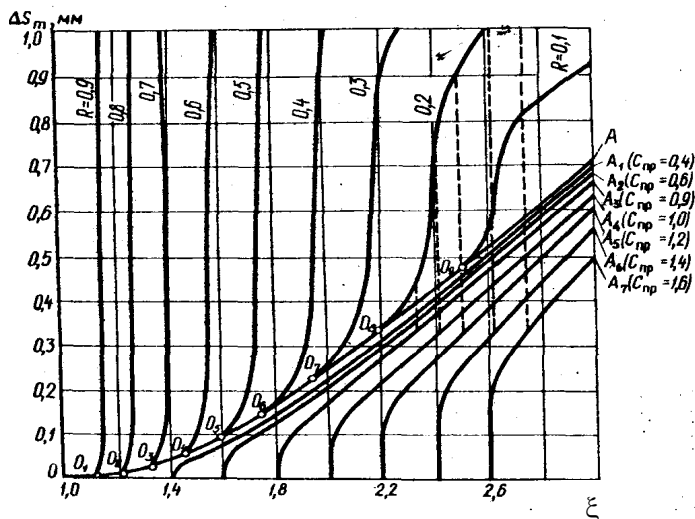


Рис. 2.18 – Величина максимального отрыва заготовок от лотка ΔS для различных сочетаний R , C_{np} и ξ при $v = 50$ Гц

Поскольку в режимах с $\xi > \xi_R$ величина прыжков и фазовые углы существенно зависят от R , а последний будет зависеть от целого ряда факторов, в том числе от положения заготовок при соударении, от касательной скорости в момент удара, то регулярность движения заготовки вообще будет нарушена. Заготовка начинает двигаться с переменной скоростью и различными по величине прыжками. Такое явление было отмечено в экспериментальных исследованиях и было названо “хаотическим” движением.

При $R = 0$ и $C_{np} \neq 0$ величины максимальных отрывов характеризуются кривыми O_1A_1 , O_2A_2 и т. д. Введение C_{np} сдвигает начало отрывного режима и несколько уменьшает величину прыжков. Однако, как показывают проведенные расчеты, при $R \neq 0$ и величине отрыва ΔS_m , соответствующего ξ_R при $C_{np} = 0$, величина отрыва прыжком переходит на кривую соответствующего R . Таким образом, для отыскания предельного значения ξ с учетом R и C_{np} достаточно через соответствующее значение ξ_R провести горизонтальную прямую до пересечения с кривой O_iA_i , отвечающей заданному C_{np} , и точка пересечения даст искомую величину. Для обычных изделий машиностроения C_{np} редко превышает значение 0,5, поэтому для выбора предельного значения ξ можно влиянием C_{np} пренебречь и назначить предельное значение по графику рис. 2.19.

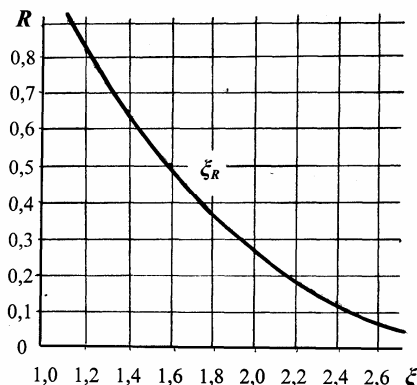


Рис. 2.19 – Зависимость предельного значения ξ_R от величины R

Проведенный анализ нормальной составляющей движения при вибротранспортировании позволяет осуществить выбор параметра ξ в зависимости от свойств транспортируемых заготовок.

С учетом принятой картины нормального движения график продольной скорости может быть представлен диаграммой рис. 2.20, где продольная скорость лотка представляется синусоидой, а скорость тела – кривой $a-b-c-d'-e-e'-f-f'-a^*$. После окончания микрополетов от φ_k до φ_0 заготовка находится на поверхности транспортирующего лотка и либо скользит назад, либо скользит вперед, либо находится в относительном покое. После момента φ_0 изделие совершает основной микрополет, а затем следуют последовательные прыжки $\varphi_n-\varphi_1$, $\varphi_1-\varphi_2$ и т. д. В моменты каждого соударения изделию сообщаются импульсы продольного ускорения, ступенчато изменяющие его продольную скорость.

После окончания этапа прыжков (φ_k) скорость изделия может оказаться ниже скорости лотка, как показано на рис. 2.20, равной или выше ее. Если скорость изделия ниже скорости лотка, то будет происходить разгон изделия (относительное скольжение назад), пока скорости тела и лотка не сравняются, т. е. до момента φ_{p1} . При скольжении назад на изделие действует критическое ускорение $F_{kp} = gf$ и можно записать:

$$\ddot{x} = g(f \cos \alpha - \sin \alpha) + A_{\text{лн}} \omega^2 f \cos \varphi \quad (2.44)$$

и

$$\dot{x} = \frac{g}{\omega} (f \cos \alpha - \sin \alpha) + A_{\text{лн}} \omega^2 f \sin \varphi + C, \quad (2.45)$$

где f – коэффициент трения.

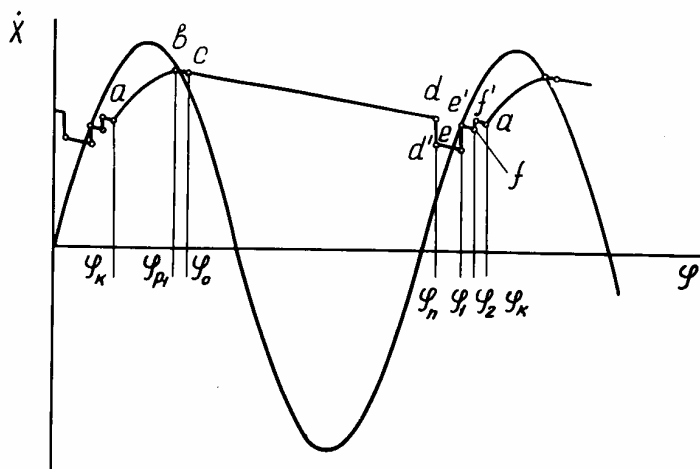


Рис. 2.20 – Диаграмма продольной составляющей скорости движения

Введя коэффициенты K_α и K_β (см. ранее) и отнеся абсолютную скорость к максимальной скорости лотка ($A_{m\omega}$), после подстановки начальных условий и соответствующих преобразований для приращенния скорости на этапе $\varphi_a - \varphi_b$ получим:

$$v_{m1} = v_{mн} + \frac{1}{\xi K_\beta} \left[(1 - K_\alpha)(\varphi_b - \varphi_a) + \xi(\sin \varphi_b - \sin \varphi_a) \right], \quad (2.46)$$

где $v_{mн}$ – начальная скорость тела.

Если разгон изделия длится до момента отрыва φ_0 , то этап скольжения сменяется этапом полета. Если же разгон длится до момента выравнивания скоростей, то после выравнивания скоростей наступает либо этап совместного движения изделия и лотка, либо начинается этап торможения, т. е. проскальзывание вперед.

После проскальзывания вперед наступает момент отрыва и после совместного движения наступает этап полета (этап прыжков).

Если после этапа прыжков скорость тела окажется выше скорости лотка, то этап движения изделия по поверхности лотка начнется со скольжения вперед (торможения)

Для этапа свободных полетов во время каждого микрополета действует только проекция ускорения свободного падения $g \sin \alpha$ и тогда изменение скорости, отнесенное к максимальной скорости лотка за каждый микрополет, запишется:

$$\Delta v_{mni} = \frac{K_\alpha}{K_\beta \xi} (\varphi_i - \varphi_{i-1}). \quad (2.47)$$

Вместе с тем, после микрополета при каждом соударении тела с лотком первому из них сообщается импульс движения, в результате которого скорость изделия изменяется на величину Δv_{mni} . Полагая, что во время соударения гипотеза Амонтона, связывающая силу трения с нормальной реакцией, остается справедливой, и, рассмотрев соударение двух упругих тел или упругие деформации за конечный промежуток времени, получим уравнение для определения импульса изменения скорости:

$$\Delta v'_{mci} = -f(1+R)v_{ci} \text{sign} v_{m.l}, \quad (2.48)$$

где $v_{m.l}$ — скорость тела относительно лотка.

Однако уравнение (2.48) не учитывает аэродинамического торможения и в него следовало бы (с учетом влияния среды) подставлять R_0 и действующую скорость соударения, т.е. $v_{ci} - \Delta v_{nli}$. После подстановки этих значений и соответствующих преобразований получим:

$$\Delta v_{mci} = - \left[\frac{(1+R)n}{\xi K_\beta} \zeta_i - \frac{(1-\sqrt{R})\sqrt{C_{np}n(\varphi'_a - \varphi_o)}}{\xi K_\beta} \sqrt{\zeta_i} \right] \text{sign} v_{m.l}. \quad (2.49)$$

На основании экспериментальных исследований показано, что коэффициент трения f при ударе изменяется и соответствует случаю больших удельных давлений, т. е. численная величина уменьшается. Обозначив

$$\Pi = \frac{f_{y\partial}}{f}, \quad (2.50)$$

где $f_{y\partial}$ — коэффициент трения при ударе, получим окончательное уравнение для определения импульса скорости при соударении тела с транспортирующим лотком:

$$\Delta v_{mci} = -\Pi \left[\frac{(1+R)n}{\xi K_\beta} \zeta_i - \frac{(1-\sqrt{R})\sqrt{C_{np}n(\varphi'_a - \varphi_o)}}{\xi K_\beta} \sqrt{\zeta_i} \right] \text{sign} v_{m.l}. \quad (2.51)$$

Для вычисления средней скорости находим перемещения тела на всех этапах, суммируя эти перемещения и делим сумму на длительность цикла. Поскольку скорости представлены в безразмерном виде отнесением к амплитудной скорости лотка, то и перемещение получаем в амплитудах колебаний лотка. Безразмерный вид средней скорости является коэффициентом скорости, обозначаемым K_c .

Сложная зависимость средней скорости транспортирования от ряда факторов существенно затрудняет анализ процесса. Для различных сочетаний ξ , K_α , K_β , R , C_{np} были просчитаны и проанализированы получаемые коэффициенты скорости K_c . На основании обработки результатов, полученных для конкретных различных сочетаний параметров, было установлено, что увеличение коэффициента восстановления R увеличивает суммарное время микрополетов и уменьшает предельное значение ξ_R . Такие изменения адекватны увеличению действительного значения ξ . Увеличение параметра C_{np} сдвигает момент начала отрыва и уменьшает длительность микрополета. Таким образом, этот параметр действует вопреки параметру ξ и, по воздействию на продольную составляющую движения, адекватен уменьшению действительного параметра ξ . Дальнейший анализ показывает, что для эффективных режимов и обычных условий вибротранспортирования коэффициенты скорости, учитывающие упругий удар и явление прилипания, близки к значениям коэффициента скорости, рассчитанного для абсолютно неупругого удара, что может быть использовано для обычных расчетов. Влияние же упругого удара и явления прилипания необходимо учитывать при выборе режимов вибротранспортирования. Кроме того, большие значения R и C_{np} могут сделать неосуществимыми отрывные режимы для данных условий, и необходимо будет применять специальные меры.

Как видно из графиков рис. 2.16, угол наклона лотка (угол подъема) α существенно влияет на коэффициент скорости K_c , да и на сам процесс вибротранспортирования.

Проведенные расчеты изменения коэффициента скорости для различных сочетаний параметров ξ , K_α , K_β , R , C_{np} , ω при гармоническом законе колебаний транспортирующей плоскости показывают, что коэффициент угла подъема K_α и коэффициент скорости K_c связаны параболической зависимостью:

$$K_c = K_{co} \sqrt{1 - \frac{K_\alpha}{K_{\alpha \text{ пред}}}}, \quad (2.52)$$

где K_{co} – коэффициент скорости при $K_\alpha = 0$ (горизонтальный лоток);

$K_{\alpha \text{ пред}}$ – предельное значение K_α , при котором $K_c = 0$.

Исследования показывают, что $K_{\alpha \text{ пред}}$ зависит от параметра ξ и коэффициента K_{β} , причем с ростом и того и другого $K_{\alpha \text{ пред}}$ уменьшается.

И проведенные расчеты и экспериментальные зависимости позволяют представить зависимость K_c от K_{α} кривой рис. 2.21. В реальных условиях при транспортировании массы заготовок для разных заготовок, изготовленных из одного материала и имеющих одинаковые размеры и форму, коэффициент трения для каждой из заготовок будет несколько отличаться и тогда для партии заготовок следует говорить о поле K_{α} шириной Δ . Следовательно, коэффициент скорости K_c для партии заготовок будет переменным в некоторых пределах, что иллюстрируется рис. 2.21. При этом можно отметить, что при малых значениях K_{α} (небольшой угол подъема) разброс K_c , определяемый величиной Δ_1 , будет небольшим. При увеличении угла подъема и той же ширине изменений коэффициента трения f разброс K_c , определяемый величиной Δ_2 , будет больше, что приведет к большой неравномерности движения заготовок по лотку, а скорость движения уменьшится. Полученные результаты указывают на необходимость по возможности уменьшать угол подъема лотка для осуществления эффективных режимов транспортирования и высоких скоростей и равномерности движения заготовок.

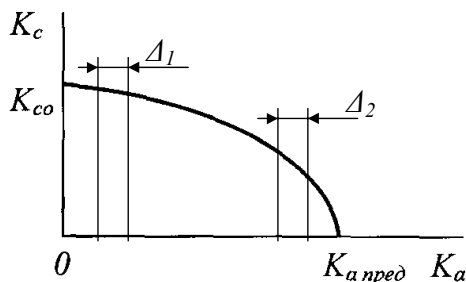


Рис. 2.21 – Зависимость K_c от K_{α}

Проведенные расчеты показывают, что для высокоэффективных режимов транспортирования с определенным запасом можно принять $K_{\alpha \text{ пред}} \approx 0,3$. Это допущение снижает точность расчетов, однако, позволяет упростить их и представить рабочее уравнение (2.52) в более простом виде:

$$K_c = K_{co} \sqrt{1 - 3K_{\alpha}} . \quad (2.53)$$

Изложенный материал позволяет осуществлять выбор оптимального режима вибротранспортирования.

Под оптимальным режимом вибротранспортирования будем понимать режимы, позволяющие получить заданную скорость транспортирования с максимальным коэффициентом скорости, т. е. заданную скорость при минимально возможной амплитуде колебаний лотка. Как будет показано ниже, для целей вибротранспортирования наиболее приемлемым является гармонический закон колебательного движения транспортирующей поверхности. Проведенный анализ вибротранспортирования показывает, что отрывные режимы позволяют получить более высокие коэффициенты скорости. При этом увеличение параметра режима ξ ведет к увеличению коэффициента скорости K_c (см. рис. 2.15).

Таким образом, средняя скорость транспортирования по вибрирующему лотку с наклонным направлением колебаний (α в конечном счете нас интересует именно скорость, ибо она определяет производительность и работоспособность загрузочного устройства) зависит не только от режимов колебания лотка, т. е. амплитуды колебаний A , частоты ω , угла бросания β , угла подъема α , но и ряда других факторов: коэффициента трения f , коэффициента восстановления R , коэффициента прилипания C_{np} , которые в свою очередь зависят от целого ряда условий и определить их заранее оказывается довольно трудно. Поэтому выбор оптимального режима ведется с рядом допущений.

Величины f , R , C_{np} зависят от реальных свойств подаваемых заготовок и не могут управляться. Поэтому, зная необходимую скорость v_z , следует выбрать остальные параметры с тем, чтобы обеспечить заданную скорость v_z .

Величина α выбирается по конструктивным соображениям, при этом, как уже отмечалось, всегда следует стремиться к уменьшению α с целью увеличения эффективности виброперемещения.

Затем следует выбрать или определить собственно режимы вибротранспортирования, т. е. определить ω , A , β .

Частота колебаний лотка определяется конструкцией вибратора. При использовании электромагнитных вибраторов она выбирается равной либо 50 Гц, либо 100 Гц (исходя из частоты промышленной сети $\nu = 50$ Гц). При использовании мотор-вибраторов (привод от электродвигателя) частота выбирается 25 или 50 Гц. При использовании пока менее распространенных пневмовибраторов или электромагнитных вибраторов с регулируемым приводом, частота может быть выбрана и отличной от указанных. Однако, чем выше частота, тем больше издаваемый вибротранспортом шум, но плавнее движение заготовок.

Исходя из практики создания и эксплуатации малых вибротрибометров в зависимости от размеров вибрирующей поверхности S могут быть использованы рекомендации, приведенные в таблице 2.1.

Таблица 2.1

$S, \text{дм}^2$	< 3	$5 \dots 20$	> 20
$\nu, \text{Гц}$	100	50	25

После выбора частоты ω ($\omega = 2\pi\nu$) приступают к определению A и β . Прежде всего необходимо выбрать параметр режима ξ . При этом следует иметь в виду, что чем выше ξ , тем меньше зависимость скорости от коэффициента трения, т. е. тем меньше разброс по скорости для различных заготовок и, следовательно, стабильнее их движение, и тем выше эффективность самого режима транспортирования (выше K_c). Однако ранее уже отмечалось, что упругие свойства транспортируемых заготовок ограничивают выбор ξ . Таким образом, мы стремимся выбрать наибольшее допустимое значение ξ и если известна величина R , то по приведенному ранее графику (рис. 2.19) выбираем $\xi < \xi_R$ (обычно $\xi = 0,9\xi_R$).

Если же величина R неизвестна, то при наличии образцов подаваемых заготовок и вибростенда можно определить ξ_R экспериментально по фиксации вертикальной амплитуды колебаний вибрирующей поверхности при наступлении хаотических режимов, т. е. при резком увеличении величины отрывов и возникновении дребезжащего звука.

Если же в наличии нет образцов заготовок, которые должны транспортироваться или нет измерительного вибростенда, то приходится пользоваться приближенными экспериментальными значениями. Для небольших плоских заготовок, движущихся по плоскому лотку при частоте колебаний $\nu = 50 \text{ Гц}$ значения ξ_R можно выбрать из таблицы 2.2:

Таблица 2.2

Материал заготовки и лотка	$\xi_{R(50)}$
Твердая сталь по стали	$1,6 \dots 1,8$
Алюминий по стали	$1,9 \dots 2,1$
Бронза по стали	$1,5 \dots 1,6$
Сталь по резине	$2,25$
Пластмассы (эбонит, винипласт, гетинакс) по стали	$2,1$

Значения предельного ξ_R для других частот при наличии прилипания можно определить приближенно по соотношению:

$$\xi_R \approx \xi_{R(50)} \sqrt{v/50} . \quad (2.54)$$

Для мелких заготовок с малым коэффициентом прилипания и большой упругостью, т. е. имеющих высокую упругость при соударении (стальные, латунные, бронзовые и т. п. заготовки с заусенцами, буртиками, выступающими поверхностями и уступами) значения $\xi_{R(50)}$ следует снизить примерно в 1,5 раза и применять для всех частот, т. е. принять

$$\xi_R \approx \frac{\xi_{R(50)}}{1,5} = \text{const} . \quad (2.55)$$

Приняв определенное значение ξ_R для работы можем определить нормальную составляющую амплитуды колебаний из соотношения (2.11):

$$A_{\text{н}} = \frac{\xi g \cos \alpha}{\omega^2} . \quad (2.56)$$

Для определения продольной составляющей амплитуды колебаний можем воспользоваться соотношением (2.27), откуда

$$A_{\text{л}} = \frac{v_{\text{зн}}}{K_c \omega} . \quad (2.57)$$

Продольная скорость транспортирования заготовок задается условиями производительности. Круговая частота ($\omega = 2\pi\nu$) нами уже выбрана. Теперь остается определить достижимый коэффициент скорости K_c . Как уже показано,

$$K_c = f(\xi, K_\beta, K_\alpha, R, C_{\text{нп}}) . \quad (2.58)$$

Полагая, что влияние R и $C_{\text{нп}}$ ослаблено соответствующими конструктивными мерами и для высокоскоростных режимов полагаем также влияние K_β слабым (см. графики рис. 2.15). Тогда принимаем для расчетов (это грубое допущение, но при назначении оптимального

режима приходится принимать ряд допущений, и более точные расчеты не имеют смысла) в качестве исходного $K_\beta = 10$ и данные, приведенные на рис. 2.15, сводим в таблицу 2.3:

Таблица 2.3

ξ	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8
$K_{c\text{исх}}$	0,35	0,55	0,67	0,82	0,93	0,98

Теперь, с учетом K_α можно записать:

$$K_c = K_{c\text{исх}} \sqrt{1 - 3K_\alpha}. \quad (2.59)$$

С помощью выражения (2.57) вычисляем продольную амплитуду колебаний $A_{\text{пл}}$ и находим общую амплитуду колебаний вибрирующей поверхности

$$A_{\text{л}} = \sqrt{A_{\text{лн}}^2 + A_{\text{лп}}^2}, \quad (2.60)$$

а угол бросания или угол наклона направления колебаний

$$\beta = \alpha + \arctg \frac{A_{\text{лн}}}{A_{\text{лп}}}. \quad (2.61)$$

Таким образом, определены основные параметры режимов вибротранспортирования, позволяющие осуществить высокую эффективность. В реальных условиях амплитуда колебаний рабочей поверхности может быть подрегулирована (регулируемая в определенных пределах) за счет конструкции самой вибромашины и при ее наладке в определенной мере будут скорректированы принятые допущения. При этом может быть небольшое отклонение в сторону уменьшения эффективности, однако обычно это в пределах допустимого.

2.4.2. Специальные случаи вибротранспортирования

В тех случаях, когда заготовки имеют высокий коэффициент прилипания $C_{\text{пр}}$ (большая поверхность при малом весе, т. е. аэродинамическое сопротивление относительно велико), большой коэффициент восстановления R (материалы довольно упруги и конфигурация способствует этому), а также в специальных случаях (например, подача изделий на контрольную позицию) применение отрывных режимов

может оказаться невозможным или затруднительным. В этих случаях могут применяться продольные колебания при специальных законах движения. Однако создание негармонических законов колебаний несущей поверхности сопряжено с рядом трудностей. В связи с этим прибегают к паллиативному решению: использованию полигармонических законов колебательного движения. Одним из таких решений является использование бигармонических колебаний. Не останавливаясь подробно на анализе такого вибрационного перемещения, приведем лишь его графическое отображение. Используя только продольные колебания (для осуществления безотрывного движения) необходимо осуществить анизотропию коэффициента трения или асимметрию ускорений продольного колебательного движения. Поскольку для вибропривода используется промышленная электросеть, то оказывается удобным применять бигармонические колебания с соотношением частот 2:1. Сочетание таких двух гармоник приводится на рис. 2.22.

На графиках тонкими линиями показаны составляющие гармоники, а жирной – результирующая двух движений. При совпадении фаз в начале движения (рис. 2.22, *а*) результирующая будет симметричной. Однако, при сдвиге фаз на 90° (рис. 2.22, *б*) результирующая ускорений приобретает явную асимметрию, что и используется для организации вибротранспортирования. Разумеется, тут могут быть различные сочетания по амплитуде, частоте и фазе гармоник. Выбор оптимального сочетания получается на основании анализа движения и сопоставления осуществимых конструктивных вариантов.

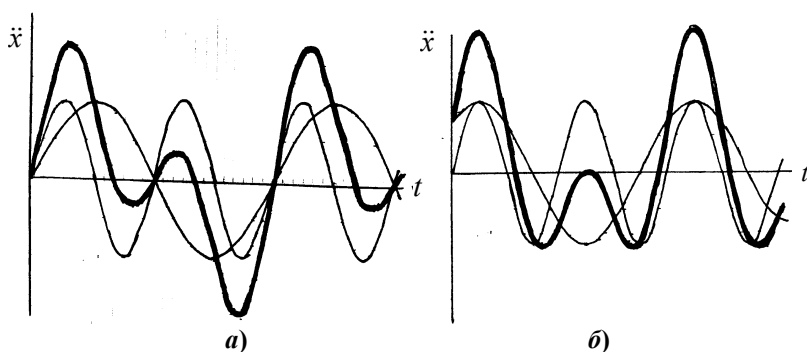


Рис. 2.22 – Продольные бигармонические колебания с фазовым сдвигом гармоник

Вместе с тем, уже приведенные графики показывают необходимость довольно жесткой синхронизации гармоник и, таким образом, привод оказывается более сложным и дорогим. Как показывают исследования, при таком способе для горизонтального лотка коэффициент скорости K_c может достигать значения 0,7, что сопоставимо с отрывными режимами вибротранспортирования, однако зависимость фазового угла сдвига от загрузки лотка делает этот способ недостаточно устойчивым.

Поскольку вибротранспортирование осуществляется за счет сил трения, то возникает идея для безотрывных режимов использовать переменное давление на поверхность лотка. Для наклонных колебаний (наличие продольной и нормальной составляющих) графики скорости и ускорения приведены на рис. 2.23. Из графиков видно, что максимумы скорости и ускорения сдвинуты на 90° . Тогда возникает идея сдвига фазы поперечных колебаний с тем, чтобы максимум прижимающего усилия (максимум $A_n \omega^2$) приходился на максимум скорости продольного движения. В этом случае соотношения продольной скорости и нормального ускорения представляются рис. 2.24.

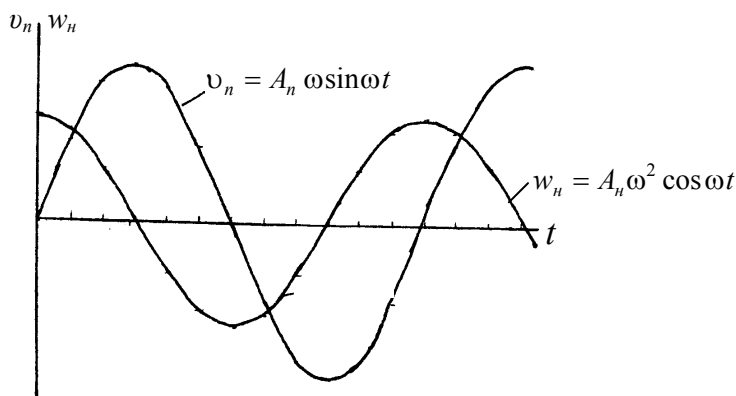


Рис. 2.23 – Продольная скорость и нормальное ускорение при наклонных колебаниях

Теперь максимальный прижим заготовки к лотку будет происходить при максимальной скорости лотка вперед. Как показывают эксперименты, наиболее эффективным является сдвиг на угол $60...120^\circ$. Тогда возникают двухкомпонентные колебания в плоскости, при которых каждая рабочая точка лотка описывает эллипсную траекторию.

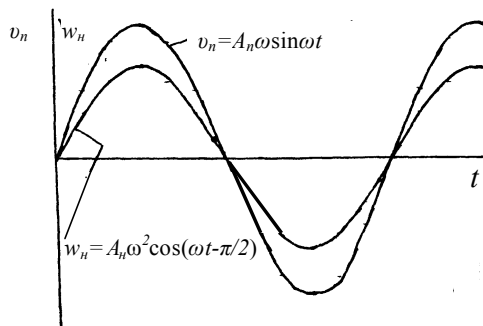


Рис. 2.24 – Продольная скорость и нормальное ускорение для эллиптических колебаний

Разумеется, такое решение является более сложным, поскольку требует увеличения приводов, усложнения конструкции, жесткой синхронизации колебательных движений. Однако, такой принцип работы позволяет осуществить безотрывное движение при достаточно высокой эффективности, когда коэффициенты скорости близки к коэффициентам скорости отрывного транспортирования. Довольно широкий допуск на угол сдвига между колебательными движениями обеих составляющих позволяет обеспечить стабильную работу и при колебаниях загрузки лотка. Таким образом, при необходимости использования безотрывных режимов вибротранспортирования такой способ оказывается вполне целесообразным.

2.4.3. О выборе закона колебательного движения

Если рассматривать вибрационный лоток или машину с вибрирующей поверхностью как динамическую систему, содержащую некоторую приведенную массу рабочего органа m и жесткость c , и представить ее в виде приведенной динамической схемы, показанной на рис. 2.25, можем утверждать, что масса (рабочий орган) будет совершать под действием возмущающего усилия F колебательное движение. Для гармонического закона возбуждения ($F = F_0 \sin \omega t$) и с учетом рас-

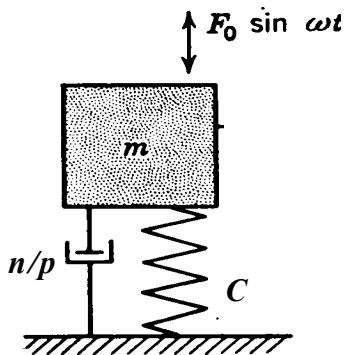


Рис. 2.25 – Динамическая схема

сеяния энергии на внутренние потери (принимая вязкое трение) закон колебательного движения запишется в виде [26]:

$$x = x_{cm} \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4n^2\omega^2}{p^4}}} \sin(\omega t - \delta) \quad (2.62)$$

Здесь x_{cm} – статический прогиб под действием возмущающей силы F ;

p – частота собственных колебаний;

n/p – показатель вязкого затухания;

δ – фазовый угол сдвига колебаний относительно возмущающего усилия.

Второй сомножитель в уравнении (2.62) называется динамическим коэффициентом μ и показывает величину изменения амплитуды колебаний под действием резонансных свойств упругой системы. Изменение динамического коэффициента для различных соотношений ω/p (резонансной отстройки) и n/p (вносимого затухания) представлено графиками рис. 2.26.

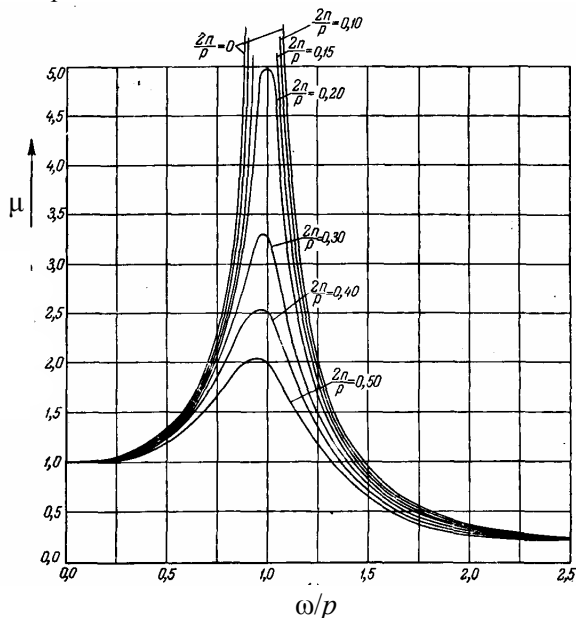


Рис. 2.26 – Изменение динамического коэффициента

Величина затухания в системе зависит как от свойств самой системы, так и от взаимодействия с подаваемыми заготовками. Приведенные графики показывают, что по мере приближения к резонансу ($\omega \rightarrow p$) динамический коэффициент возрастает и при отсутствии рассеяния энергии бесконечно увеличивается. Наличие сопротивления в системе, в том числе и потери на перемещение заготовок, уменьшает величину максимального динамического коэффициента μ , и все же амплитуда колебаний рабочего органа растет. Таким образом, использование гармонического закона колебаний рабочего органа оказывается целесообразным с двух точек зрения: во-первых, создание возбуждателей вибрации с гармоническим законом возмущающей силы оказывается проще и такие вибраторы работают надежнее; во-вторых, необходимая величина возмущающей силы оказывается меньше, чем при свободном размещении вибрирующей рабочей поверхности. Приведенные графики также показывают, что с уменьшением жесткости c , т. е. снижением собственной частоты p динамический коэффициент μ становится меньше 1 и, хотя x_{ct} растет, использование таких машин является нецелесообразным. Режимы с $\omega/p < 1$ называются дорезонансными, а режимы с $\omega/p > 1$ – зарезонансными.

Приведенные на рис. 2.26 графики также показывают, что по мере увеличения затухания, вносимого в систему, не только уменьшается амплитуда колебаний в околорезонансной области, но и происходит некоторое смещение резонанса в сторону снижения p (как бы присоединяется некоторая дополнительная приведенная масса).

Такие характеристики колебательной системы приводят к целесообразности работы в околорезонансной области в дорезонансном режиме, т. е. частота собственных колебаний выбирается несколько выше (на 5...10 %) частоты возмущающего усилия. Это диктуется следующими соображениями: при настройке точно в резонанс система оказывается очень неустойчивой (создаваемые механические системы имеют довольно высокую добротность и высокий μ) и любое отклонение нагрузки или частоты возмущения колебаний приведет к выходу ее из рабочего состояния. При дорезонансной настройке увеличение нагрузки (количество заготовок) будет приводить к увеличению затухания и снижению собственной частоты, что противоположно (хотя и в разной степени) влияет на поведение колебательной системы. Кроме того, подъемная (дорезонансная) ветвь кривой на графиках рис. 2.26 несколько положе зарезонансной, что также говорит в пользу ее использования для получения большей стабильности работы.

Как показано на графиках рис. 2.27, изменение резонансной отстройки и затухания при изменении загрузки приводит к изменению фазового угла сдвига между возмущающим усилием и колебаниями рабочей поверхности.

Для однокомпонентных колебаний это не имеет значения, однако, для двухкомпонентных (специальные случаи вибротранспортирования) изменение фазовых углов для разных составляющих будет приводить к нарушению синхронизации составляющих колебаний, что может существенно повлиять на работоспособность транспортирующего устройства. Этот факт также говорит в пользу применения однокомпонентных гармонических колебаний с использованием отрывных режимов вибротранспортирования.

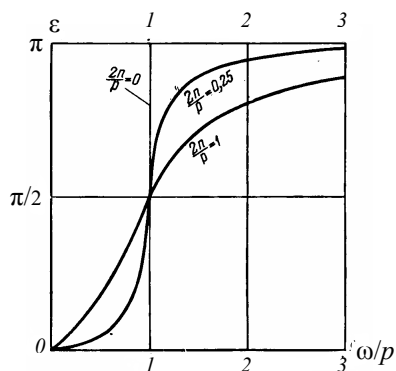


Рис. 2.27 – Изменение угла сдвига фазы

2.4.4. Вибрационные лотки-транспортеры

Использование принципов вибрационного транспортирования позволяет создавать прямолинейные лотки для накопления и транспортирования в рабочую зону различных деталей и изделий. Применяемые в машиностроении прямолинейные вибрационные питатели – вибрационные транспортеры по назначению можно разделить на три группы:

1. Вибрационные транспортеры для перемещения сыпучих материалов и заготовок навалом.
2. Вибрационные транспортеры-лотки для перемещения ориентированных заготовок.
3. Вибрационные транспортеры-лотки для подачи заготовок из бункерного питателя в рабочий орган станка.

Вибрационные транспортеры для транспортирования заготовок навалом и перемещения стружки, как правило, имеют большую длину и мощность; рабочий желоб транспортера имеет поперечное сечение, позволяющее перемещать значительные объемы материалов.

Вибрационные транспортеры-лотки для перемещения ориентированных заготовок имеют небольшие габариты в поперечном сечении. К жесткости рабочего органа такого транспортера предъявляются повышенные требования.

Вибрационные лотки, предназначенные для подачи заготовок из бункерного вибропитателя в рабочий орган станка, имеют обычно небольшую длину и привод их может осуществляться от колеблющейся чаши бункерного питателя, что значительно упрощает конструкцию.

По принципиальному устройству динамической системы вибротранспортеры разделяются на одномассовые, двухмассовые и многомассовые; а по способу сообщения направленной вибрации – на вибротранспортеры с направленной подвеской, вибротранспортеры со свободной подвеской и направленной вибрацией, осуществляемой за счет направленной возмущающей силы.

На рис. 2.28, *а* показана схема одномассового вибротранспортера.

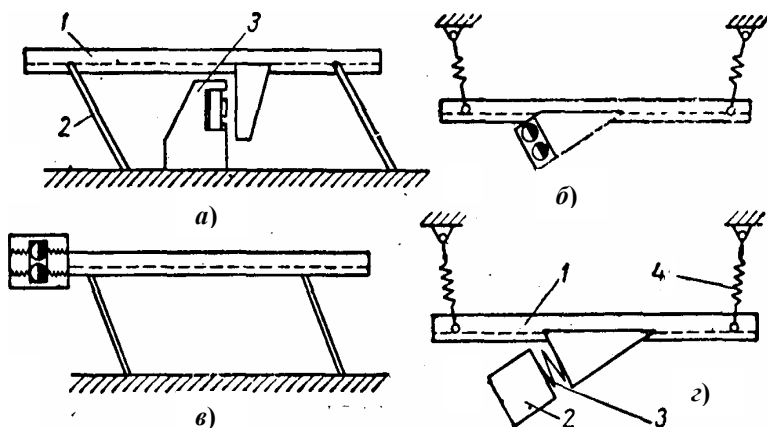


Рис. 2.28 – Принципиальные схемы вибротранспортеров

Вибротранспортер состоит из рабочего органа 1, пружинных резонансных подвесок 2 и вибратора 3, жестко укрепленного на неподвижном фундаменте. Колеблющейся массой у данной конструкции является рабочий орган 1, направление движения транспортера определяется углом наклона подвесок 2. Направление возмущающей силы вибратора у таких систем может быть постоянным (электромагнитные, инерционные типа “самобаланс” и др.) или переменным (дебалансные, пневматические и шариковые вибраторы).

Одномассовые лотки являются простейшими. Здесь рабочая масса через упругую систему соединяется с неподвижным основанием, масса которого во много раз больше массы рабочего органа. Собственная частота p таких лотков определяется из соотношения:

$$p = \sqrt{c/M_p}, \quad (2.63)$$

где c – жесткость упругой системы;

M_p – масса рабочего органа.

Недостатком таких конструкций является передача колебаний основанию и, следовательно, передача вибраций рабочим машинам. Поэтому они получили большее распространение для нерезонансных лотков.

На рис. 2.28, б показана схема одномассового вибротранспортера на свободной подвеске, направление колебаний которого определяется возмущающей силой вибратора.

На рис. 2.28, в показана схема двухмассового вибротранспортера с определенным направлением колебаний рабочего органа, которое обеспечивается за счет наклона зарезонансных подвесок, а на рис. 2.28, г показан вибротранспортер с заданным направлением колебаний рабочего органа, которое обеспечивается за счет возмущающей силы вибратора. Одной массой таких вибротранспортеров является рабочий орган 1, а другой массой – вибратор 2, связанный с массой 1 пружинами 3. Пружины 4, на которых подвешивается рабочий орган, выполняют роль амортизаторов и их жесткость может быть меньше, чем у одномассовых систем. Поэтому такие системы передают на фундамент значительно меньшие динамические нагрузки, чем одномассовые с направленной подвеской.

Вибрационные транспортеры, перемещающие сыпучие материалы, применяются в механических цехах для уборки стружки и перемещения мелких заготовок навалом, а в литейных цехах – для транспортирования и одновременного отделения формовочной смеси от отливок.

Применение вибротранспортеров для автоматизации уборки стружки является весьма эффективным мероприятием. Установки с вибротранспортерами компактны, малогабаритны и вследствие этого могут устанавливаться в станинах станков или в узких проходах между станками.

На рис. 2.29 показана схема установки вибротранспортеров, встроенных в станины станков. Транспортироваться может как сухая, так и мокрая стружка, при этом жидкость не разливается и может возвращаться по желобу. Для этого транспортер устанавливается с небольшим уклоном (до 2°) в сторону, обратную направлению движения стружки.

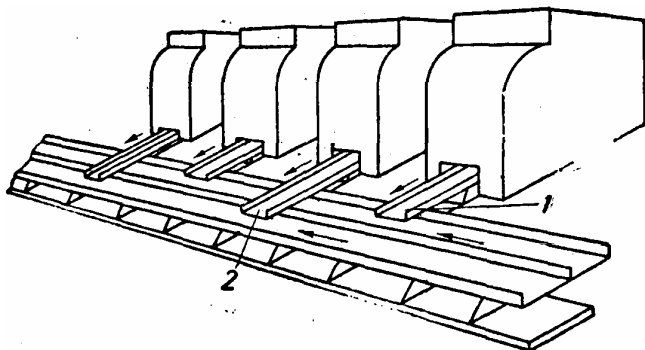


Рис. 2.29 – Схема установки вибротранспортеров

В случае установки продольных перегородок по желобу могут транспортироваться одновременно по крайней мере два вида стружки 1 и 2 в одном транспортере. Такого рода транспортеры целесообразно устанавливать на уборке чугуновой и мелкой стальной, а также витой стружки с мелкими витками.

Для уменьшения динамических нагрузок, передаваемых на фундамент, желоб транспортера устанавливается на сравнительно не жестких пружинных подвесках (зарезонансная подвеска).

В таких транспортерах применяют привод от кривошипно-шатунного механизма, сообщающего желобу возвратно-поступательное движение. Наклонные рессоры в этом случае служат для сообщения желобу движения под определенным углом бросания β . Транспортерами этого типа можно передавать стружку по цеху на расстояние до 30 м от одного привода. Скорость движения стружки составляет примерно от 6 до 15 м/мин. Производительность транспортера длиной 30 м с размерами желоба 100×60 мм, приводимого электродвигателем мощностью 1 кВт, составляет приблизительно 6 т/ч.

Резонансная настройка вибрационного транспортера, при которой силы инерции его колеблющихся частей полностью уравниваются силами упругости, обеспечивает разгрузку привода от динамических нагрузок и позволяет снизить мощность приводного двигателя. Другим достоинством таких конструкций является то, что обе колеблющиеся массы могут полностью использоваться для полезной работы.

В такой схеме имеется две массы: рабочих органов – M_p и основания – M_o . Здесь используется и две жесткости: рабочая – c_p и

изоляционной системы – $c_{из}$. Жесткость рабочей упругой системы должна обеспечить заданную собственную частоту, которая определяется соотношением:

$$p = \sqrt{c_p / M_{np}}, \quad (2.64)$$

Не учитывая потери в упругих системах и влияние загрузки (в первом приближении так можно поступать) можем записать:

$$M_{np} = \frac{M_p M_o}{M_p + M_o}. \quad (2.65)$$

Таким образом, в двухмассовых системах приведенная масса определяется обеими массами, что влияет на собственную частоту системы. Если не учитывать влияние амортизирующей подвески ($c_{из} \approx 0$), то амплитуды колебаний соотносятся:

$$\frac{A_p}{A_o} = \frac{M_o}{M_p}, \quad (2.66)$$

т. е. амплитуды колебаний обратно пропорциональны массам и для повышения эффективности машины оказывается целесообразным в ряде случаев делать $M_o > M_p$.

К вибрационным лоткам, осуществляющим подачу заготовок в рабочий орган станка или транспортирующим **ориентированные заготовки** от станка к станку, предъявляются специальные требования. Вибрационный лоток должен обеспечить равномерное движение заготовки по всей длине лотка. Для этого вертикальные колебания лотка по всей его длине должны быть одинаковыми, не превышающими предельных значений, при которых начинается хаотическое движение в результате влияния упругого удара. Так как поперечное сечение лотка, перемещающего заготовки в один ряд, невелико, жесткость такого лотка очень часто может оказаться соизмеримой с жесткостью пружинных подвесок, в результате чего появляются дополнительные поперечные колебания лотка, неодинаковые по всей его длине и различные по фазе. Амплитуда дополнительных поперечных колебаний в зависимости от фазы будет суммироваться или вычитаться из амплитуд основных колебаний, сообщаемых вибратором, в результате чего процесс движения заготовок будет нарушаться.

Устранение описанных явлений в вибрационных лотках для подачи ориентированных заготовок достигается следующим:

1) установкой лотка на мягких (зарезонансных) подвесках и приложением возмущающего усилия вдоль лотка;

2) работой лотка на низкой частоте колебаний, где требуемая жесткость лотка будет значительно меньше;

3) значительным увеличением жесткости лотка в поперечном сечении относительно горизонтальной плоскости.

Одномассовый вибрационный лоток на резонансной направленной подвеске. При небольшой длине и значительной жесткости лотка, когда его можно крепить к массивному основанию станка или пресса и передача вибрации станку не является вредной, весьма простой оказывается конструкция одномассового резонансного лотка, выполненного по схеме, приведенной на рис. 2.28, а.

Лоток устанавливается на наклонных плоских пружинах, и система настраивается на околорезонансный режим. Якорь электромагнитного вибратора крепится к лотку, а статор – к неподвижному основанию.

Настройка системы на заданную частоту собственных колебаний ν_0 осуществляется путем расчета размеров пружин соответственно массе M лотка.

Требуемая жесткость пружинных подвесок при общем их количестве в системе, равном i , определяется по формуле:

$$c = \frac{M}{i} (2\pi\nu_0)^2. \quad (2.67)$$

Необходимый момент инерции пружинной подвески определяется формулой:

$$J = \frac{\pi^2 \nu_0^2 l^3 M}{3iE}, \quad (2.68)$$

где l – длина пружинной подвески;

E – модуль упругости материала пружинной подвески.

Момент инерции плоской пружины прямоугольного сечения равен:

$$J = \frac{b a^3}{12}, \quad (2.69)$$

где b – ширина пружины;

a – толщина пружины.

Приравнивая формулы (2.68) и (2.69), получаем зависимость для определения толщины пружины:

$$a = l \sqrt[3]{\frac{4 \pi^2 \nu_o^2 M}{b E i}}. \quad (2.70)$$

Ширина пружины выбирается конструктивно, исходя из ширины лотка и способа крепления пружины. Длина пружины выбирается конструктивно, исходя из высоты вибратора, и проверяется на усталостную прочность:

$$l \geq l_{\min}, \quad (2.71)$$

где l_{\min} – минимальная длина пружины, удовлетворяющая условиям усталостной прочности.

Минимальная длина пружины определяется по формуле:

$$l_{\min} = \frac{3y}{\sigma_{-1}} \sqrt[3]{\frac{2\pi^2 \nu_o^2 E^2 M}{b}}, \quad (2.72)$$

где y – прогиб пружины ($y = 0,8 A$), A – размах колебаний;

σ_{-1} – допускаемое напряжение на усталость.

Если принять $\sigma_{-1} = 300$ МПа, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, то для $\nu = 50$ Гц формула (2.72) принимает вид:

$$l_{\min} = 200y \sqrt[3]{\frac{25\pi^2 M}{b}}. \quad (2.73)$$

Амортизированный вибрационный лоток с динамическими гасителями колебаний. Жесткое крепление одномассового резонансного лотка к основанию станка вызывает довольно ощутимые колебания последнего, что значительно ограничивает область применения такого лотка. Амортизация таких лотков при помощи подвески основания на витых пружинах сравнительно небольшой жесткости приводит к нарушению процесса движения заготовок по лотку.

Если лоток закреплен на массивном фундаменте, все точки его будут иметь одну и ту же составляющую вертикальной амплитуды и будут совершать движение под одним и тем же углом β . Скорость детали будет постоянная по всей длине лотка.

При установке вибрационного лотка на пружинных амортизаторах (рис. 2.30) переменные силы F_1 и F_2 , действующие через пружины на верхнюю и нижнюю массы, заставят всю систему колебаться на амортизаторах вокруг определенно-го центра.

Таким образом, один конец лотка будет совершать колебания под большим углом β , а другой конец — под значительно меньшим. Это приводит к тому, что на одном конце лотка заготовки будут подбрасываться вверх, а на другом двигаться очень медленно.

Для нормальной работы амортизированного резонансного питателя необходимо погасить вредные колебания системы на витых пружинах.

Для гашения вредных колебаний системы может быть использован известный из теории колебаний принцип работы динамического гасителя колебаний, который заключается в следующем. Колебание основной массы, на которую действует переменное возмущающее усилие, можно погасить, присоединив к этой массе другую массу на пружине. Если частота собственных колебаний второй массы на пружине будет точно соответствовать частоте возмущающего усилия, то возникшие резонансные колебания погасят колебания основной системы.

На рис. 2.31 показана конструкция вибрационного прямолинейного питателя с динамическими гасителями колебаний. Питатель состоит из лотка 3, имеющего дорожку для перемещаемых заготовок. У данной конструкции дорожка выполнена в виде призмы для перемещения цилиндрических заготовок. Сверху дорожка прикрывается съемной планкой 6. Основание питателя 7 подвешено на четырех парах витых пружин 5 сравнительно небольшой жесткости, стянутых болтами 4. На основании 7 установлены нижние башмаки 9, в которых защемлены плоские пружины 2. Лоток 3 соединен с пружинами 2 при помощи верхних башмаков 1. Привод питателя осуществляется электромагнитом 12, который колеблет якорь 11, установленный на пружине 10. Лоток 3 на пружинах 2 и груз 8 на пружине 10 настроены в резонанс с вибратором, в результате чего они начинают вибрировать и являются динамическими гасителями колебаний основания 7 на амортизаторах 5.

Для обеспечения устойчивой работы при возможных изменениях частоты и напряжения сети динамический гаситель колебаний груз 8 и якорь 11 задемпфированы резиной. Демпфера представляют

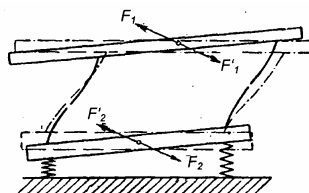


Рис. 2.30 – Установка лотка на амортизаторах

собой резиновые буфера 13, которые ограничивают амплитуду колебаний якоря 11 и груза 8. Система настраивается так, что якорь 11 и груз 8 постоянно ударяются о буфера, которые ограничивают их амплитуды колебаний.

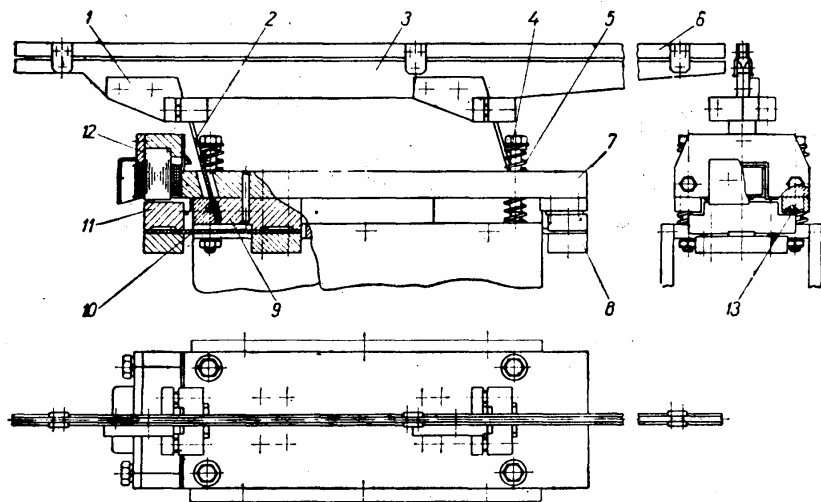


Рис. 2.31 – Вибрационный прямолинейный питатель с динамическими гасителями

При уменьшении напряжения или изменении частоты сети амплитуда колебаний должна была бы уменьшиться, но у данной конструкции уменьшается только степень ограничения амплитуды (т. е. сила удара о буфер).

Питатель для успешной работы должен быть правильно настроен, и резонансная настройка не должна сбиваться в процессе работы. Настройка системы достигается расчетом пружин лотка, гасителя и якоря с окончательной отстройкой при сборке. Точная настройка системы достигается перемещением груза 8 и якоря 11 на пружинах 10, а также изменением рабочей длины пружин 2, которые вместе с лотком 3 при настройке перемещаются в башмаках 9.

2.5. Узлы магазинных загрузочных устройств

Ранее были перечислены основные узлы магазинных загрузочных устройств. Накопители таких устройств, выполняемые в виде лотков различной конструкции, были уже рассмотрены. Обратимся к другим рабочим узлам магазинных загрузочных устройств.

2.5.1. Коробчатые магазины и кассеты

С целью уменьшения общих габаритов магазинного загрузочного устройства могут применяться коробчатые магазины, называемые также кассетами. Они отличаются тем, что имеют сосредоточенный запас ориентированных заготовок. Для быстроты загрузки магазина заготовками применяют так называемые кассеты. Кассеты наполняют вне бункера. Заготовки в кассетах укладываются в несколько рядов, ширина же кассеты ограничивается высотой (толщиной) заготовки. Когда требуется очередное пополнение магазинного загрузочного устройства, в него вставляют наполненную кассету и открывают ее выдвижное дно, что позволяет продолжить работу. Для создания запаса ориентированных заготовок магазин снабжают несколькими кассетами.

Кассеты применяются для малых по размерам заготовок, длина которых меньше или равна диаметру, а также для длинных заготовок, т. е. когда длина в 8 и более раз больше диаметра. При выборе размеров и формы кассеты (см. рис. 2.32) особое внимание должно быть обращено на наклон стенок.

Наклон следует брать не более 30° . При большом наклоне стенок возможно образование свода, препятствующего перемещению подаваемых заготовок. При конструировании кассетных магазинов следует учитывать необходимость обязательного разрушения сводов, образующихся в заготовках над отверстием лотка (рис. 2.32, а).

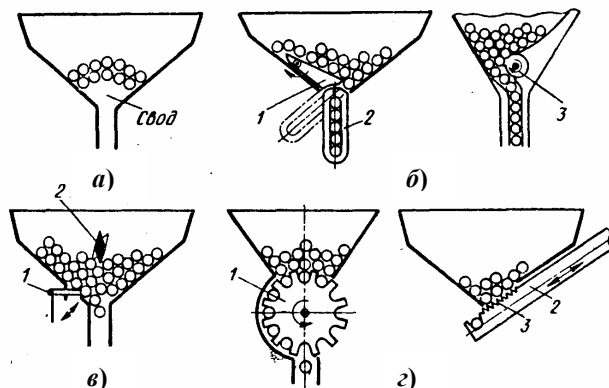


Рис. 2.32 – Способы разрушения сводов

Наиболее распространенные способы разрушения сводов следующие: 1) с помощью ворошителя в виде качающегося рычага 1 или лотка 2 или вращающегося кулачка 3, устанавливаемых внутри нако-

питателя (см. рис. 2.32, б); 2) с помощью качающейся перегородки 2 (рис. 2.32, в), устанавливаемой внутри накопителя (поперечное сечение перегородки имеет форму ромба и она предназначена для разрушения свода, образующегося вне зоны действия ворошителя 1); 3) внизу накопителя делается большое выпадное отверстие, которое перекрывается питателем с круговым 1 или с возвратно-поступательным движением 2 (рис. 2.32, г). Питатель находится в контакте с тремя и более заготовками одновременно. Питатель 2 с возвратно-поступательным движением при обратном ходе ворошит зубьями 3 заготовки в окне и препятствует образованию сводов. С целью разрушения сводов кассете может сообщаться вибрация.

Для заготовок, имеющих повышенную сцепляемость или весьма деликатных, могут использоваться кассеты с размещением заготовок вразрядку в отдельных специальных гнездах. Для извлечения заготовок из таких кассет необходимы специальные механизмы или роботы.

2.5.2. Отсекатели

Отсекатель – механизм, регулирующий число заготовок, поступающих из магазина в питатель. Заготовки из магазина поступают к питателю непрерывным потоком. В конце магазина движение заготовок прерывается отсекателем, который отделяет их от общего потока по одной или несколько заготовок и передает их в питатель.

Отсекающие механизмы по характеру совершаемого движения отсекающих звеньев подразделяют на четыре типа со следующими движениями: с возвратно-поступательным, с колебательным, с вращательным, со сложным.

Отсекатели с возвратно-поступательным движением являются наиболее простыми по конструкции, и их функции нередко выполняет инструмент или питатель. На рис. 2.33, а показан способ отсекания заготовок от общего потока инструментом (пуансоном 1), который в данном случае является отсекателем, перекрывающим канал магазина при рабочем движении с захваченной заготовкой. Способ отсекания заготовок питателем приведен на рис. 2.33, б. Верхняя площадка питателя 1 выполняет функции отсекателя, перекрывая канал магазина при подаче заготовок в рабочую позицию.

Отсекатель, выполненный в виде отдельного механизма, показан на рис. 2.33, в. Два отсекающих звена (планки или штифты) 1 совершают возвратно-поступательное движение и отделяют по одной заготовке от общего потока заготовок, находящихся в канале магазина. Движение штифтов заблокировано с движением питателя.

Рассмотренные выше отсекающие механизмы используют преимущественно для станков и машин со средней производительностью 50...70 шт/мин. При более высокой производительности (порядка 150 шт/мин) они работают ненадежно, часто выходят из строя отсекающие звенья и вследствие больших скоростей отсекающих звеньев повреждаются заготовки.

Отсекатели с колебательным движением применяют для станков средней производительности. Если магазинное загрузочное устройство снабжено питателем качающегося типа, то функции отсекающего механизма часто выполняет сам питатель. При способе отсекания заготовок питателем с колебательным движением (рис. 2.33, *з*) наружная поверхность питателя *1* перекрывает магазин при подаче заготовок в рабочую позицию и таким образом выполняет функцию отсекаателя. В отсекателе, выполненном в виде отдельного механизма (рис. 2.33, *д*), движение отсекающих звеньев *1* заблокировано с движением питателя. Групповой отсекаатель, показанный на рис. 2.33, *е*, одновременно отсекает по пять заготовок в двух лотках.

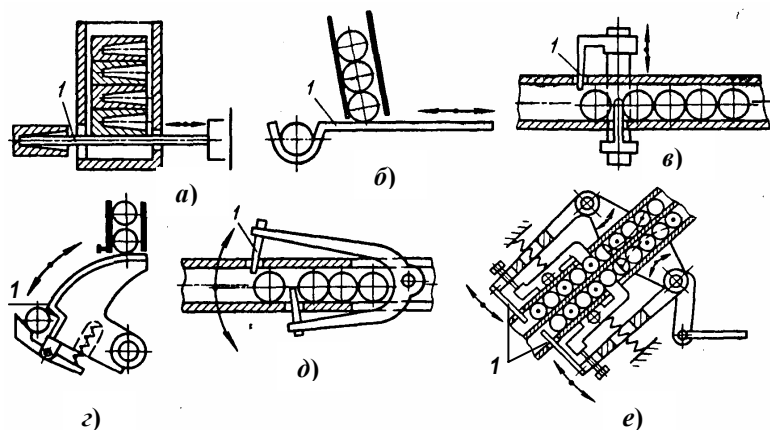


Рис. 2.33 – Отсекатели с возвратно-поступательным движением

Отсекатели барабанные с вращательным движением (рис. 2.34, *а*, *б*) выполняют в виде дисков или барабанов с профильными канавками, в которые заготовки западают из лотка. Наружная поверхность диска *1* отсекает заготовки в лотке. Большое число профильных канавок на диске позволяет подавать много заготовок за один оборот диска, поэтому такие отсекатели при малых скоростях работают плавно.

Сдвоенный барабанный отсекаТЕЛЬ (рис. 2.34, в) выполнен в виде двух барабанов с профильными гнездами, барабаны вращаются синхронно. Заготовки, загруженные в сдвоенный лоток в определенном порядке, захватываются барабанами и переносятся в нижний оди-нарный лоток. При помощи такого отсекаТеля можно укладывать заго-товки в определенном порядке.

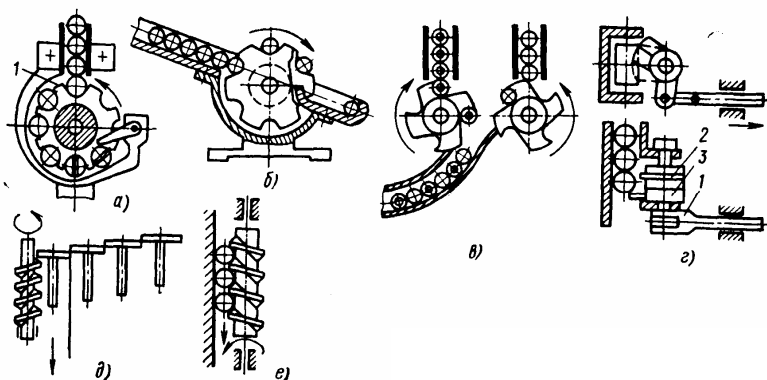


Рис. 2.34 – Отсекатели барабанные, кулачковые и спиральные

В отсекателе кулачкового типа для деталей типа цилиндров, колец и дисков (рис. 2.34, з) имеются два кулачка 2 и 3, установленные так, что при возвратно-качательном движении один из них выпускает очередную заготовку, а другой придерживает все остальные. Возвратно-качательное движение на кулачки передается рычажной системой 1.

В винтовых вращающихся отсекателях (рис. 2.34, д, е) однозаходный винт при повороте на один оборот отсекает одну заготовку от общей массы, если же винт двухзаходный – две заготовки. Отсекатели с вращательным движением более производительные, чем отсекатели с возвратно-поступательным и колебательным движением, они отличаются также плавностью работы и меньше повреждают заготовки.

2.5.3. Питатели

Питатели – механизмы, которые подают заготовки из лотка в рабочую зону станка. Питатель обычно имеет захват, захватывающий и фиксирующий заготовку в определенном положении во время переноса из лотка в рабочую зону и съема и отвода обработанной детали из рабочей зоны станка. Конструкции питателей разнообразны,

они многозвенны, пространственны и зависят от конструкции и компоновки станка, формы и размеров заготовок, производительности. По характеру движения подающего звена питатели делят на четыре группы: с возвратно-поступательным, возвратно-колебательным (колебательным), вращательным и сложным движением.

Питатели с возвратно-поступательным движением (рис. 2.35, а, б, в) обеспечивают требуемую точность подачи заготовок и не занимают рабочее пространство во время обработки, так как они отводятся к магазину, установленному на большом расстоянии от рабочей зоны. В питателях этого типа, показанных на рис. 2.35, а, б заготовки подаются ползуном 2, имеющим выемку 1. Когда ползун отведен в исходное положение, выемка находится против отверстия магазина.

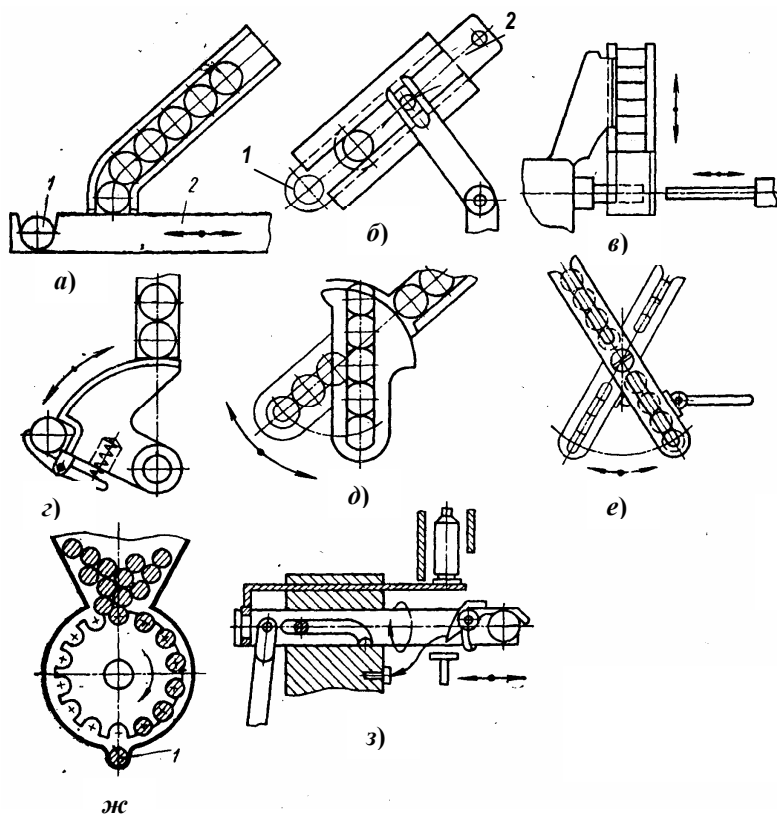


Рис. 2.35 – Питатели с возвратно-поступательным, колебательным, вращательным и комбинированным движениями

В этом положении ползуна заготовка западает в выемку. При движении ползуна запавшая заготовка переносится в рабочую зону станка и передается в зажим. Затем ползун совершает обратный ход, а выемка снова устанавливается против отверстия магазина и происходит западание следующей заготовки – цикл повторяется. Работа питателя, предназначенного для заготовок в виде тонких кругов (рис. 2.35, б), аналогична рассмотренному выше.

Нередко встречаются конструкции магазинных устройств, в которых функции питателя выполняет сам магазин. Когда, например, требуется подача заготовки к центру шпинделя станка, магазин, расположенный в направляющих, перемещается к центру шпинделя со всей массой заготовок и останавливается в таком положении, что ось нижней заготовки совпадает с осью шпинделя (рис. 2.35, в). В нижней части боковых стенок магазина имеются отверстия, через которые заготовки поступают в зажим, после чего магазин отводится в исходное положение. Но эти устройства имеют существенные недостатки. При большом числе двойных ходов (100 – 120) на подающих звеньях возникают большие скорости, вследствие чего заготовки не успевают западать в захват или выскакивают во время транспортировки к шпинделю, что нарушает работу станка. Кроме того, при больших скоростях подвижные звенья подвергаются быстрому износу, что может уменьшать точность подачи заготовок.

В питателях с колебательным движением подача заготовок осуществляется посредством рычага, снабженного захватом (рис. 2.35, г). Когда механизм захвата находится против отверстия магазина, пружинящая губка отклонена от центра, благодаря этому захват открывается больше и заготовки западают в него свободно. При движении рычага заготовка зажимается захватом, который переносит ее к центру шпинделя и передает в зажим. При обратном движении захват снова подходит к отверстию магазина, в него западает следующая заготовка, и цикл повторяется.

Если магазин выполняет функции питателя, то его делают качающимся (рис. 2.35, д, е). Заготовки поступают к центру шпинделя при отклоненном положении магазина, после съема нижней заготовки магазин возвращается в исходное положение. Питатели с колебательным движением широко применяют в производстве. Они обеспечивают большую производительность, надежны в работе, просты по конструкции и не требуют направляющих, подверженных быстрому износу.

Питатели с вращательным движением представляют собой диски с профильными вырезами (рис. 2.35, ж). Диск вращается в одном направлении и поочередно подводит вырезы к окну магазина, где заготовки западают в вырезы и транспортируются вниз в позицию

съема 1. Наличие на диске большого числа вырезов обеспечивает высокую производительность при незначительных окружных скоростях диска. Вращение диска в одном направлении обеспечивает плавность работы.

В питателях с комбинированным движением, в которых подающие звенья (захват и питатель) совершают сложное движение (рис. 2.35, з), заготовки, западающие в раскрытый захват, в начале движения зажимаются и переносятся питателем к центру шпинделя. В процессе поступательного движения питатель вместе с захватом и заготовкой поворачивается на угол 90° , причем заготовка принимает такое положение, в котором она должна поступить в зажим.

Нередко питатели выполняют функции зажимных приспособлений. Запавшие в выемки питателя заготовки транспортируются прерывистым движением в рабочую позицию 1 (рис. 2.36, а) и зажимаются в выемке специальным прижимом, после этого производится фрезерование шлица.

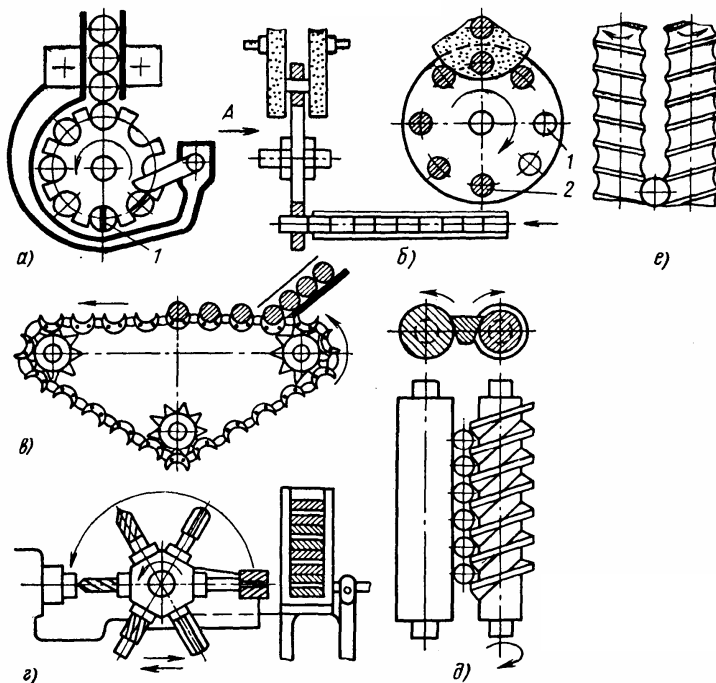


Рис. 2.36 – Питатели:
дисковые (а, б), цепной (в), винтовые (д, е) и револьверная головка (з)

При последующем повороте диска обработанная заготовка выпадает под действием силы тяжести или удаляется съемником.

В дисковом питателе с непрерывным вращением диска в одном направлении (рис. 2.36, б) после выполнения рабочей операции – шлифования торцов – при последующем повороте заготовки удаляются из отверстий диска. Загрузка заготовок производится в позиции 2, шлифование – в верхней зоне, а съем – в позиции 1. Дисковые питатели широко применяют в многопозиционных станках, а также в шлифовальных станках для обработки торцов заготовок во время их транспортирования.

Производительность питателей с непрерывным вращательным движением высокая. Они обеспечивают плавность и надежность работы. К недостаткам питателей этого типа следует отнести ограниченную возможность их применения в однопозиционных и многопозиционных станках вследствие постоянного нахождения диска в рабочей зоне.

В цепном питателе, выполненном в виде бесконечной звеньевой цепи, надетой на три звездочки, одна из которых ведущая (рис. 2.36, в), с наружной стороны звеньев сделаны канавки по профилю заготовок. В эти канавки западают заготовки из магазина. При периодическом движении цепи заготовки подаются к шпинделю, а затем в зажим.

Иногда функции питателя выполняют отдельные части станка, например, суппорт или revolverная головка. Способ подачи заготовок из магазина к шпинделю при помощи revolverной головки показан на рис. 2.36, г. Магазин закреплен сзади revolverной головки. В одно из ее инструментальных гнезд помещают державку с захватом, которые вместе с revolverным суппортом образуют питатель, производящий выборку заготовок из магазина и транспортировку их в зажим шпинделя. Винтовые питатели (рис. 2.36, д, е) применяют для подачи шаровых, стержневых и конических роликов, колец и других деталей.

Рассмотренные выше типы питателей можно применять в металлорежущих станках с магазинным питанием, так как производительность металлорежущих станков сравнительно невысокая (30...60 шт/мин). При этой производительности не возникает больших скоростей перемещения заготовок и питателя, что обеспечивает надежную их работу.

При выборе конструкции питателя следует учитывать тип станка и расположение магазина на нем с тем, чтобы можно было применить наиболее простую рычажную систему, передающую движение от распределительного вала к питателю, и использовать свободное рабочее пространство.

Рассмотренные питатели применяют также для станков с бункерным питанием. Однако при бункерном питании в высокопроизводительных станках, например прессах, имеющих 250-300 ход/мин, конструкция питателей усложняется, здесь наиболее рациональными являются многопозиционные дисковые питатели, обеспечивающие высокую производительность при меньших скоростях перемещения питателя и заготовок.

2.5.4. Блокирующие механизмы

Одним из узлов магазинного загрузочного устройства является блокирующий механизм, называемый также контролирующим механизмом, который осуществляет контроль ориентации подаваемых заготовок, отсутствие в числе подаваемых заготовок посторонних тел и других заготовок, наличие заготовок в накопителе вообще. Блокирующий механизм производит отключение или остановку рабочей машины в случае нарушений заданного режима (т. е. неправильной ориентации, попадания посторонних предметов, отсутствия заготовок в накопителе) с возможным включением сигнализации. Конструкции блокирующих механизмов довольно различны.

В ряде случаев, например, при автоматической сборке шарикоподшипников, пропуски в подаче деталей (полуфабрикатов) не допускаются. Если даже один шарик не будет подан в позицию сборки, то шарикоподшипник пойдет в брак независимо от качественного изготовления других деталей, составляющих шарикоподшипник. Поэтому в конце магазина (лотка) устанавливают механизм, контролирующий наличие деталей в лотке и правильность их ориентирования. Их обычно устанавливают на две-три детали выше детали, находящейся в питателе. Это делается для того, чтобы станок можно было остановить после поступления сигнала о прекращении подачи или неправильного ориентирования заготовки.

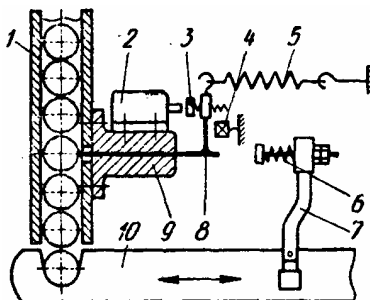


Рис. 2.37 – Механизм контроля наличия заготовок в лотке

Конструктивная схема одного из механизмов контроля показана на рис. 2.37. Корпус 9 прикреплен к лотку 1, в сквозном отверстии которого помещен шуп 8. При исходном положении питателя 10, как показано на рис. 2.37, шуп отведен пружиной 5 назад до упора 4 и не касается заготовки. При подаче заготовки в рабочую позицию подпружиненный упор 6, установленный на кронштейне 7, упирается в шуп и перемещает его к заготовке. Если в лотке есть заготовки (на этом уровне), то шуп останавливается и конечный выключатель 2 не размыкает электрическую цепь привода – станок продолжает работать.

Если заготовок нет, то шуп проходит дальше, в канал лотка, и упором 3, жестко скрепленным со шупом, разрывает цепь привода – станок останавливается.

2.6. Автоматические загрузочные устройства бункерного питания

Бункерные загрузочные устройства характеризуются тем, что запас заготовок сосредоточивается в емкости (бункере) беспорядочно (навалом). Необходимая ориентация заготовок перед передачей их в накопитель осуществляется специальным механизмом. Передача заготовок из накопителя в рабочую зону станка осуществляется питателем.

Таким образом, *бункерное загрузочное устройство представляет собой группу механизмов, принимающих заготовки навалом и выдающих их строго ориентированными в пространстве и во времени.*

Несмотря на довольно значительный практический опыт, накопленный предприятиями по проектированию и эксплуатации различных конструкций бункеров, теория их работы и правила проектирования еще недостаточно разработаны.

В общем случае бункерное загрузочное устройство (БЗУ) состоит из следующих основных узлов:

- 1) собственно бункера (емкости);
- 2) механизма захвата;
- 3) механизма ориентации;
- 4) предохранительного механизма;
- 5) магазина или накопителя;
- 6) отсекателя;
- 7) питателя;
- 8) привода.

В реальных конструкциях некоторые узлы могут объединяться или отсутствовать вообще.

Как видно из перечисления, по сравнению с автоматическим загрузочным устройством магазинного питания БЗУ имеют часть узлов аналогичных магазинным загрузочным устройствам, часть модифицированных и, наконец, совершенно новых узлов. Так, начиная от предохранительного механизма, узлы и их функциональное назначение те же, что и у магазинных загрузочных устройств. До предохранительного механизма – совершенно новые узлы, а сам предохранительный механизм является определенной модификацией. Это объясняется тем, что, начиная от накопителя, рассматриваемое автоматическое загрузочное устройство имеет дело уже с ориентированными заготовками, а до него – с расположенными в пространстве произвольно.

2.6.1. Узлы механических БЗУ

Бункер – механизм или емкость, в которую загружаемые заготовки помещаются навалом и из которого механизм захвата извлекает заготовки поштучно или порционно.

Наиболее распространенные формы бункеров показаны на рис. 2.38. По конструкции бункера бывают цилиндрическими, коническими и ковшеобразными. Их выполняют с одной емкостью для накопления и выборки заготовок (рис. 2.38, *а*) и с двумя емкостями, соединяемыми одна с другой (рис. 2.38, *б*). В последнем случае одна емкость, предбункер 1, служит для сосредоточения основного запаса заготовок, а другая емкость, собственно бункер 2, – для выборки заготовок. Заготовки из предбункера в бункер обычно перемещаются постепенно под действием сил тяжести. Иногда предбункер выполняют отдельно и его можно располагать вертикально.

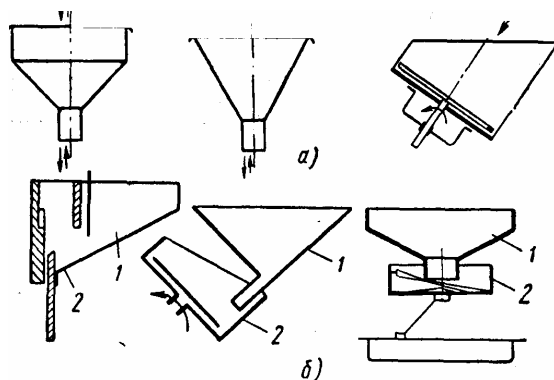


Рис. 2.38 – Схемы бункеров

Первая группа бункеров имеет широкое применение, но обладает рядом недостатков: интенсивное ворошение заготовок в результате воздействия движущегося захватного органа приводит к забоинам и царапинам на поверхностях заготовок; большое накопление заготовок в бункере, а, следовательно, и значительное давление верхних слоев на нижние, затрудняет подготовку заготовок к захвату и приводит к падению производительности загрузочного устройства.

Вторая группа свободна от недостатков бункеров первой группы и может быть рекомендована для загрузочных устройств, требующих обеспечения большой емкости бункера. Однако конструктивно она сложнее.

Механизмы захвата предназначены для выборки находящихся в беспорядочном состоянии заготовок из бункеров. От конструкции захватных органов во многом зависит производительность и надежность работы бункерно-загрузочных устройств.

Захватные органы выполняют в виде крючков, прямоугольных и фигурных вырезов на диске, штырей, труб и т. п. Крючки (рис. 2.39, а) – распространенный захватный и ориентирующий орган в БЗУ. Их обычно делают круглого сечения, а захватную часть (изогнутый конец) с боковых сторон срезают. Такая форма обеспечивает проход крючков в щель, меньшей по размерам, чем диаметр приемной трубки, что предохраняет выпадение заготовок из трубки.

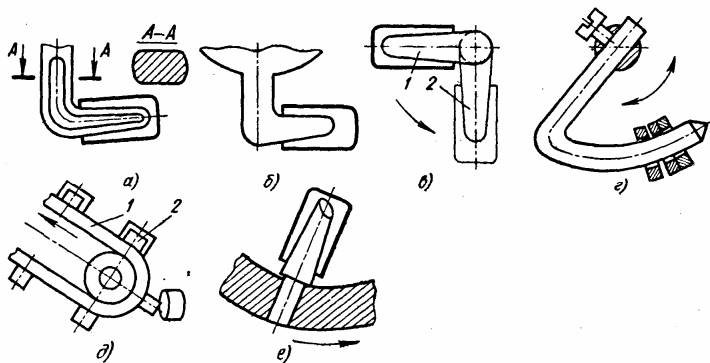


Рис. 2.39 – Разновидности крючковых и штыревых захватных органов

Для выборки небольших колпачков крючки делают заодно с диском (рис. 2.39, б). Захватные органы для цилиндрических колпачков и втулок выполняют с поворотными крючками (рис. 2.39, в), которые захватывают заготовки при тангенциальном расположении крючков 1, а выдают их в лоток при радиальном расположении 2. Такой

способ захвата и выдачи упрощает отвод заготовок при переполнении лотка, лишние заготовки падают в бункер.

Для выборки стеклянных заготовок (бусинок диаметром 3,5 мм с отверстием 2,5 мм, длиной 2 мм) применяют захватные органы с одним крючком (рис. 2.39, *з*). На рис. 2.39, *д* показан захватный орган в виде непрерывного ремня 1, на котором закреплены штыри 2, осуществляющие захват заготовок (например, низких колпачков). Захватный орган в виде кольца с тангенциальным расположением крючков (штырей) показан на рис. 2.39, *е*. В нижнем положении штыря колпачок надевается на штырь, а в верхнем – спадает в приемную трубку.

Число крючков на диске определяется производительностью, длиной заготовки и обычно равно 8-16. Захватный орган с тангенциальным расположением штырей на внутренней поверхности кольца имеет 35-70 штырей. Диаметр по крючкам – 350-400 мм, а по штырям – до 700 мм.

Из перечисленных захватных органов наиболее производительными являются захватные органы, имеющие штыри, расположенные тангенциально.

Для выборки заготовок со шляпками, шайб и т. п. применяют захватные органы, имеющие щель. На рис. 2.40, *а* показано сечение качающегося сектора, стенки 1 и 2 которого образуют щель. При качательном движении сектора, в нижнем его положении заготовки западают в щель, а в верхнем соскальзывают в лоток. Форму и размеры щели выбирают в зависимости от конфигурации заготовки (рис. 2.40, *а*, *б*, *в*). Применяют также захватные органы в виде доски 1 (рис. 2.40, *г*), совершающей возвратно-поступательное движение. Верхний торец доски 2 захватывает заготовки 3 в бункере и транспортирует их вверх, где они скатываются и западают в щель лотка 4.

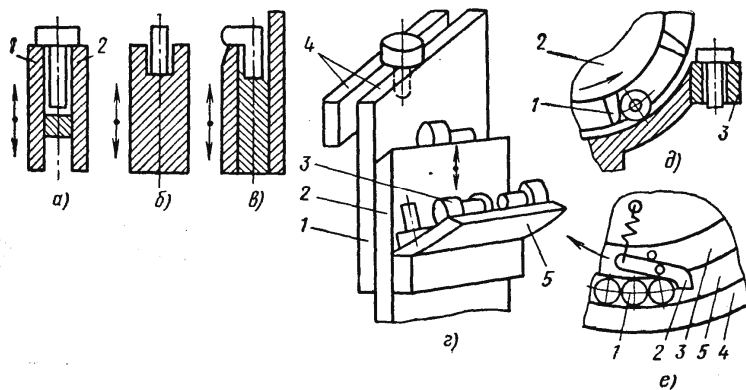


Рис. 2.40 – Разновидности щелевых захватных органов

Для выборки заготовок со шляпками также применяют захваты в виде лопастей 1, закрепленных на барабане 2 (рис. 2.40, д). При вращении барабана лопасти захватывают заготовки и транспортируют их вверх, где они перекатываются в лоток 3. Чаще всего лопастные захватные органы применяют для подачи тонкостенных заготовок (гильз).

Производительным способом выборки заготовок со шляпками (до 220 шт/мин) является круговая щель 5 (рис. 2.40, е), образованная дном бункера 4 и вращающимся диском 3, в которую западают заготовки 1, захватываются и транспортируются подпружиненными собачками 2.

В качестве захватного органа часто применяют диски с прямоугольными и профильными вырезами. На рис. 2.41, а показан диск 1 с прямоугольными вырезами 2 для захвата цилиндрических заготовок 3, а на рис. 2.41, б – с профильными вырезами 1 для захвата шайб 2. Диск устанавливают в донной части бункера.

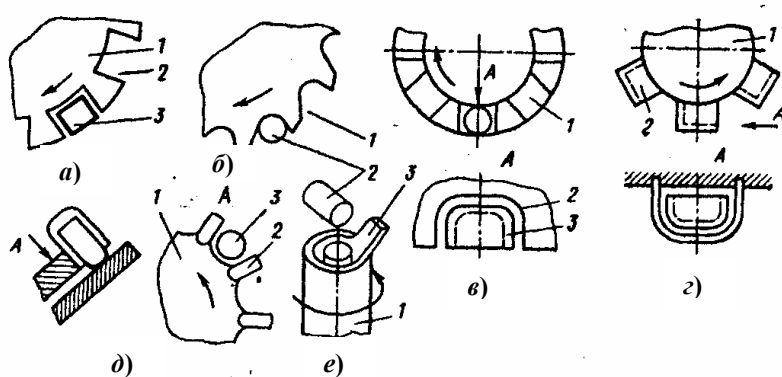


Рис. 2.41 – Механизмы захвата и ориентирования

Захватные органы в виде цилиндрического барабана 1 с профильными вырезами 2 на торце (рис. 2.41, в) применяют для подачи низких колпачков со сферическим доньшком 3. Для таких же колпачков применяют диск 1 (см. рис. 2.41, з) с карманчиками 2, расположенными по окружности. Карманчики делают съемными на случай замены при износе.

Весьма производительные (до 200 шт/мин) захватные органы в виде зубчатых дисков 1 (рис. 2.41, д). По окружности диска расположены зубцы 2, между которыми располагаются заготовки (высокие и

средние колпачки). Вверху бункера происходит отсортировка колпачков: запавшие вверх доннышком выпадают из диска, а запавшие доннышком вниз передаются в приемный лоток.

Выборку цилиндрических заготовок можно производить с помощью трубки. На рис. 2.41, е показана вращающаяся трубка 1, вмонтированная в донную часть бункера. Трубка имеет палец 3, который при вращении ворошит заготовки 2, вследствие чего они западают в трубку. Захватные трубки могут быть и с возвратно-поступательным движением, в этом случае на верхнем торце трубки делают наклонный срез, способствующий лучшему западанию заготовок в трубку. Производительность таких захватных органов до 40 шт/мин.

Рассмотренные разновидности захватных органов являются наиболее распространенными и могут служить исходной базой при проектировании бункерно-ориентирующих устройств.

Механизм ориентации осуществляет ориентирование заготовок в пространстве. Процесс ориентирования заготовок лежит в основе построения любого автоматического загрузочного устройства, осуществляющего подачу штучных заготовок в рабочую позицию в строго определенном рабочем положении. Поэтому выбор принципа построения и разработка механизма ориентации является одним из главных вопросов проектирования автоматических загрузочных устройств.

Трудность создания механизмов ориентации обусловлена необходимостью соблюдения ряда условий: укладка всех заготовок в требуемом положении, надежность прохождения заготовок в механизме ориентации и выдачи их в лоток, исключение возможных повреждений заготовок в процессе ориентирования, обеспечение требуемой производительности. Несоблюдение одного из этих условий может привести к тому, что механизм ориентации не обеспечит требуемой производительности.

Для практики проектирования автоматических загрузочных устройств первостепенное значение имеет знание существующих способов ориентирования в автоматических загрузочных устройствах, оправдавших себя в производстве. Существует большое число разновидностей конструкций механизмов ориентации, что усложняет их изучение. Ориентирование заготовок есть процесс автоматического разворота заготовок в требуемое положение. Оно происходит при движении заготовок в механизме ориентации.

Для разворота заготовок в требуемое положение используют, с одной стороны, особенности формы заготовок (наличие отверстия, паза, бурта, головки) или смещения их центра тяжести относительно оси симметрии, с другой стороны, форму ориентирующего звена (фасонные вырезы, щель и др.). В зависимости от выбора той или иной

особенности формы заготовки и формы ориентирующего звена различаются и способы ориентирования. Например, если заготовка имеет отверстие, а ориентирующее звено вид крючка, то такой способ ориентирования называют “надевание заготовки на крючок”.

Если для ориентирования принимают головку заготовки, а ориентирующее звено – сектор со щелью, то такой способ называют “ориентирование щелью”, или “западание в щель”.

Ориентирование заготовок может производиться в один и в два приема. Ориентирование в один прием осуществляется в процессе захвата заготовок. Например, в крючковых загрузочных устройствах заготовка захватывается крючком за отверстие. Следовательно, захват заготовок является в то же время и процессом окончательного ориентирования. Ориентирование в два приема осуществляется отдельно: предварительное, называемое первичным – во время захвата, окончательное, называемое вторичным – при прохождении через вторичный механизм ориентации. Например, в дисковых загрузочных устройствах предварительное ориентирование длинных цилиндрических колпачков производится при западании их в прямоугольные вырезы диска, а окончательное – при транспортировании в верхнем положении специальным механизмом вторичной ориентации.

Окончательное ориентирование заготовок может осуществляться как внутри бункера, так и вне его. При этом вторичное ориентирование может осуществляться в несколько этапов. В многопозиционных загрузочных устройствах механизмы ориентирования встраивают в захватный диск, поэтому заготовки такими захватно-ориентирующими устройствами выдаются из бункера в лоток окончательно ориентированными. В ряде конструкций бункерно-загрузочных устройств предварительное или первичное ориентирование производится внутри бункера, а вторичное – вне бункера. Механизм ориентации в этом случае можно устанавливать в начале, середине или в конце лотка.

Для классификации механизмов ориентирования выделяют шесть основных, наиболее распространенных способов ориентирования:

- I – надевание заготовки на крючок;
- II – западание заготовки в щель;
- III – западание заготовки в фасонный вырез по профилю заготовки;
- IV – поворот заготовки на фасонных губках и других опорах;
- V – западание заготовки в фасонный вырез по расположению центра тяжести;
- VI – западание заготовки в трубку.

Кроме того, могут быть особые случаи ориентирования, например, ориентирование заготовок по их электрическим свойствам (в частности, ориентирование селеновых шайб).

Сложные заготовки иногда приходится ориентировать в несколько этапов, в связи с чем, механизм ориентации усложняется и, вообще говоря, может состоять из нескольких механизмов ориентации и переориентации.

Таким образом, группа механизмов автоматического загрузочного устройства включающая бункер, механизм захвата и механизм ориентации должна выбрать из навала заготовки, произвести их ориентацию и уже ориентированными в пространстве должна передать последующим механизмам. Эта группа объединена общей целью – получение заготовок навалом и выдача их ориентированными в пространстве. В ряде случаев перечисленные механизмы группы могут объединяться, т. е. бункер может объединяться с механизмом захвата, механизм захвата – с механизмом ориентации или все три вместе. Эта группа является определяющей для всего автоматического загрузочного устройства.

Устройства, осуществляющие *первичную ориентацию* заготовок, встречаются редко, так как первичная ориентация обеспечивается обычно одновременно с захватом (см. например рис. 2.42).

При выпадении заготовок в приемное окно его ширина ограничивает производительность БЗУ. Иногда для повышения производительности окно расширяют, допуская потерю ориентации заготовок. Выпадающие заготовки попадают на лоток с направляющими лопастями и получают первичную ориентацию в процессе движения. В этом случае лоток с направляющими лопастями будет являться устройством первичной ориентации.

Механизмы, осуществляющие *одновременно захват и первичную ориентацию* заготовок, могут выполнять первичную ориентацию следующим образом:

- 1) путем западания заготовок в карман;
- 2) лотками в виде щелей и трубок;
- 3) надеванием заготовок на крючок или штырь.

Первичная ориентация западанием в простые карманы применяется в дисковых БЗУ для заготовок типа валиков и дисков (рис. 2.42, в, г, д).

Ориентация лотком в виде трубки (рис. 2.42, е) применяется для заготовок типа втулок и валиков в диапазоне: $l/d = 0,2 \dots 4$. При этом трубка может иметь вращательное, возвратно-поступательное и сложное движения.

Ориентация лотком в виде щели (рис. 2.42, ж) применяется в секторных и лопастных БЗУ для заготовок типа диска, пластины, а также в центробежных БЗУ (рис. 2.42, з). Ориентация заготовок надеванием на крючок или штырь применяется для втулок, гильз в крючковых БЗУ (рис. 2.42, и).

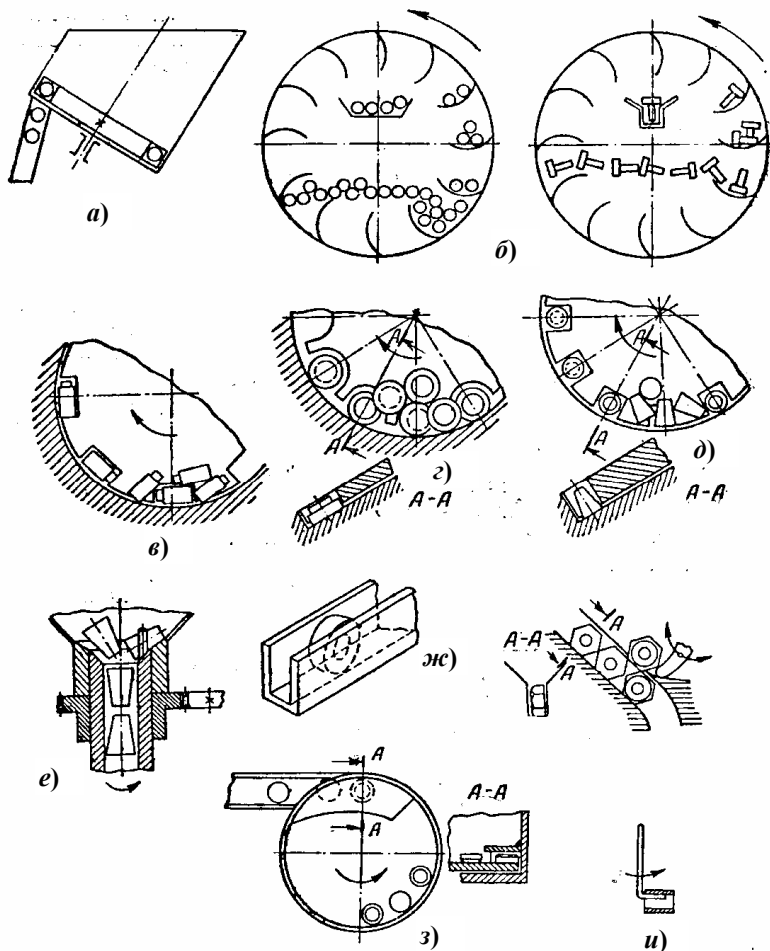


Рис. 2.42 – Механизмы для захвата и первичной ориентации

Устройства, осуществляющие *вторичную ориентацию заготовок*, конструктивно весьма разнообразны. Вторичная ориентация может быть произведена: 1) в захватном органе и 2) в отдельном устройстве.

Вторичная ориентация в захватном органе использует особенности геометрической формы заготовок или смещение центра тяжести относительно середины заготовки.

Механизмы, осуществляющие *захват и двойную ориентацию одновременно*, построены на принципе использования геометрической формы заготовок. Полная ориентация заготовок происходит непосредственно в захватном органе БЗУ. Захват и двойная ориентация происходят следующими способами:

1) по внутренней поверхности заготовки – надеванием на крючок или штырь в штыревых и крючковых БЗУ;

2) по профилю заготовки – западанием в профильный карман в карманчиковых БЗУ;

3) с использованием головок или уступов – западанием в щель в секторных, шелевых и других БЗУ.

Для одного и того же типа заготовок приемлемыми могут оказаться несколько типов БЗУ. При выборе наиболее рациональной конструкции БЗУ первостепенное значение имеет следующее: 1) положение, в котором заготовки должны выходить из лотка; 2) расположение и число оборотов вала, от которого конструктивно просто осуществить привод; 3) характер исполнительного механизма и простота конструкции БЗУ в целом.

Например, цилиндрические заготовки с отношением $l/d = 2,5$ могут загружаться всеми типами БЗУ для цилиндрических заготовок, приведенными в книгах [23, 33]. Если эти заготовки подаются на бесцентровую шлифовку на проход, где они должны идти сплошным потоком под напором, а привод БЗУ трудно осуществить от станка, целесообразным может быть БЗУ с вращающейся трубкой, имеющее индивидуальный привод, или вибрационное.

Если заготовки должны подаваться на измерительную позицию контрольного автомата, то более целесообразным может оказаться карманчиковый бункер с радиальным расположением карманов. Ввиду малого числа оборотов рабочего диска БЗУ (3...10 об/мин) привод его может быть осуществлен от тихоходного вала автомата. В этом случае заготовки выпадают в магазин, представляющий собой лоток-змейку, имеющий большую вместительность при компактных размерах и обеспечивающий сохранение ориентации заготовок при транспортировке их в механизм питателя.

Если эти заготовки требуют второй степени ориентации, более рациональной может оказаться конструкция карманчикового БЗУ с расположением карманов по хорде. Этот тип загрузочного устройства обеспечивает конструктивно наиболее простое выполнение механизма вторичной ориентации.

После выбора рациональной конструкции БЗУ следующим этапом является определение оптимальных размеров захватно-ориен-

тирующих органов, обеспечивающих наибольшее значение коэффициента заполнения.

Далее определяются габариты БЗУ исходя из условия обеспечения наибольшего значения коэффициента заполнения, а также из конструктивных соображений и возможности загрузки необходимого количества заготовок.

Из условия обеспечения заданной производительности определяется число оборотов, двойных ходов, амплитуда вибраций рабочих органов БЗУ.

Затем определяется емкость магазина, мощность привода и производится общая конструктивная разработка загрузочного устройства.

2.6.2. Производительность БЗУ

В зависимости от способа перемещения заготовок с целью их захвата и ориентации бункерные загрузочные устройства можно разделить на следующие:

- 1) механические;
- 2) вибрационные;
- 3) струйные.

В первых перемещение осуществляется механическим движением рабочих органов, во вторых – за счет направленной вибрации рабочей поверхности, в третьих – за счет струй воздуха или жидкости, движущихся внутри бункера и увлекающих подаваемые заготовки.

Наибольшее количество конструктивных решений предложено для механических бункерных загрузочных устройств. Это объясняется большим разнообразием требований к БЗУ, очень большим количеством типоразмеров подаваемых заготовок, сравнительно узким диапазоном обслуживаемых заготовок, более давней историей применения таких БЗУ.

Струйные БЗУ имеют ограниченное применение из-за специфики их работы и ограниченных возможностей подачи заготовок струей.

В настоящее время все более широкое распространение получают вибрационные БЗУ, имеющие целый ряд преимуществ, сведения о которых приводятся ниже.

Автоматическое загрузочное устройство бункерного типа выбирает заготовки из навала, в котором положение заготовок в каждый конкретный момент может быть произвольным. Следовательно, процесс захватывания заготовок носит характер случайного процесса и тогда производительность группы механизмов бункера является случайной функцией, что можно представить графиком рис. 2.43.

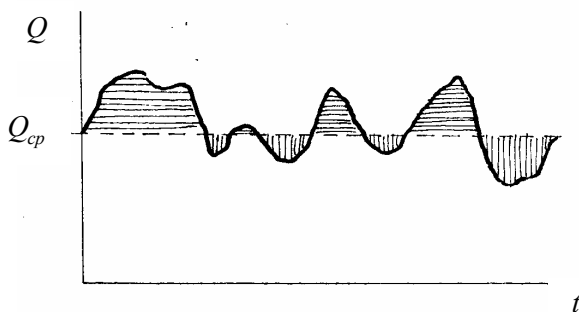


Рис. 2.43 – Изменение производительности БЗУ во время работы

Естественно, такая случайная функция может быть отражена средней производительностью $Q_{ср}$. Однако колебания производительности бункера не должны влиять на производительность автоматического загрузочного устройства и, тем более, на производительность рабочей машины. Для выравнивания колебаний производительности группы бункера и служит накопитель.

Изменения производительности вызывают необходимость в магазинах определенных объемов, накапливающих заготовки в периоды повышенной производительности БЗУ и отдающих их в периоды пониженной производительности.

Важным показателем в расчете БЗУ является коэффициент заполнения K_z , представляющий собой отношение действительной производительности к теоретической, т. е. расчетной производительности при полном заполнении захватных органов, что отражается формулой:

$$K_z = \frac{Q_0}{Q_{расч. max}}. \quad (2.74)$$

Коэффициент заполнения характеризует не только фактическую производительность БЗУ, но и равномерность выхода заготовок (т. е. это та же кривая производительности, но в безразмерных величинах).

Поэтому создание условий работы БЗУ, обеспечивающих наибольшее значение коэффициента заполнения, является одной из основных задач конструктора при проектировании.

Теория вероятностей дает такую формулу для определения коэффициента заполнения:

$$K_z = 1 - (1 - p)^s, \quad (2.75)$$

где p – вероятность западания заготовки в захватный орган при прохождении им пути, равного длине заготовки;

s – путь, проходимый захватным органом под слоем заготовок, выраженный числом длин заготовок, размещающихся на этом пути.

Вычисление этих вероятностных величин и методика расчета изложены в [19].

Формула (2.75) дает возможность сделать выводы о влиянии габаритов бункера на его производительность. При этом, в конструкциях БЗУ использующих преимущественную ориентацию заготовок в бункере обычно вероятность $p \geq 0,5$; для БЗУ, в которых по ряду причин не используется преимущественное положение или заготовки не имеют такого положения, вероятность $p = 0,05 \dots 0,1$.

Из формулы (2.75) получают путь:

$$s = \frac{\lg(1 - K_z)}{\lg(1 - p)}. \quad (2.76)$$

Приняв коэффициент заполнения $K_z = 0,9$, получим для бункеров, использующих преимущественную ориентацию $s = 3,3l$, а для бункеров, не использующих преимущественную ориентацию, $s = 22l$ (l – длина заготовки вдоль направления движения).

Таким образом, для получения достаточного коэффициента заполнения путь s значителен и должен учитываться при назначении габаритов бункера.

Различают два случая работы БЗУ:

1. Средняя производительность бункера равна потреблению заготовок рабочим органом станка, т. е. $Q_{cp} = Q_n$.

2. Средняя производительность бункера выше потребления заготовок рабочим органом станка (работа с переполнением), т. е. $Q_{cp} > Q_n$.

Если правильно определить среднюю производительность бункера и объем магазина (накопителя), можно достичь такого положения, что БЗУ будет работать ритмично, и только запас заготовок в магазине будет изменяться в некоторых пределах. Однако при производительности бункера равной потреблению, понадобились бы очень большие магазины, так как весьма трудно обеспечить постоянство средней производительности, зависящей от целого ряда факторов (постоянно изменяющееся количество заготовок в бункере, загрязненность заготовок и т.п.), учесть которые не всегда возможно. Поэтому вполне вероятны случаи полного опустошения накопителя и, следовательно, простоя рабочего механизма станка, либо переполнения накопителя, что может вызвать заклинивание механизмов БЗУ.

Практически работа БЗУ надежнее при средней производительности Q_{cp} , несколько превышающей потребление Q_n , т. е.

$$Q_{cp} = \Pi Q_n \text{ (шт/мин)}, \quad (2.77)$$

где Π – коэффициент переполнения.

Емкость накопителя зависит от коэффициента заполнения K_z и коэффициента переполнения Π . Наибольшая вероятность колебания производительности БЗУ будет при $K_z = 0,5$. Увеличение Π снижает требуемую емкость накопителя, но создает свои проблемы с блокировкой переполнения (отводом).

Механические бункерные загрузочные устройства характеризуются силовым воздействием на подаваемые заготовки. Привод механизма захвата осуществляется с помощью механических устройств. Как уже отмечалось, они довольно распространены, но имеют весьма существенный недостаток, заключающийся в возможности заклинивания и повреждения заготовок. В зависимости от конструкции бункера и типа захватно-ориентирующего органа механические БЗУ разделяются на следующие:

- карманчиковые;
- крючковые;
- трубчатые;
- секторные;
- шиберные;
- щелевые;
- лопастные;
- дисковые со щелями или пазами;
- фрикционные.

Автоматизация загрузки заготовок цилиндрической формы может быть осуществлена большим количеством различных типов БЗУ, наиболее распространенными из которых являются следующие типы:

1. **Дисковые карманчиковые**, которые можно разделить на такие:

- а) карманчиковые с расположением заготовки по хорде диска;
- б) карманчиковые с расположением заготовки перпендикулярно плоскости диска;

в) карманчиковые с расположением заготовки по радиусу диска.

2. **Трубчатые**, наиболее распространенными из которых являются:

- а) с вращающейся трубкой;
- б) с полувтулками, имеющими возвратно-поступательное движение.

3. **Крючковые**, различных конструкций.

Конструкции и порядок расчета механических загрузочных устройств приводятся в книге [23].

2.6.3. Предохранительные механизмы механических БЗУ

Как уже отмечалось, предохранительные механизмы БЗУ являются видоизменением блокирующих механизмов магазинных загрузочных устройств. Однако выборка заготовок осуществляется из навала, что существенно усложняет работу механизма захвата. Вероятность отказов и заклинивания заготовок в таких устройствах значительно выше. В связи с этим естественно стремление разработчиков поручить самому устройству справляться с возникающими затруднениями в виде заклинивания заготовок и остановки работы устройства путем введения специальных предохранительных механизмов.

Вообще говоря, каждое загрузочное устройство должно включать в кинематике привода элемент (обычные предохранительные муфты или фрикционные передачи), предохраняющий механизм бункера от поломки при попадании заготовок других размеров или посторонних тел. К предохранительному механизму, предназначенному для остановки захватного органа при переполнении лотка, предъявляется требование автоматического включения захватного органа после опорожнения лотка. Кроме того, предохранительный механизм после прекращения движения захватного органа должен сообщить ему периодический отход в обратном направлении (отбой) на небольшой угол. Это движение необходимо для освобождения заготовки, прижатой захватным органом к стенке приемника.

На рис. 2.44 представлен механизм, применяемый обычно в дисковых карманчиковых загрузочных устройствах. Звездочка 4, сидящая на приводном валу 5, вращается с постоянной угловой скоростью и, зацепляя за выступы рычагов 2 и 7, сообщает вращение диску 3. Рычаги 2 и 7 сидят на осях, закрепленных в диске, и пружинами 1 и 6 прижимаются к звездочке 4.

При переполнении лотка диск упирается своим карманом в заготовку, выступающую из приемника. Благодаря наличию скосов рычаги 2 и 7 под действием возникших усилий расходятся и скользят по вершинам зубьев звездочки. Как только зуб звездочки пройдет путь, равный ширине его вершины, рычаги 2 и 7 получают возможность опускаться по противоположному скосу зуба.

Так как скорость зуба звездочки очень мала по сравнению со скоростью сжатия пружины, то в течение времени опускания рычага под действием пружины зуб можно рассматривать как находящийся в покое.

При скольжении выступа рычага под действием пружины по скосу звездочки он будет одновременно перемещаться в направлении, противоположном движению звездочки, и поворачивать в этом направлении диск 3 (рис. 2.44, б).

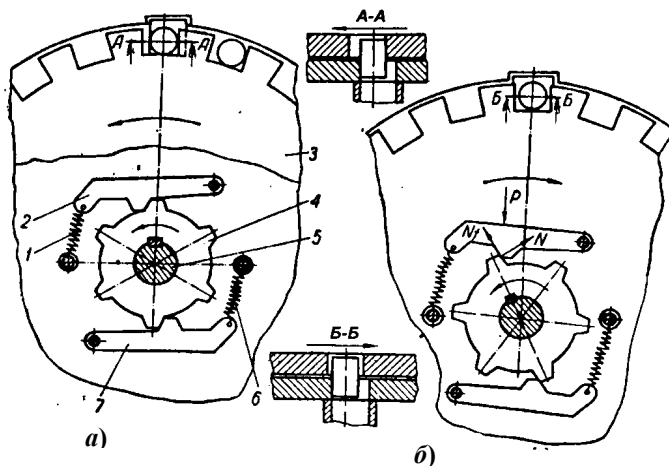


Рис. 2.44 – Предохранительный механизм дисковых БЗУ

Таким образом, карман диска после остановки получает небольшой отход назад, в результате которого освобождается зажатая заготовка.

Для предохранения механизмов БЗУ могут применяться и другие конструкции.

2.7. Вибрационные бункерные загрузочные устройства

Появившиеся сравнительно недавно в машиностроении вибрационные бункерные загрузочные устройства (питатели) являются новой разновидностью автоматических загрузочных устройств и обладают целым рядом преимуществ по сравнению с другими типами БЗУ. Эти устройства сравнительно просты по конструкции. Отсутствие в них движущихся захватно-ориентирующих органов исключает возможность заклинивания заготовок, в связи с этим отпадает необходимость в предохранительных механизмах.

В вибрационных бункерных загрузочных устройствах (ВБЗУ) со спиральным лотком можно предотвратить падение и удары заготовок друг о друга, нарушающие чистоту поверхностей точных деталей, поступающих на сборку и контроль. Постоянная равномерная скорость движения заготовок по лотку создает благоприятные условия для осуществления ориентации сложных заготовок внутри бункера.

В ряде случаев ВБЗУ являются единственно возможным средством автоматизации загрузки заготовок, например, деталей часового и радиотехнического производства, где заготовки весьма малы, обла-

дают малой прочностью и имеют склонность к взаимному сцеплению (например, рубиновые камни, стеклянные, пластмассовые, слюдяные детали и т. п.).

В машиностроительной промышленности заготовки с крупными заусенцами, например, поковки колец подшипников, могут эффективно загружаться в автоматическое оборудование только при помощи ВБЗУ.

Благодаря использованию резонансного принципа работы ВБЗУ для их привода требуется значительно меньшее возмущающее усилие, чем для вибропитателей других конструкций.

Рассмотрим некоторые конструкции вибрационных загрузочных устройств.

2.7.1. Бункерное загрузочное устройство с многослойными подвесками

На рис. 2.45 показана конструкция ВБЗУ для небольших заготовок.

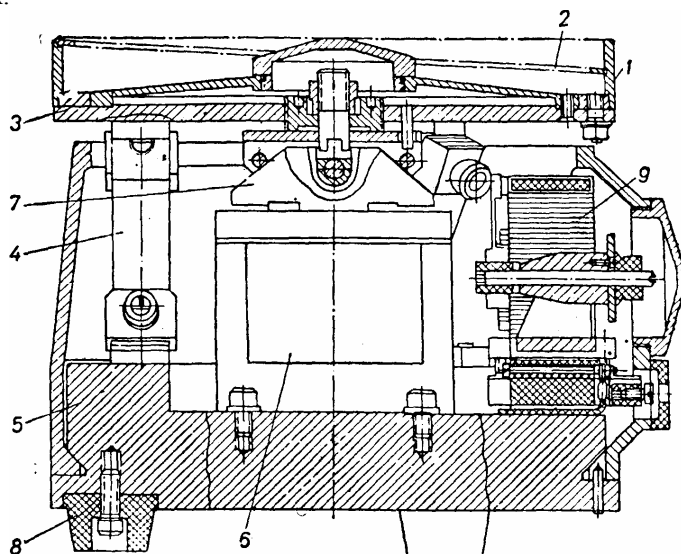


Рис. 2.45 – ВБЗУ с многослойными подвесками

ВБЗУ состоит из чаши 1, на внутренней цилиндрической поверхности которой имеется спиральный лоток 2. Днище чаши 3 укреплено на трех многослойных подвесках 4, представляющих наборы плоских рессор.

В центре нижнего массивного основания 5 укреплен электромагнит 6, якорь которого 7 крепится к днищу чаши 3. Для виброизоляции бункер расположен на резиновых амортизаторах 8. Регулирование производительности осуществляется изменением тока, подаваемого в электромагнит, которое производится при помощи встроенного реостата 9.

Резонансная настройка питателя может регулироваться путем изменения количества пластин в пакетах многослойных подвесок 4.

2.7.2. ВБЗУ с подвеской чаши на цилиндрических стержнях

На рис. 2.46 показана конструкция ВБЗУ с подвеской чаши на цилиндрических стержнях. ВБЗУ состоит из чаши 13, на внутренней цилиндрической поверхности которой выполнена спиральная канавка призматической формы, в которой вмещаются цилиндрические детали в один ряд. Чаша 13 вместе с конусом 12 крепится к днищу 11. Днище ВБЗУ укреплено на трех наклонных цилиндрических пружинных стержнях 2, закрепленных зажимами в верхнем 1 и нижнем 5 башмаках.

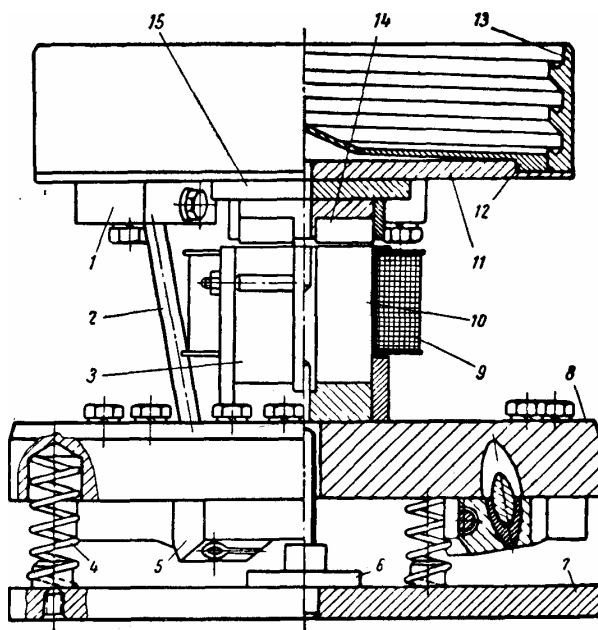


Рис. 2.46 – ВБЗУ с подвеской чаши на цилиндрических стержнях

Стержни расположены таким образом, что проекция их на горизонтальную плоскость перпендикулярна к радиусу в точках крепления их к днищу 11. Для уменьшения габаритов питателя при определенной рабочей длине пружинных стержней 2 крепление их к нижней плите 8 осуществляется зажимами 5 с нижней стороны плиты.

Привод питателя осуществляется от вертикального электромагнитного вибратора 3, установленного в центре плиты 8. Якорь вибратора 14 выполнен из пластин электротехнической стали, пакет которых при помощи планок крепится к основанию якоря.

Для изоляции днища бункера от проникновения магнитных силовых линий, которые могут намагничивать подаваемые детали, между основанием якоря и днищем установлена алюминиевая прокладка 15. Сердечник электромагнита состоит из набора Ш-образных пластин 10, изготовленных из электротехнической стали, прикрепляемых к основанию вибратора при помощи планок. На средний выступ набора надевается катушка 9 с обмоткой, через которую пропускается переменный ток.

Вертикальные колебания якоря вибратора за счет изгиба наклонных стержней 2 преобразуются в колебания чаши питателя по винтовой линии. Такое колебательное движение заставляет детали, лежащие на поверхности конуса 12, сползать к спиральной канавке и подниматься по ней вверх.

Для виброизоляции загрузочное устройство установлено на трех витых цилиндрических пружинах 4 сравнительно небольшой жесткости. Устранение чрезмерной подвижности питателя достигается установкой на основании 7 оси 6 с резиновой втулкой, которая входит в отверстие плиты 8 с небольшим зазором. Эта ось, обеспечивая амортизированной системе две степени свободы: перемещение по вертикали и вращение вокруг вертикальной оси, ограничивает возможность остальных перемещений.

Особенностью таких конструкций вибрационных бункерных загрузочных устройств, является применение цилиндрических стержней в качестве упругих подвесок.

Применение цилиндрических стержней вместо плоских пружин вызвано следующими соображениями.

Частота собственных колебаний ВБЗУ должна быть вполне определенной и зависит она от жесткости пружин, на которых подвешена чаша питателя.

Пластинчатые рессорные пружины имеют жесткость, сильно зависящую от направления их изгиба. Поэтому жесткость каждой пружины, закрепленной в системе ВБЗУ, в значительной мере будет зави-

сеть от точности ее установки. Неодинаковая жесткость пружин, на которых подвешивается чаша устройства, нарушает движение заготовок по спиральному лотку и требует дополнительной работы по настройке ВБЗУ.

Круглые цилиндрические стержни имеют одинаковую жесткость в любом радиальном направлении и поэтому менее чувствительны к погрешностям сборки. Расчет их упругих свойств, а, следовательно, и параметров собственных колебаний ВБЗУ прост и точен. Кроме того, цилиндрические стержни допускают устранение погрешностей расчета простым способом регулировки резонансной настройки.

Необходимость регулирования резонансной настройки вызывается тем, что при проектировании вибрационного устройства не всегда удается точно определить массы и моменты инерции частей ВБЗУ из-за их сложной конфигурации. Поэтому частота собственных колебаний системы изготовленного загрузочного устройства может оказаться несколько выше или ниже расчетной. Удаление даже на несколько герц от резонансной области увеличивает требуемое для привода ВБЗУ возмущающее усилие в несколько раз.

2.7.3. Работа основных узлов вибрационных БЗУ

В основу работы бункерных вибрационных загрузочных устройств со спиральным лотком положен тот же принцип, что и для прямолинейного лотка, рассмотренный ранее. Лоток ВБЗУ может быть представлен в виде свернутого в круг наклонного прямолинейного вибрационного лотка. Для обеспечения заданного угла бросания чаша бункера должна иметь колебательное движение по спирали. Угол подъема этой спирали и будет углом бросания.

Как видно из приведенных выше конструкций, всякое вибрационное загрузочное устройство состоит из рабочего органа – чаши, нижней реактивной массы – основания, привода загрузочного устройства – вибратора и упругой системы.

Чаши ВБЗУ служат для помещения в них подаваемых заготовок навалом. Они представляют собой тело вращения и в зависимости от образующей могут быть:

- цилиндрическими;
- коническими;
- с криволинейной образующей;
- комбинированные.

Наибольшее распространение получили цилиндрические чаши, поскольку они проще в изготовлении, наладке и эксплуатации самого загрузочного устройства. Коническая форма чаши позволяет лег-

че осуществлять ориентацию подаваемых заготовок, разрежение этих заготовок на транспортирующем лотке и благоприятнее для деликатных заготовок. Однако они сложнее в изготовлении, да и использование рабочего пространства в них хуже. Поэтому коническая форма чаши применяется реже и в специальных случаях. Чаши с криволинейной образующей гораздо сложнее в изготовлении из-за сложности размещения в них спирального лотка. Они могут использоваться при необходимости создания особых условий вибротранспортирования, но их применение весьма ограничено. Чаши с комбинированной образующей являются паллиативным решением, по своей сути приближающимся к чаше с криволинейной образующей.

Чаши ВБЗУ объединяют по приведенной ранее классификации узлов бункерных загрузочных устройств бункер, механизм захвата и механизм ориентации. Бункером служит внутреннее пространство чаши, куда помещаются подаваемые заготовки. Захват заготовок осуществляется лотком, размещенным на внутренней поверхности чаши. Причем в основном захват осуществляется западанием в нижней части лотка и длина перехода с днища или внутреннего конуса должна быть не менее пути захвата, рассчитанного по приведенным выше соотношениям. Ориентирование заготовок осуществляется на верхних витках спирального лотка чаши ВБЗУ.

Автоматическое ориентирование в вибрационном питателе – это процесс, в результате которого заготовки в момент выхода из лотка питателя имеют определенное расположение в пространстве.

Сложность автоматического ориентирования заготовки определяется несколькими признаками, основными из которых являются: количество осей и плоскостей симметрии, которые имеет заготовка, а также соотношение габаритных размеров заготовки.

Первый признак определяет количество различных положений, которые могут занять заготовки на лотке ВБЗУ. Это в свою очередь определяет количество этапов ориентации, которые должны пройти заготовки до их полного ориентирования. Чем меньше осей и плоскостей симметрии имеет заготовка, тем больше потребуется для нее этапов ориентации.

Второй признак – соотношение габаритных размеров – определяет устойчивость различных положений заготовок на лотке ВБЗУ. Чем больше разница в габаритных размерах заготовки, тем больше будет разница в устойчивости различных положений ее на лотке, тем легче за счет лишь формы лотка удерживать на нем заготовки только в одних устойчивых положениях и тем самым осуществлять их ориентирование.

В зависимости от целевого назначения загрузочного устройства, а также сложности загружаемых заготовок в чаше питателя осуществляется полное или частичное ориентирование заготовок. Если заготовки, выходящие со спирального лотка, имеют точно одинаковое расположение относительно друг друга, то это значит, что в чаше питателя осуществлено полное ориентирование.

Частичное ориентирование заготовок в чаше ВБЗУ осуществляется в двух случаях:

1) когда рабочий процесс допускает возможность частичного ориентирования и тогда нет необходимости усложнять конструкции ориентирующих устройств. Такой случай имеет место в счетных автоматах, автоматах контроля твердости и др., когда деталь на рабочей позиции может иметь несколько определенных положений;

2) когда деталь имеет сложную геометрическую форму, и осуществление ее полной ориентации затруднено. В этом случае в чаше питателя осуществляется частичное ориентирование, а окончательное или полное ориентирование производится в отдельном устройстве, находящемся вне чаши.

Процесс ориентирования заготовок в чаше ВБЗУ в зависимости от сложности заготовки может состоять из одного или нескольких этапов, на которых ориентирование осуществляется по следующим принципам:

1) путем удержания на лотке заготовок, занявших правильное положение и удаления всех остальных;

2) путем придания заготовке, находящейся в неправильном положении на лотке, требуемой ориентации.

Для увеличения производительности ВБЗУ первый принцип при возможности частично сочетают со вторым на одном этапе так, чтобы сбрасываемые с лотка заготовки при падении на дно или нижний виток лотка поворачивались в требуемое положение. Этим увеличивается процент заготовок, имеющих необходимую ориентацию.

Устройства, осуществляющие ориентацию в чаше загрузочного устройства, можно разбить на две группы.

1. Устройства первичной ориентации – устройства, в которых хаотически расположенные заготовки получают на лотке одно или несколько определенных устойчивых положений и ориентируются относительно хотя бы одного (обычно наибольшего) габаритного размера (длины, ширины, высоты) или поверхности (цилиндра, плоскости). Для заготовок, получающих одно устойчивое положение, эти устройства будут осуществлять полную ориентацию, например, ориентацию цилиндрических деталей вдоль их оси вращения.

2. Устройства вторичной ориентации – устройства, в которых заготовки, имеющие несколько определенных положений, проходят очередной этап ориентации. Каждый этап ориентации уменьшает количество положений, занимаемых заготовками на лотке питателя.

Ориентация сложных заготовок осуществляется на нескольких этапах при помощи устройства первичной ориентации и нескольких устройств вторичной ориентации.

2.7.4. Конструктивные особенности ВБЗУ

Поскольку лоток ВБЗУ располагается внутри чаши бункера и представляет собой спираль, то для сообщения эффективного вибротранспортирования чаше бункера необходимо сообщить также колебательное движение по спирали, угол подъема которой больше угла подъема спирали лотка. Угол подъема спирали этого движения и будет углом бросания β .

Существует два способа осуществления колебаний чаши по спирали: 1) с помощью направленной подвески при произвольном направлении возмущающего усилия; 2) с помощью свободной подвески и направленном возмущающем усилии.

При **направленной подвеске** чаша бункера (рис. 2.47, а) подвешивается на наклонных прямолинейных рессорах, расположенных тангенциально. При сообщении такой системе колебательного движения, чаша питателя будет совершать колебания по спирали.

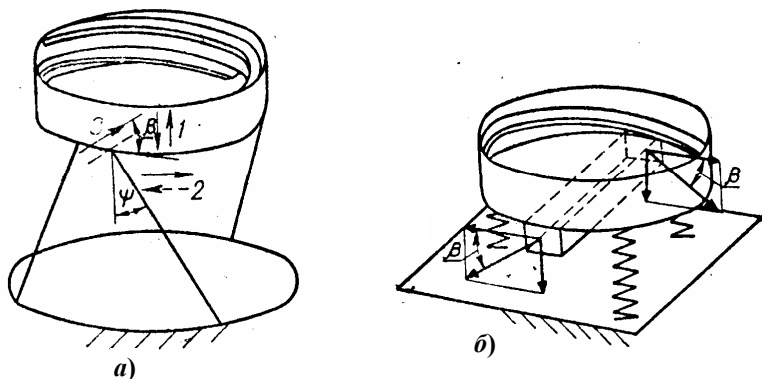


Рис. 2.47 – Способы сообщения направленной вибрации

Если подвески закреплены так, что проекции их на горизонтальную плоскость перпендикулярны к радиусам в точках крепления их к чаше, то угол бросания в этих точках будет равен углу наклона подвесок.

Угол бросания в любой точке на чаше питателя в этом случае определяется по соотношению:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{r}{R} \operatorname{tg} \psi, \quad (2.78)$$

где r – радиус крепления подвесок к чаше (см. рис. 2.48);

R – радиус окружности на чаше, в точках которой определяется угол β .

В бункерных загрузочных устройствах, работающих по способу направленной подвески, колебания системе могут сообщаться от вибраторов, имеющих различное направление возмущающего усилия: центрального вибратора с вертикальным направлением усилия, тангенциальных вибраторов, сообщающих крутильные колебания, тангенциальных вибраторов с усилиями, направленными перпендикулярно к подвескам.

При *свободной подвеске* чаша питателя со спиральным лотком подвешивается на цилиндрических пружинах (рис. 2.47, б), а колебания чаши осуществляются при помощи одного или нескольких вибраторов, сообщающих системе колебания по спирали с определенным углом подъема.

Большинство ВБЗУ, применяемых в настоящее время в машиностроении, работают по первому способу с направленной резонансной подвеской. Для небольших и средних бункерных ВБЗУ, работающих при частоте 50-100 Гц с приводом от электромагнитных вибраторов, этот способ наиболее удобен, так как конструкция такого устройства и вибратора весьма проста и надежна в эксплуатации.

Таким образом, направленная подвеска является сегодня предпочтительной. Используя при этом околорезонансную настройку (см. выше), можно получить высокоэкономичное, надежное и стабильно работающее ВБЗУ. Для обеспечения стабильности подачи заготовок из ВБЗУ параметры режима вибротранспортирования должны быть постоянными по всей длине транспортирующего лотка. Поскольку три точки определяют положение тела в пространстве, то используются три наклонно расположенных стержня или пакета плоских ресор, как показано на рис. 2.48.

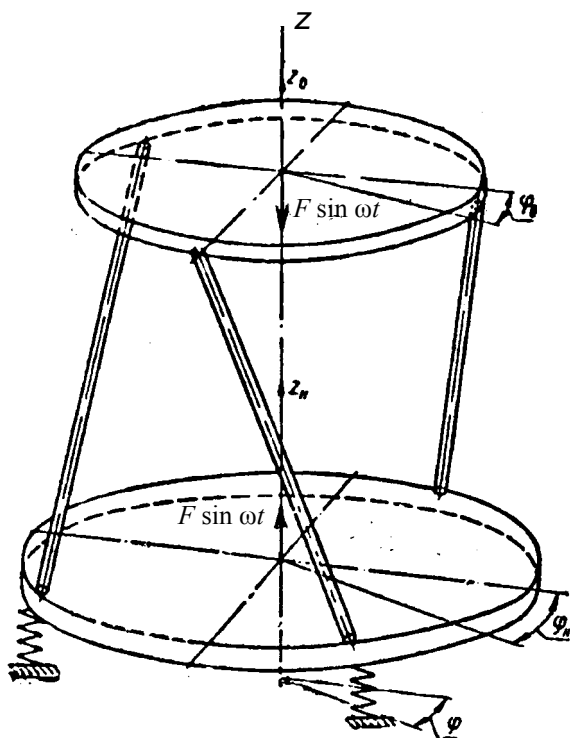


Рис. 2.48 – Схема упругой подвески

Каждый упругий элемент обеспечивает движение в наклонном направлении, а расположение их по окружности приводит к движению по спирали. Как уже отмечалось при рассмотрении конструкций ВБЗУ, цилиндрические стержни легче изгибаются во всех направлениях и поэтому при трех цилиндрических упругих элементах такую систему легче настраивать. Однако, требование долговечности, определяемое допускаемыми внутренними изгибными напряжениями, приводит к быстрому росту минимальной длины упругих элементов при увеличении интенсивности вибротранспортирования. Для уменьшения напряжений изгиба следовало бы уменьшить толщину в направлении наибольшей деформации, т. е. перейти к плоским рессорам, но они хуже изгибаются в поперечном направлении. Тогда, для увеличения работоспособности уменьшая ширину плоских рессор и увеличивая их количество, переходим к новому упругому элементу – решетчатому гипер-

болоидному торсиону, конструкция которого показана на рис. 2.49. Такая конструкция позволяет значительно снизить напряжения изгиба в упругих элементах, что увеличивает долговечность работы при увеличении скорости транспортирования.

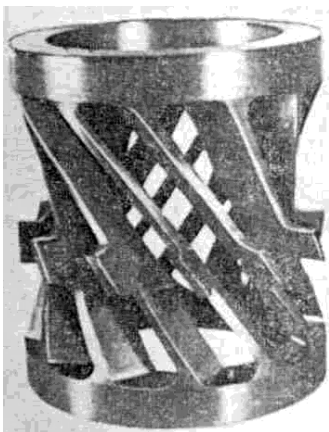


Рис. 2.49 – Решетчатый гиперboloидный торсион

Как было показано при рассмотрении принципов вибротранспортирования, скорость движения заготовок не может быть выше амплитудного значения скорости рабочего органа. Следовательно, для увеличения скорости вибротранспортирования необходимо увеличивать амплитуду колебаний чаши, а это в свою очередь приведет к увеличению деформации упругих элементов и увеличению в них напряжений. Но, как видно из рис. 2.48, при сохранении угла закручивания φ_0 амплитуда колебаний в горизонтальной плоскости будет уменьшаться по мере приближения к центру. Следовательно, для уменьшения напряжений в упругих элементах при заданной скорости необходимо помещать их ближе к центру. Но тогда влияние погрешностей установки и сборки на параметры направленных колебаний будет увеличиваться и может нарушаться равномерность транспортирования. И тогда, для получения высоких скоростей транспортирования, оказывается целесообразным использование более сложной упругой системы, названной комбинированной. Она состоит из внутреннего торсиона, обеспечивающего примерно 70 % жесткости системы, и решетчатого гиперboloидного торсиона, значительно разгруженного от напряжений изгиба и обеспечивающего направление колебаний рабочего органа (чаши).

Комбинированная упругая система, состоящая из гиперболоидного решетчатого и внутреннего торсионов, позволила создать наиболее производительные в настоящее время конструкции, на которых при диаметре чаши 500 мм достигнута скорость виброперемещения более 80 м/мин.

Конструкция такого ВБЗУ (рис. 2.50) состоит из чаши 1 и реактивной плиты 2, соединенных между собой гиперболоидным решетчатым торсионом 3 и внутренним торсионом 4. Внутренний торсион присоединяется к чаше непосредственно, а к реактивной плите – через промежуточный упругий элемент 5, в качестве которого могут быть использованы мембрана или широкая плоская пружина.

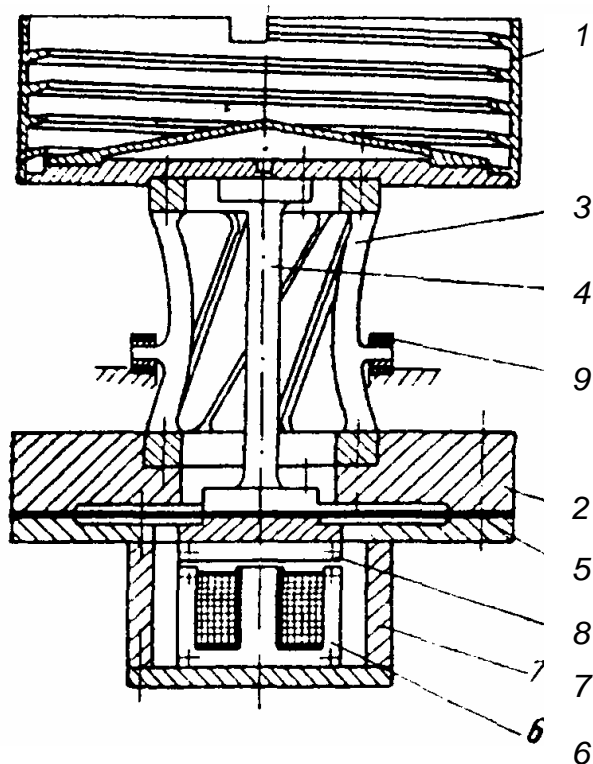


Рис. 2.50 – ВБЗУ с комбинированной упругой системой

Наклонные перья гиперболоидного торсиона обеспечивают кинематически связанные относительные осевое перемещение и поворот масс, испытывая при этом сложную деформацию: изгиб в двух

плоскостях и кручение. Внутренний торсион скручивается и перемещается в осевом направлении вследствие прогиба промежуточного упругого элемента.

Привод питателя состоит из электромагнита 6, закрепленного с помощью П-образного кронштейна 7 на реактивной плите, и якоря 8, связанного с нижним фланцем внутреннего торсиона. Вся конструкция выступами на перьях гиперboloидного торсиона, расположенных в неподвижных точках, опирается через резиновые амортизаторы в виде колец 9 на несущую конструкцию.

Расположение оси пера гиперboloидного торсиона должно быть таким, чтобы на среднем радиусе R дорожки чаши был обеспечен заданный оптимальный угол бросания β .

Таким образом, направленные упругие системы ВБЗУ могут выполняться в виде:

- комплекта (3-х или 4-х) плоских рессор;
- комплекта пакетов плоских рессор;
- комплекта цилиндрических стержней;
- решетчатого гиперboloидного торсиона;
- комбинированной упругой системы.

Крупные ВБЗУ выполняются со свободной подвеской и приводом от инерционных вибраторов.

По типу привода вибрационные бункерные загрузочные устройства можно разделить на ВБЗУ с электромагнитным, пневматическим, инерционным и эксцентриковым приводами.

Привод вибрационного питателя – вибратор является одной из его основных частей и служит для возбуждения колебаний в его упругой системе.

Для привода ВБЗУ нашли применение следующие типы вибраторов: инерционные, эксцентриковые, поршневые и электромагнитные.

Инерционные вибраторы. К инерционным относятся вибраторы, в которых возмущающая сила создается вследствие вращения одной или нескольких неуравновешенных масс.

Создаваемая вибратором возмущающая сила, рассматриваемая как вектор, может быть *вращающейся*, т. е. непрерывно изменяющей свое направление, или *направленной*. К вибраторам с вращающейся возмущающей силой относятся дебалансные вибраторы, в которых возмущающая сила создается одной вращающейся неуравновешенной массой (дебалансом).

Принципиальная схема инерционного дебалансного вибратора приведена на рис. 2.51, а. Вибратор состоит из дебаланса 1, закрепленного на валу 2, вращающегося с постоянной угловой скоростью в подшипниках корпуса 3.

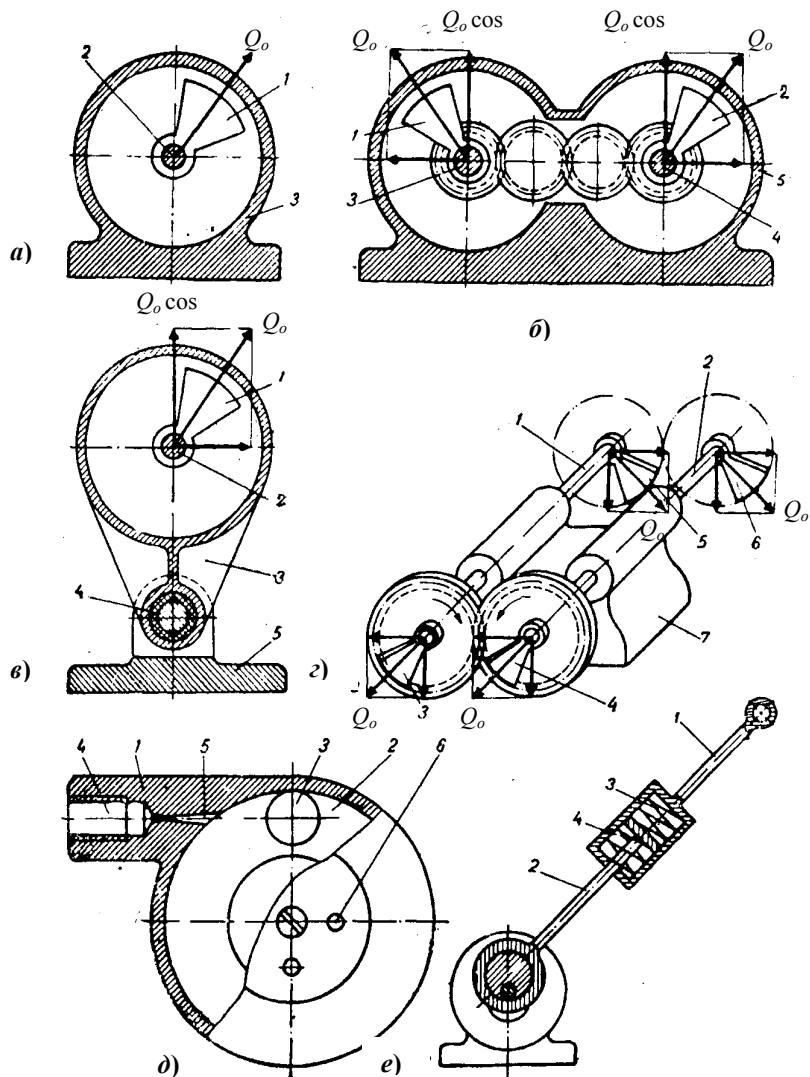


Рис. 2.51 – Схемы вибрационных вибраторов

Корпус 3 крепится к вибрационной машине. При вращении дебаланса с угловой скоростью ω развивается центробежная (возмущающая) сила Q_o :

$$Q_o = mr\omega^2, \quad (2.79)$$

где m – масса дебаланса;

r – расстояние от оси вращения до центра тяжести дебаланса.

Возмущающая сила дебалансного вибратора постоянная по величине, но непрерывно меняет свое направление.

Дебалансный вибратор, выполненный в виде электрического, пневматического или гидравлического двигателя с неуравновешенным ротором называется мотор-вибратором.

Направленное действие возмущающей силы достигается в вибраторах типа самобаланс. Такой вибратор (рис. 2.51, б) представляет собой два кинематически связанных парой шестерен дебалансных вибратора с дебалансами 1 и 2 на валах 3 и 4 и помещенных в один корпус 5. Дебалансы вращаются в противоположные стороны с одинаковой скоростью так, что одновременно занимают горизонтальное и вертикальное положения.

Благодаря этому горизонтальные составляющие центробежных сил, возникающих при вращении дебалансов, в любой момент времени уравниваются, а вертикальные составляющие складываются. Суммарная возмущающая сила вибратора будет равна:

$$Q = 2Q_o \cos \omega t = 2mr\omega^2 \cos \omega t. \quad (2.80)$$

Тот же эффект получается при использовании двух мотор-вибраторов, роторы которых вращаются в противоположные стороны. Одновременность горизонтальных положений смещенных роторов мотор-вибраторов может достигаться самонастройкой в процессе работы вибрационной машины или кинематической связью между роторами. В первом случае такой привод называют самосинхронизирующимся мотор-вибратором, во втором – спаренным мотор-вибратором.

При помощи одного мотор-вибратора также можно получить направленную возмущающую силу. Для этого он подвешивается в виде маятника на упругих элементах (пружинах или резиновых подвесках) таким образом, что возмущающая сила действует только в направлении линии, соединяющей центр вращения дебаланса и центр шарнира, на котором подвешен мотор-вибратор. Такие вибраторы называются маятниковыми. Принципиальная схема маятникового вибратора приведена на рис. 2.51, в. Корпус 3 вибратора, в котором на валу 2 вращается дебаланс 1, при помощи резинового шарнира 4 крепится к опоре 5.

При таком способе крепления вибратора составляющая центробежной силы, проходящая через ось дебаланса и шарнир вибратора, полностью передается на его опору, которая крепится к вибрационной машине. Составляющая центробежной силы, действующая в перпендикулярном направлении, вызывает колебания вибратора вокруг шарнира 4. При этом вследствие незначительной жесткости шарнира реакция, передаваемая им на вибрационную машину, получается весьма незначительной. Поэтому практически на вибрационную машину передается постоянная по направлению действия возмущающая сила:

$$Q = Q_0 \cos \omega t = m r \omega^2 \cos \omega t. \quad (2.81)$$

В ВБЗУ со спиральными лотками на свободной подвеске применяют двухвальные четырехмассовые вибраторы, которые создают вращающий момент, сообщаемый рабочему органу питателя колебательные движения вокруг оси и периодическую возмущающую силу, обуславливающую колебательное движение рабочего органа вдоль его оси.

Принципиальная схема устройства четырехмассового двухвального вибратора приведена на рис. 2.51, г.

Вибратор состоит из двух валов 1 и 2, соединенных между собой зубчатыми колесами и вращающихся в разные стороны. На концах каждого вала укреплены дебалансы 3, 4, 5 и 6. Валы дебалансов закреплены в общей опоре 7. Для получения вращающего момента и возмущающей силы, действующей в вертикальной плоскости, дебалансы вибратора с каждой стороны вала смещены относительно друг друга на угол 90° .

К инерционным дебалансным вибраторам относятся также вибраторы, у которых вращение неуравновешенной массы осуществляется за счет энергии сжатого воздуха.

Для получения высокой частоты колебаний в пределах 7000-50000 Гц американская фирма "Вибролатор" выпускает шариковые пневматические вибраторы. Вибратор (рис. 2.51, д) состоит из стального корпуса 1, имеющего замкнутый кольцевой паз 2, в котором свободно располагается стальной шарик 3. На корпусе вибратора имеется штуцер 4 с соплом 5, предназначенный для присоединения шланга, подающего сжатый воздух. В центральной части, в торцовых стенках корпуса вибратора имеются отверстия 6, служащие для выхода в атмосферу отработавшего сжатого воздуха. Вибратор работает следующим образом. Сжатый воздух, проходя через расширяющееся сопло 5, приобретает большую скорость и его струя заставляет двигаться шарик 3 по кольцевой канавке. Под влиянием центробежной силы шарик прижимается к наружной стенке канавки. Вследствие такого кругового

движения шарика возникает возмущающая сила. Так как шарик свободно располагается в направляющей канавке и между ним и боковыми стенками канавки имеются большие зазоры, на шарик действует только динамический напор воздушной струи, статическое давление при этом практически не оказывает никакого влияния. Частота колебаний вибратора, определяющаяся скоростью движения шарика, регулируется путем изменения подачи воздуха при помощи дросселя.

Эксцентрикковые вибраторы. К эксцентрикковым относятся механические вибраторы, преобразующие вращательное движение вала в колебательное движение шатуна, связанного с рабочим органом вибрационной машины.

В вибрационных машинах вибратор должен сообщать лишь силовые импульсы, а характер движения рабочего органа определяется динамическими характеристиками самой машины. Сам по себе эксцентрикковый привод имеет кинематически определенный характер движения шатуна. Поэтому с целью получения необходимой степени подвижности для использования в качестве вибратора в эксцентрикковый механизм обычно вводится упругий элемент. Наличие упругого элемента снижает пусковой момент двигателя при запуске вибрационной машины.

На рис. 2.51, е приведена схема эксцентриккового вибратора с упругим шатуном. Шатун состоит из двух половин 1 и 2, связанных между собой винтовыми пружинами 3 и 4. За счет деформации пружин шатун может растягиваться и сжиматься. Вследствие этого он работает как упругий элемент при ходе рабочего органа вперед и назад.

В качестве упругих звеньев могут использоваться также плоские рессоры или резина.

Поршневые пневматические и гидравлические вибраторы.

К поршневым относятся вибраторы, в которых возмущающая сила создается вследствие возвратно-поступательного движения поршня или какого-либо заменяющего его элемента.

В пневматических поршневых вибраторах сжатый воздух подводится попеременно с помощью золотниковой системы с разных сторон перемещающегося плунжера и выпускается в атмосферу.

В гидравлических вибраторах возмущающая сила создается поршнем, совершающим в цилиндре возвратно-поступательное движение под воздействием напора жидкости, подаваемой попеременно с разных сторон поршня.

При помощи пневматических и гидравлических вибраторов можно получить различную скорость рабочего органа в прямом и обратном направлении, т. е. работать при несимметричном законе колебательного движения.

Электромагнитные вибраторы. К электромагнитным относятся вибраторы, в которых возмущающая сила создается магнитным полем, образующимся при прохождении через обмотку вибратора переменного или пульсирующего тока.

Электромагнитный вибратор состоит из магнитопровода, включающего статор и якорь, набранных из листовой электротехнической стали, одной или нескольких обмоток и пружинной системы. Чаще всего статор магнитопровода набирается из пластин Ш-образной или П-образной формы, а якорь – из пластин прямоугольной формы.

Из всех рассмотренных конструкций в ВБЗУ, применяемых в машиностроении, наибольшее распространение получили электромагнитные вибраторы. По своему принципиальному устройству электромагнитные вибраторы являются наиболее совершенным видом привода. Если в большинстве типов привода происходит преобразование вращательного движения двигателя в возвратно-поступательное движение вибратора, то в электромагнитных вибраторах необходимое возвратно-поступательное движение получается непосредственно без каких-либо промежуточных механизмов. Электромагнитные вибраторы не имеют трущихся деталей, подверженных износу. Они допускают удобное регулирование режима работы.

Другие типы вибраторов применяются преимущественно в крупногабаритных конструкциях при необходимости работать на более низких частотах, где конструкция электропривода усложняется.

В ВБЗУ крупных размеров, работающих на частотах 20-25 Гц, применение могут найти инерционные и эксцентриковые вибраторы, существенным достоинством которых является возможность получения больших усилий при небольших габаритах и весе привода.

Известные в настоящее время конструкции ВБЗУ с электромагнитным приводом выполняются с направленной резонансной подвеской. Внедренные в промышленность конструкции отличаются широким диапазоном размеров чаши, конструкцией и типом упругой системы и потребляемой этими устройствами мощности. Диаметры чаш в этих конструкциях колеблются от 90 до 1000 мм, а потребляемая мощность от 5 до 300 Вт. Максимальная скорость движения заготовок, достигнутая в существующих конструкциях составляет 1 м/с.

Применяемые в настоящее время ВБЗУ с электромагнитным приводом можно классифицировать по следующим основным конструктивным признакам:

1. По расположению и количеству электромагнитов:
 - а) с одним вертикальным вибратором;
 - б) с несколькими (обычно тремя) тангенциально расположенными вибраторами.

2. По форме упругой подвески:
 - а) с одно- и многослойными плоскими пружинами;
 - б) с круглыми пружинными цилиндрическими стержнями;
 - в) с решетчатым гиперболоидным торсионом;
 - г) с комбинированной упругой системой.
 3. По способу регулирования скорости движения заготовок:
 - а) с изменением напряжения с помощью автотрансформатора;
 - б) с изменением тока и падения напряжения на электромагнитах с помощью реостата;
 - в) с изменением воздушного зазора электромагнита.
 4. По способу регулирования резонансной настройки:
 - а) с регулированием резонансной настройки путем изменения толщины пакетов многослойных подвесок;
 - б) с регулированием резонансной настройки путем изменения рабочей длины упругих подвесок;
 - в) с регулированием, осуществляемым путем изменения массы системы с помощью дополнительных грузов.
 5. По форме и способу крепления чаши:
 - а) с цилиндрической чашей (съёмной и постоянной);
 - б) с конической чашей (съёмной и постоянной);
 - в) с чашей, имеющей криволинейную образующую.
- Определение основных конструктивных параметров ВБЗУ приведено в книге [33].

2.8. Вибрационные питатели-подъемники

Вибрационные питатели-подъемники (для сокращения будем их называть виброподъемниками) используются в машиностроении для автоматической подачи в рабочий орган станка, расположенный на определенной высоте.

При автоматизации металлорежущих станков и соединения их в автоматические линии необходимо транспортировать заготовки от станка к станку. Наиболее простым способом транспортирования является движение заготовок под действием собственного веса по наклонным лоткам. Однако при этом способе теряется высота и, чтобы загрузить деталь в следующий станок, ее необходимо поднимать на определенный уровень.

Для повышения коэффициента использования автоматической линии между станками должны быть промежуточные накопители бункера.

Решение вопросов подъема и накопления заготовок эффективно и просто осуществляется при помощи виброподъемников.

На спиральном лотке подъемника, установленного между станками в автоматической линии, может накапливаться значительный запас заготовок, что дает возможность последующим станкам линии работать при остановке предыдущих, получая заготовки из подъемника, а при остановке последующих станков предыдущим работать на задел, пополняя запас заготовок в подъемнике.

Принцип работы виброподъемников такой же, как в бункерных вибрационных питателях. Отличаются они значительной высотой рабочего органа, а также тем, что они имеют спиральный желоб, выполненный обычно на наружной цилиндрической поверхности этого органа.

Известные конструкции виброподъемников имеют значительные габариты и большинство их рассчитано на большую мощность, чем бункерные вибропитатели. И все же значительное распространение получили виброподъемники с электромагнитным приводом где заданное направление колебаний осуществляется по способу направленной подвески как и у вибропитателей.

Виброподъемники с электромагнитным приводом изготавливаются как с направленной, так и со свободной подвесками.

Виброподъемники со свободной подвеской и приводом от двух или трех электромагнитных вибраторов выпускаются фирмой АЕГ (Германия). Тангенциально расположенные вибраторы подвешиваются к рабочему органу подъемника под углом к горизонтальной плоскости, обеспечивая таким образом колебательное движение рабочего органа по спирали. Виброподъемники этого типа выпускаются высотой от 2 до 2,75 м. Спиральный желоб изготавливают из стали или из легких сплавов. Вес подъемника высотой 2,5 м и с диаметром желоба 560 мм, включая вибраторы, составляет 250 кг. Мощность привода виброподъемников в зависимости от производительности и высоты подъема составляет от 50 до 600 Вт.

Виброподъемники с направленной резонансной подвеской могут быть с одним или с несколькими (обычно тремя) тангенциальными вибраторами.

Резонансные подъемники представляют собой двухмассовые уравновешенные системы двух типов:

- 1) с одним рабочим органом и реактивной массой, уравновешивающей колебания рабочего органа;
- 2) с обеими массами, выполняющими функции рабочего органа, т. е. служащими для подъема заготовок.

Один из вариантов резонансного подъемника первого типа представлен на рис. 2.52. На спиральном лотке подъемника размещается около 800 заготовок подшипниковых колец диаметром до 52 мм.

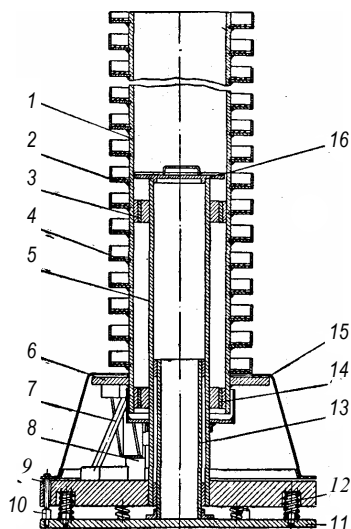


Рис. 2.52 – Конструкция резонансного вибрационного подъемника

массивной плите 9 (реактивной массе); на ней же тангенциально установлены три электромагнитных вибратора 8, сообщающих трубе 1 со спиральным лотком крутильные колебания. За счет изгиба наклонных стержней эти колебания преобразуются в колебания винтового лотка подъемника по спирали.

В плиту 9 запрессована направляющая стойка 5, имеющая возможность перемещения в подшипниках скольжения 3 и 14. Подшипники скольжения закрыты сверху крышкой 16.

Для создания виброизоляции подъемник устанавливают на амортизаторах – витых цилиндрических пружинах 12, причем во избежание чрезмерной подвижности подъемника относительно неподвижной плиты 11 на последней закреплена колонка 13, входящая в кольца, запрессованные в направляющую стойку 5, с небольшим зазором. Для уменьшения шума, возникающего при движении заготовок по стальному винтовому лотку, его поверхность покрывают износостойкой резиной 4. Привод и подвеска трубы 1 закрыты неподвижным кожухом 15, установленным на стойках 10.

Конструкция вибраторов и способ крепления пружинных стержней такие же, как и у бункерных загрузочных устройств.

Высота подъемника 1,5 м. Скорость движения заготовок вверх по спиральному лотку плавно регулируется в пределах от 5 до 10 м/мин. Мощность, потребляемая подъемником при скорости заготовок 10 м/мин, составляет 200 Вт.

Подъемник состоит из трубы 1, на наружной цилиндрической поверхности которой проточена винтовая канавка. В винтовую канавку ввернуты разрезные кольца 2, которые привариваются к трубе и свариваются между собой так, что образуют сплошной винтовой лоток. Труба 1 скреплена с кольцом 6, опирающимся на три наклонных пружинных стержня 7, расположенных по касательной к окружности, которая проходит через точки крепления стержней к кольцу 6. Нижние концы этих наклонных стержней закреплены на

3. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Технологические процессы производства современных машин, работающих в условиях возрастающих нагрузок и скоростей, все более усложняются.

Увеличение производства одноименных изделий, а также повышение требований к стабильности качества изделий требует механизации и автоматизации процессов контроля. Операции контроля качества обрабатываемых изделий занимают значительное место в цепи технологического процесса. В некоторых видах производства операции контроля занимают от 25 до 50 % времени всего технологического цикла (в подшипниковой промышленности трудоемкость контрольных операций составляет 25–30 % от общей трудоемкости). По мере механизации и автоматизации основных операций в металлообработке контрольные операции становятся наиболее трудоемкими по удельному весу.

Таким образом, контроль становится узким местом, задерживающим дальнейший рост производительности труда. Кроме того, ручной контроль, помимо низкой производительности, обладает еще и рядом других недостатков. Поэтому необходимым условием дальнейшего повышения качества производимых изделий и повышения производительности труда в машиностроении является усовершенствование существующих и разработка новых методов и средств технического контроля изготавливаемых изделий.

Имеющийся опыт автоматизации контрольных операций, в частности, опыт применения средств активного контроля и контрольно-сортировочных автоматов, убедительно свидетельствует о значительном повышении качества изделий и производительности труда. Без автоматизации контроля нельзя создать автоматических линий, цехов и заводов, работающих полностью по автоматическому циклу.

3.1. Источники и характеристики производственных погрешностей

Опыт производства любой промышленной продукции показывает, что получить детали, совершенно одинаковые по размерам, невозможно. Если даже технологический процесс, машины, инструмент остаются неизменными и персонал, обслуживающий этот процесс, один и тот же, все же размеры деталей всегда варьируют в более или менее широких границах, т. е. имеют место производственные погрешности.

Погрешности размеров могут возникать как при обработке, так и при контроле деталей. Те и другие погрешности имеют в основном одинаковый характер и подчиняются одним и тем же закономерностям.

Эти погрешности вызываются причинами двоякого рода. Одни из них действуют в постоянном направлении, соответственно вызывая отклонения размеров всегда в одну сторону. Например, износ токарного резца или шлифовального круга будет вызывать систематическое увеличение, при неизменных прочих условиях, диаметра обрабатываемых деталей, износ развертки – уменьшение диаметра отверстий. Также односторонне и систематически влияет на некоторые размеры изготавливаемых деталей изменение размеров и геометрии режущих инструментов в результате переточек и др. Причины этого рода не случайны, их принято называть систематическими.

Однако и после устранения такого рода причин изменчивость размеров изделий никогда полностью не исчезает, что обусловлено действием второго рода многочисленных случайных причин. К ним относятся:

1) погрешности оборудования – неточности кинематической цепи станка, его шкал, лимбов и т. д.; деформации деталей станка; колебания и вибрации из-за недостаточной жесткости станка или фундамента, неполной уравновешенности вращающихся масс, толчков в передачах и т. п.; повышенные зазоры между деталями станка и изменение силы трения между ними; износ направляющих; неправильности в подаче смазки, охлаждающей жидкости и др.;

2) колебания режимов работы – изменения скоростей резания и подачи, вращения рабочих приводов станка; изменения усилия резания из-за разных причин; нагрев инструмента и обрабатываемой детали, изменения температуры помещения и т. д.;

3) погрешности инструмента – износ и недостаточная жесткость режущего инструмента; затупление режущей грани; пригар; неоднородность материала режущего инструмента; неправильность формы фасонного инструмента; износ и недостаточная жесткость измерительного инструмента и прочее;

4) недостатки рабочего приспособления – неправильности оправок, цанг и т. д.; недостаточная жесткость приспособления, которая приводит к деформации деталей под влиянием усилия резания; нестабильность установки детали и т. п.;

5) неоднородность материала изделия – колебания в химическом составе, колебания механических свойств, шлаковые включения, внутренние трещины, внутренние напряжения и т. д.; часть этих свойств влияет на колебания режима обработки изделия, часть – вызывает непосредственное изменение размеров или формы изделия;

6) ошибки рабочего: при настройке станка и установке инструмента, при установке и закреплении детали, при снятии пробной стружки, при регулировке режима работы станка и подачи охлаждающей смеси, при заточке инструмента и т. д.;

7) погрешности измерительных приборов – зазоры в подвижных соединениях цепи передачи приборов, изменение характеристики сил трения в измерительных цепях, погрешности аттестации образцовых деталей, по которым настраиваются измерительные приборы, случайное изменение параметров электрической цепи, погрешности отсчетов по шкалам, случайные колебания температуры, субъективные ошибки при измерении и другие.

Действие этих случайных причин устранить невозможно. Они характеризуются следующим.

1. Число случайных факторов и параметров, вызванных ими частных погрешностей, не изменяются во времени.

2. Все случайные факторы по своему влиянию на общую погрешность одного порядка, т. е. среди них нет доминирующих. Это условие наблюдается, если неточности оборудования и приспособлений, ошибки рабочего, колебания режима работы (нагрева, усилий резания), ошибки и износ инструмента, неоднородность материала деталей, ошибки измерения не имеют резких отступлений от установленных для них норм; иными словами, если технологический процесс протекает нормально.

3. Все случайные факторы взаимно независимы. Это условие обычно имеет место при автоматически работающем оборудовании и вообще в тех случаях, когда рабочий не имеет возможности (или необходимости) влиять на работу оборудования во время самого процесса изготовления детали.

Общая погрешность является суммой частных погрешностей, вызванных действием значительного числа случайных и некоторого числа (необязательно значительного) систематических первичных факторов.

Число систематических факторов и значения, вызванных ими частных погрешностей, можно считать одинаковыми для всех экземпляров детали. Например, при рассмотрении рассеяния погрешностей одной производственной партии, выполненной на одном станке, при одной настройке, одним инструментом и т. п.

Следует иметь в виду, что определение систематических погрешностей, как постоянных по величине и знаку или изменяющихся по определенному закону, весьма условно. Величина и закон изменения систематических погрешностей, очевидно, изменяются или вследствие конечного числа испытаний, или в результате износа отдельных элементов измерительных и технологических систем, или под влиянием изменения каких-либо других условий.

Таким образом, и систематические погрешности носят в какой-то мере случайный характер, поэтому наши сведения о них могут быть недостаточно полны и достоверны. Однако о систематических погрешностях мы знаем гораздо больше, чем о случайных. Если нельзя заранее предугадать величину или знак случайной погрешности, то всегда можно заранее оценить не только знак или тенденцию развития систематической ошибки, но и ее величину, хотя и не совсем точно. Именно поэтому систематические погрешности сравнительно легко поддаются компенсации.

Характерным свойством систематических погрешностей является их примерная повторяемость, что позволяет рассматривать их как закономерные. Вместе с тем полная повторяемость систематических погрешностей является практически недостижимой.

Многочисленные наблюдения рассеяния величин в самых различных случаях показывают, что если отклонения размера X от того значения, которое стремятся получить, обусловлены влиянием большого количества независимых между собой случайных причин, причем каждая из них в отдельности оказывает лишь незначительное влияние, то эти отклонения подчиняются всегда одной и той же закономерности – закону ошибок Гаусса. В таких случаях закон распределения размеров носит название закона Гаусса или нормального. Это распределение, показанное на рис. 3.1, имеет более плотное сосредоточение отклонений около их центра группирования (M) и постепенное систематическое уменьшение количества отклонений по мере увеличения их удаления в обе стороны от центра группирования.

Математическое выражение кривая распределения по закону Гаусса находит в следующих формулах:

$$z_i = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{l^2}{2}} \quad (1)$$

$$\Phi(t_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_i} e^{-\frac{l^2}{2}} dt, \quad (2)$$

U_6

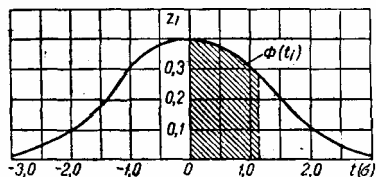


Рис. 3.1 – Закон нормального распределения в пределах допуска

где z_i – ордината кривой распределения или частоты кривой Гаусса, измеренная в величинах $1/\sigma$; e – основание натурального логарифма; $\Phi(t_i)$ – суммарная теоретическая вероятность значений от M до t_i (площадь под кривой Гаусса в интервале от M до t_i ; $l_i = \frac{x_i - M}{\sigma}$ – отклонение от центра группирования, т. е. номинального размера, при $\sigma = 1$; σ – среднее квадратическое отклонение.

Установлено, что пределы практического рассеивания составляют $\pm 3\sigma$ относительно центра группирования, а за этими пределами будет находиться всего 0,27 % всей площади, ограниченной кривой с границами $\pm \infty$, т. е. вероятность того, что полученные размеры будут выходить за указанные пределы, очень мала.

Детали с размерами, колеблющимися в пределах $\pm 2\sigma$, составляют 95,45 %, а в пределах $\pm \sigma$ – 68,27 %. Таким образом, наиболее велика вероятность получения деталей с размерами, близко расположенными к нормальному, среднеарифметическому их значению.

3.2. Задачи технического контроля

В производственной практике, особенно при изготовлении точных сопряжений, приходится сталкиваться со случаями, когда допуск на изготовление детали близок или даже меньше, чем величина поля мгновенного рассеивания, т. е. $\delta \leq 6\sigma$. Тогда, если все возможности повышения точности обработки (уменьшения σ) уже исчерпаны, в массовом или крупносерийном производстве применяют автоматический контроль с рассортировкой деталей после обработки для селективной сборки.

Таким образом возникает задача технического контроля изготавливаемых деталей и изделий. Технический контроль – это то звено технологического процесса, которое позволяет оценить качество технологического процесса, увидеть, если можно так сказать, результаты работы и произвести необходимую коррекцию с целью получения желаемого результата.

Основное значение английского слова *control* – управление. В данном случае имеется в виду не управление вообще, а управление или регулирование по результатам измерения. При этом управление (команда на определенную реакцию) может идти назад, т. е. исправление параметров технологического процесса по обработке поступающей последующей продукции (рис. 3.2, а). Здесь заготовка (Заг.) поступает в зону обработки (рабочую зону – Р.З.), где производится об-

работка и после обработки готовая деталь поступает в зону контроля (З.К.). Теперь производятся измерения и на их основании принимается решение о необходимой коррекции технологического процесса. Сформированная команда управления (К.У.) подается на управляющие органы рабочей зоны. Управление может осуществляться во время обработки, т. е. осуществляемым технологическим процессом. Это будет управление на себя, что иллюстрируется рис. 3.2, б (обозначения те же). Управление может осуществляться вперед (рис. 3.2, в), когда заготовка измеряется до обработки и по результатам измерения формируется команда управления, предусматривающая выбор соответствующих параметров последующего процесса.

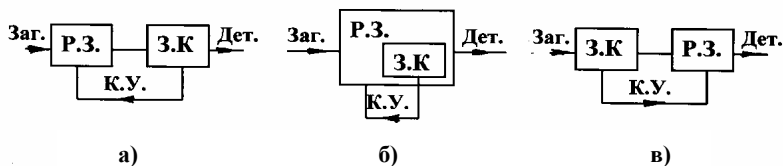


Рис. 3.2 – Схемы подачи команды управления

Задача технического контроля – обеспечение высокого качества выпускаемой продукции, постоянное поддержание работоспособности оборудования и получение высокой эффективности (производительности) обработки за счет осуществления обратной связи.

Очевидно, наиболее эффективной является подача команды управления “на себя”, когда коррекция технологического процесса осуществляется непосредственно во время обработки. Однако, далеко не всегда по условиям работы рабочая зона и зона контроля совместимы. Тогда приходится зону контроля выносить из зоны обработки и подавать управляющее воздействие вперед или назад. В случае подачи воздействия назад (рис. 3.2, а) на обработанную деталь воздействовать уже нельзя и возможен выход брака. Теперь управление будет производиться для последующей детали. В случае подачи управляющего воздействия вперед предусматривается корректировка процесса до обработки, но здесь трудно предусмотреть возможные реальные изменения процесса под действием внешних возмущений.

Сам процесс контроля состоит из следующих этапов:

- 1 – измерение контролируемого параметра (размер, температура и т.п.);
- 2 – сравнение его с заданным значением;
- 3 – принятие решения о соответствии контролируемого параметра заданному и выработка необходимой команды;

4 – реализация решения (команды) с помощью соответствующего исполнительного органа.

В практике машиностроения контролю чаще всего подвергаются следующие параметры:

- 1) линейные и реже угловые размеры обрабатываемых деталей;
- 2) геометрические параметры деталей, такие как прямолинейность, перпендикулярность, соосность, конусность, огранка и т. п.;
- 3) качество обработанной поверхности – шероховатость, волнистость и т. п.;
- 4) физические свойства обрабатываемых деталей:
 - механические – упругость, твердость, усталостная прочность;
 - магнитные – магнитное сопротивление, магнитная проницаемость, коэрцитивная сила;
 - электрические – электросопротивление (электропроводность);
 - коррозионная стойкость;
 - и т.д.;
- 5) потребляемая мощность на технологический процесс;
- 6) параметры технологического процесса – усилия, давление, температура;
- 7) экономические показатели – производительность, чистое время работы машин, станков, оборудования.

Разработка новых высокопроизводительных методов и все шире внедряющаяся автоматизация технологических процессов обработки деталей машин привели к существенному снижению трудоемкости их изготовления. Производительность процессов контроля пока растет медленнее. Увеличивается количество контролеров. Контроль становится фактором, сдерживающим рост производительности труда на машиностроительных заводах.

Повышение требований к качеству продукции, точности изготовления деталей машин вызывает необходимость повышения точности их измерений (контроля). Следовательно, задача роста производительности труда и качества продукции в машиностроении неразрывно связаны с повышением производительности и точности процессов контроля. Решение этих задач возможно лишь путем автоматизации контроля.

В устройствах автоматического контроля процесс получения и обработки информации об объекте контроля автоматизирован, т. е. совершается по заданной программе без участия человека. Результаты контроля используются для приведения в действие исполнительных органов автоматических систем. Внедрение автоматического контроля наряду с повышением производительности и сокращением количества контролеров приводит к устранению субъективных погрешностей, что повышает объективность, точность контроля и качество продукции.

Контроль является неотъемлемой и важной частью технологического процесса. Основное назначение технического контроля во всех его разновидностях – следить за ходом технологического процесса, регулируя качество продукции. Контроль выявляет нарушения нормального хода процесса, проявляющиеся в выходе контролируемых параметров объектов контроля за установленные границы. На основе информации, полученной по результатам контроля, производится подналадка, т. е. регулируется ход процесса.

Контроль параметров технологических процессов, обработанных деталей и изделий, запыленности и загазованности атмосферы цеха является неотъемлемой частью современного производства. Очевидно, что в любом автоматизированном производстве контроль также должен быть автоматизирован.

Автоматизация технического контроля является существенным этапом автоматизации промышленности. Удельный вес технического контроля в современных производствах весьма значителен: в авто- и тракторостроении, в авиационном моторостроении и других отраслях массового производства машин около 40 % производственных операций приходится на контрольные операции. Естественно, что это требует многочисленного персонала, большого парка измерительных приборов и значительных расходов на организацию контрольного хозяйства.

В настоящее время уже разработан ряд принципов автоматического контроля размеров, упругих свойств и термообработки, появились разнообразные конструкции автоматических контрольных устройств, опубликовано значительное количество работ, посвященных отдельным вопросам автоматического контроля.

Проблема автоматизации контроля представляет значительные трудности. Создание высокопроизводительных, стабильных и надежных автоматических устройств – сложная техническая задача.

Степень автоматизации операций контроля может быть различной в зависимости от того, какие этапы и в каком объеме автоматизированы.

Начальным звеном во всем контрольном органе является устройство измерения контролируемого параметра, т. е. измерительное устройство. Это устройство формирует входную информацию для контролирующей системы, и от правильности и четкости работы этого устройства будет зависеть работоспособность всей системы. Вместе с тем, измерительное устройство работает в самых тяжелых условиях, поскольку ему приходится взаимодействовать с внешними воздействиями и, в зависимости от приспособленности к внешнему окружению, будет определяться работоспособность устройства.

Конструкция измерительного устройства в значительной степени зависит от применяемого метода измерения при контроле. Классификация методов контроля приводится в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Метод измерения	Разновидность контроля
По взаимодействию с объектом	Контактные; бесконтактные
По способу измерения	Абсолютные; дифференциальные
По режиму работы преобразователя	Масштабные; компенсационные; предельные
По измеряемому параметру	Прямые; косвенные
По месту осуществления	Совмещенные; вынесенные

Контактные измерительные устройства осуществляют измерение при непосредственном контакте с контролируемым объектом. Для измерения размеров они достаточно просты по конструкции и позволяют получить сравнительно большой выходной сигнал. Однако они в значительной степени подвержены износу, из-за которого могут терять точность измерения. К числу контактных измерительных устройств для измерения размеров относятся различные рычажные системы с преобразователями.

Бесконтактные измерительные устройства позволяют осуществлять измерения без контакта с исследуемым объектом, вследствие чего они не изнашиваются и длительное время сохраняют начальную точность. Однако, такие устройства сложнее, дороже и, из-за наличия промежуточной среды, могут оказаться менее точными. В таких измерительных устройствах используются фотоэлектрические, индуктивные, лазерные, радиоактивные, пневматические и т. п. преобразователи.

Процесс измерения контролируемого параметра может быть осуществлен по-разному. Можно измерять его абсолютную (суммарную) величину и тогда отсчет необходимо производить относительно некоторой постоянной жестко фиксированной базы. При значительных величинах и требуемой высокой точности измерения этот способ становится трудоемким, поскольку необходимо с высокой точностью совмещать либо начало шкалы с исходным параметром контролируемой величины, либо исходный параметр с началом шкалы измерения. При автоматизации процесса измерения это становится затруднительно,

т. к. объект измерения и измерительная система могут иметь разные базы. Тогда оказывается целесообразным использование дифференциального метода измерения, при котором измеряются отклонения от исходных начального и конечного параметров и абсолютная величина определяется как разность этих отклонений от заданного эталона (действительного или мнимого).

В зависимости от способа работы чувствительного элемента преобразователя (датчика) измерительной системы можно выделить три метода измерения: масштабный, компенсационный и предельный.

При масштабном методе измерения чувствительный элемент должен производить в некотором масштабе измерение контролируемого параметра (т. е. выходной сигнал пропорционален измеряемому параметру).

При компенсационном методе измерения производится сравнение измеряемого параметра с эталонным и чувствительный элемент датчика должен зафиксировать равенство их величин. Таким образом, чувствительный элемент представляет собой “нуль-орган”. Конструкция такого чувствительного элемента проще и может быть достигнута высокая чувствительность, что позволяет получить весьма высокую точность измерения, поскольку исключаются погрешности измерения.

Наконец, при осуществлении технического контроля, в ряде случаев нет необходимости знать действительные значения измеряемого параметра, а важно фиксировать определенные значения или границы изменения этого параметра. В этом случае может быть использован предельный метод измерения, при котором преобразователь или чувствительный элемент измерительного устройства генерирует выходной сигнал при достижении измеряемым параметром заданной величины.

Иногда измерительные устройства не совсем верно называют контрольными устройствами или контрольными приспособлениями. Скорее это устройство для контроля, поскольку по результатам измерения должно быть принято решение и действие. Таким образом, нельзя отождествлять часть с целым. Например, калибр для измерения диаметра является измерительным устройством, показывающим, лежит ли измеряемый диаметр в пределах допуска или нет, а уже отсюда решение: годен или не годен и что делать дальше.

Разумеется, что любое измерительное устройство связано с контролем, ибо в противном случае отпадает смысл в измерении. Действительно, измеряя диаметр валиков, определяют, пригодны ли они для сопряжения и принимают решение о дальнейших действиях (контроль). Измерять микрометром диаметр гвоздей, чтобы затем забить их в стену и повесить шапку, навряд ли кому-нибудь придет в голову.

Автоматические измерительные устройства позволяют значительно упростить процесс контроля и являются элементами его автоматизации. Поскольку они находятся на стыке “изделие – система” и должны осуществлять довольно трудоемкий процесс измерения, то успешное решение автоматизации измерения является залогом успешной работы всей системы контроля.

Автоматические измерительные устройства могут использовать прямые методы измерения или косвенные.

При прямом методе контроля измеряется непосредственно контролируемый параметр, например, диаметр изделия или его твердость.

При косвенном методе измеряется сопутствующая величина, связанная с контролируемым параметром, и по ней судят о самой контролируемой величине. Так при обработке валика могут измерять положение инструмента и по нему судить о диаметре изделия, или измерять магнитную проницаемость стальной детали и по ней судить о твердости после закалки. Косвенные методы измерения по своей природе менее точны, но позволяют вести измерения в трудных условиях, в ряде случаев проще осуществляются, а иногда являются единственно возможными.

Наконец по месту осуществления методы измерения могут быть совмещенными и вынесенными. При совмещенных методах измерение осуществляется во время других этапов производственного процесса, например с обработкой или транспортировкой. При использовании вынесенных методов организуется специальная измерительная позиция, где производится измерение заданных параметров. Для вынесенных методов значительно легче достичь высокой точности измерения, поскольку на такой позиции могут быть созданы специальные условия, обеспечивающие исключение помех.

3.3. Датчики

Как уже отмечалось, первым этапом контроля является измерение контролируемого параметра, т. е. получение информации. Первым элементом, установленным в технологическом оборудовании и воспринимающим контролируемый параметр, является датчик. Он преобразует измеряемые физические величины в сигналы, удобные для дальнейшей передачи в измерительные или управляющие устройства. Измеряемыми параметрами при осуществлении контроля являются геометрические размеры, перемещения, скорость, температура, усилия, давление, вибрации, расход, уровень, загазованность, запыленность и др.

К числу основных признаков, позволяющих классифицировать первичные преобразователи, относятся принцип действия и вид входного и выходного сигналов (рис. 3.3).

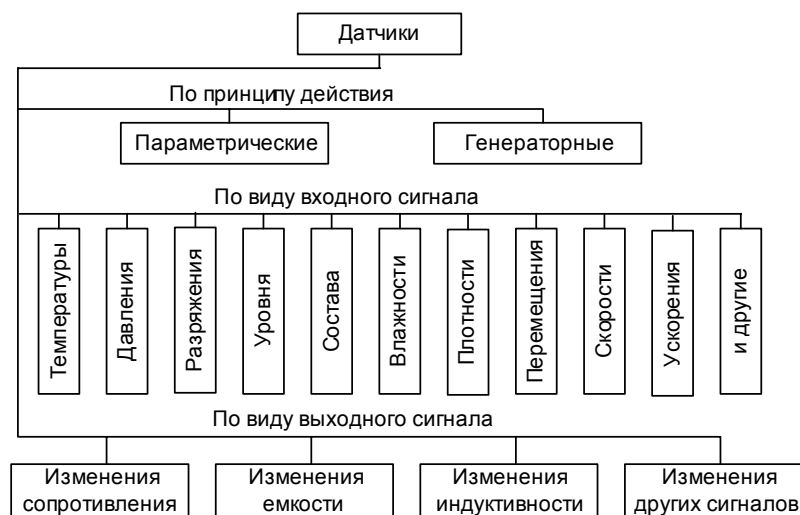


Рис. 3.3 – Классификация датчиков

В зависимости от принципа действия первичные преобразователи можно разделить на две группы: параметрические и генераторные.

Параметрические преобразователи преобразуют контролируемую величину в один из параметров электрической цепи: проводимость (сопротивление), индуктивность, емкость. Следовательно, для их работы необходимо подводить от внешнего источника электрическую энергию. К параметрическим относят следующие типы преобразователей: потенциометрические, индуктивные, емкостные, тензометрические и др.

В генераторных преобразователях непосредственно преобразуется неэлектрическая энергия входного сигнала в электрическую энергию, значение которой пропорционально значению контролируемого параметра. К генераторным относятся термоэлектрические (термопары), фотоэлектрические, пьезоэлектрические и тахометрические преобразователи. Они работают автономно, т. е. не нуждаются в подводе внешней электроэнергии.

По виду входного сигнала первичные преобразователи делятся на следующие группы: температуры, давления, разрежения, расхода, уровня, состава и влажности веществ, плотности, перемещения, скорости, ускорения и т. д.

По виду выходного сигнала первичные преобразователи подразделяют на несколько групп. Одна группа преобразует контролируемую величину в изменение активного сопротивления, другая – в изменение емкости, третья – в изменение индуктивности и т. д.

Любой датчик состоит из отдельных частей. Основной частью является чувствительный элемент, а средства защиты, вспомогательные преобразователи и крепления чувствительного элемента относятся к вспомогательным элементам.

3.3.1. Потенциометрические датчики

Потенциометрический датчик представляет собой переменное электрическое сопротивление, величина выходного напряжения которого зависит от положения токосъемного контакта.

Потенциометрические датчики предназначены для преобразования линейных и угловых перемещений в электрический сигнал, а также для воспроизведения простейших функциональных зависимостей в автоматических и вычислительных устройствах непрерывного типа.

В потенциометрах **непрерывной намотки** переменным сопротивлением служит намотанная на каркас в один ряд тонкая проволока, по зачищенной поверхности которой скользит токосъемник. Сопротивление таких потенциометров лежит в пределах от нескольких десятков ом до десятков килоом. Таким образом, потенциометр непрерывной намотки состоит из каркаса, обмотки и токосъемника (рис. 3.4).

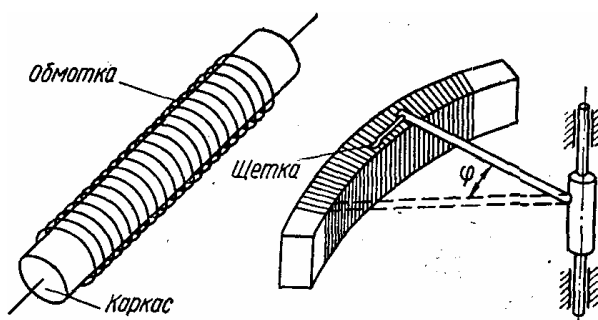


Рис. 3.4 – Потенциометрические датчики непрерывной намотки

Каркас выполняется из материала, обладающего изоляционными свойствами, и имеет форму стержня, кольца или изогнутой по дуге пластинки. В качестве изоляционного материала используют гетинакс, текстолит, керамику или металл, покрытый непроводящим слоем окисла. Обмотку изготавливают из эмалированной проволоки, диаметр которой определяет точность потенциометра. Датчики высокого класса точности наматываются проволокой диаметром $0,03 \dots 0,1$ мм, датчики низкого класса – $0,1 \dots 0,4$ мм. В качестве обмоточного провода применяют константан, манганин, фехраль и сплавы на основе благородных металлов. Обмотка укладывается на каркас равномерно, поскольку это также влияет на точность работы датчика. Токосъемник (щетка) выполняется из материала несколько мягче, чем материал обмоточного провода, во избежание перетираания витков при длительной работе. Движок имеет форму изогнутой упругой пластины для создания контактного давления, которое колеблется от 0,5 до 15 г.

В зависимости от характера движения ползунка потенциометры подразделяются на датчики линейного и углового перемещения. Щетка датчика линейных перемещений совершает прямолинейное поступательное движение, а щетка датчика углового перемещения – круговое движение (см. рис. 3.4).

По конструкции реохорда (каркас с намотанной на нем проволокой) различают два типа потенциометрических преобразователей: линейные и функциональные.

Линейные потенциометрические преобразователи имеют постоянное сечение каркаса, диаметр проволоки и шаг намотки.

Напряжение питания и длина намотки являются постоянными величинами, поэтому выходные напряжения прямо пропорциональны значению перемещения подвижного контакта.

Функциональные потенциометрические преобразователи обладают нелинейной характеристикой, что обеспечивается намоткой проволоки на каркасы с переменным сечением. Такой преобразователь представляет собой как бы несколько включенных последовательно линейных преобразователей. Нелинейность характеристики может быть достигнута также путем шунтирования резисторами отдельных участков намотки линейных потенциометрических преобразователей. Если у линейного потенциометрического преобразователя сделать отвод от середины обмотки, то он будет характеризовать наряду со значением перемещения движка и его направление.

Потенциометрические преобразователи могут включаться по схеме реостата (рис. 3.5, *а* и *б*) или потенциометра (рис. 3.5, *в*) (делителя напряжения). В зависимости от схемы включения перемещение

подвижного контакта преобразуется в изменение тока (при последовательном соединении) или напряжения (при включении по схеме делителя). Первая схема применяется довольно редко, так как она не обеспечивает достаточной точности преобразования, на величину которой оказывают влияние сопротивление соединительных проводов и переходного сопротивления между контактом и обмоткой реохорда.

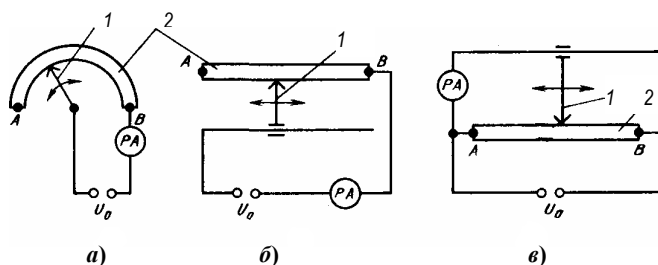


Рис. 3.5 – Потенциометрические преобразователи:
а – с угловым перемещением контакта; б – с линейным перемещением
контакта; в – включенный по схеме делителя напряжения
1 – токосъемник (щетка); 2 – активный слой (обмотка)

Потенциометрические преобразователи выполняют с 20 или 100-процентной зоной пропорциональности. Последние получили большее распространение, так как они охватывают всю шкалу измерительного прибора.

К преимуществам потенциометрических датчиков можно отнести:

1) простоту конструкции, малые габариты и вес; 2) возможность получения линейных статических характеристик с высокой точностью; 3) стабильность характеристик; 4) возможность работы на переменном и постоянном токе.

Недостатками этих датчиков следует считать:

1) наличие скользящего контакта, который может стать причиной отказов вследствие окисления контактной дорожки, перетирания витков или отгибания ползунка; 2) погрешность в работе за счет нагрузки; 3) сравнительно небольшой коэффициент преобразования и высокий порог чувствительности; 4) наличие шумов; 5) подверженность электроэрозии под действием импульсных разрядов.

Из сопоставления видно, что с течением времени следует ожидать постепенную замену потенциометрических датчиков более совершенными бесконтактными датчиками.

3.3.2. Индуктивные датчики

Индуктивные датчики применяют для преобразования малых линейных или угловых перемещений в электрические сигналы. Принцип их действия основан на зависимости индуктивного сопротивления катушки от изменения зазора в магнитопроводе, от перемещения магнитопровода в катушке или от изменения площади зазора.

Индуктивный преобразователь датчика с подвижным якорем (изменяющимся зазором) представляет собой катушку индуктивности 3 с магнитопроводом 2 и подвижным якорем 1 (рис. 3.6, а). Катушка индуктивности с магнитопроводом, называемая статором, закрепляется неподвижно, а якорь механически соединяется с подвижной частью системы измерения, перемещение которой необходимо преобразовать в электрический сигнал. Перемещение якоря изменяет воздушный зазор δ (входная величина преобразователя), вызывает изменение индуктивного сопротивления катушки и, как следствие этого, выходной величины тока I при постоянном напряжении U_0 .

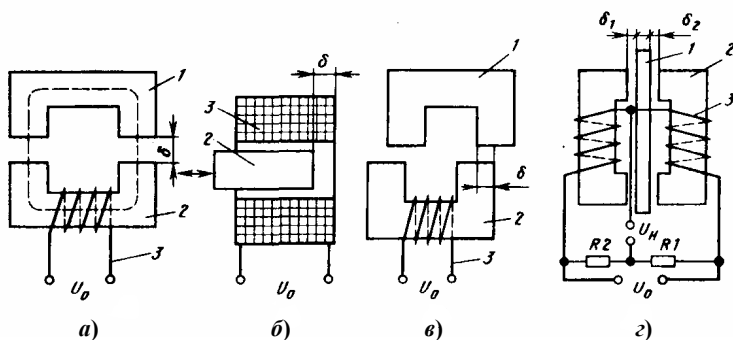


Рис. 3.6 – Индуктивные датчики:

а – с подвижным якорем; б – с перемещающимся сердечником;
в – с изменяющейся площадью зазора; г – дифференциальный

Чувствительность индуктивных преобразователей с изменяющимся воздушным зазором уменьшается с увеличением зазора δ , поэтому их используют для измерения и контроля очень малых перемещений (до 2 мм). В таком диапазоне рабочих перемещений их чувствительность не превышает 2 мкм.

Индуктивные преобразователи с перемещающимся магнитопроводом (рис. 3.6, б) способны измерять большие перемещения (до 50 мм).

У индуктивных преобразователей с изменяющейся площадью воздушного зазора (рис. 3.6, *в*) статическая характеристика линейна только на определенном участке. Линейность нарушается, когда активное сопротивление становится сравнимым с индуктивным. Диапазоны перемещения якоря больше (до 8 мм), чем у преобразователей с изменяющимся воздушным зазором, однако чувствительность ниже.

Все перечисленные выше виды индуктивных преобразователей обладают высокой надежностью, имеют практически неограниченный срок службы и большую мощность выходного сигнала (до нескольких ватт). К недостаткам можно отнести нереверсивность статической характеристики, небольшой диапазон перемещения якоря, наличие тока холостого хода и влияние колебаний амплитуды и частоты напряжения питания. Эти недостатки практически полностью отсутствуют у дифференциальных индуктивных преобразователей.

Дифференциальный индуктивный преобразователь (рис. 3.6, *г*) имеет два статора 2 с катушками индуктивности 3 и один подвижный якорь 1. При отклонении якоря от среднего положения происходит изменение индуктивного сопротивления обеих катушек и на выходе преобразователя появляется напряжение $U_{\text{н}}$. Катушки индуктивности включаются либо в дифференциальную измерительную схему, либо работают как смежные плечи мостовой измерительной схемы.

Дифференциальные индуктивные преобразователи по сравнению с ранее рассмотренными конструкциями обладают более высокими точностью и чувствительностью. Их статическая характеристика линейна и реверсивна. Поэтому они получили наибольшее распространение.

Трансформаторные преобразователи являются разновидностью индуктивных. Они представляют собой трансформаторы с переменным коэффициентом трансформации за счет изменения коэффициента взаимной индукции между обмотками. Трансформаторные преобразователи применяют для преобразования небольших линейных и угловых перемещений в электрический сигнал (напряжение переменного тока).

Первичная обмотка 2 (рис. 3.7) дифференциального трансформаторного преобразователя с угловым перемещением якоря намотана на центральном стержне 1 магнитопровода, а две совершенно одинаковые вторичные обмотки 3 располагаются на крайних стержнях. Они соединены последовательно и имеют встречную намотку. При симметричном положении якоря 4 по отношению к стержню 1 во вторичных обмотках будут индуцироваться одинаковые по значению и противоположные по фазе ЭДС, а напряжение на выходе преобразова-

теля будет равно нулю. При повороте якоря, механически связанного с подвижной частью системы измерения, изменяется значение магнитных потоков и в соответствии с этим значение ЭДС, т. е. на выходе появляется напряжение, амплитуда которого равна разности амплитуд ЭДС вторичных обмоток. Статическая характеристика рассмотренного преобразователя линейна и реверсивна. Реверсивность означает изменение в знаке выходного сигнала при изменении знака входного сигнала. Чувствительность преобразователя в 2 раза выше чувствительности обычных индуктивных преобразователей.

Интересна конструкция ферродинамического преобразователя, предназначенного для преобразования угловых перемещений в электрические сигналы.

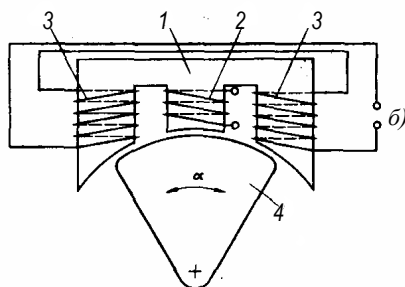


Рис. 3.7 – Дифференциальный трансформаторный преобразователь

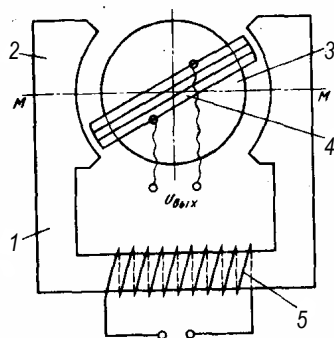


Рис. 3.8 – Ферродинамический преобразователь

Ферродинамический преобразователь (рис. 3.8) имеет магнитопровод, состоящий из шихтованного ярма 1 с полюсными наконечниками 2 и сердечника 3. На сердечнике 3 укреплены агатовые подпятники (на схеме не показаны), в которых на кернах установлена поворотная рамка 4, механически соединенная с подвижной частью системы измерения. Концы обмотки подвижной рамки подсоединяются с помощью спиральных пружин и проводов. Принцип работы преобразователя заключается в следующем. При подаче переменного тока на обмотку возбуждения 5 в магнитопроводе возникает магнитный поток. Если рамка 4 расположена по нейтрали MM , то значение наведенной ЭДС равно нулю. При повороте рамки на некоторый угол α в ней ин-

дуцируется ЭДС, величина которой пропорциональна углу поворота. Рабочий угол рамки от нейтралы составляет 40° . В зависимости от типа преобразователя напряжение на выходе рамки изменяется от -1 до $+1$ В или от 0 до 2 В.

Высокочастотные индуктивные преобразователи позволяют измерить толщину фольги металлов, толщину гальванических покрытий, разностенность металлических труб и т. д. Принцип их действия основан на изменении индуктивности обмотки при возникновении вихревых токов в проводящем теле, расположенном вблизи этой обмотки.

В таких преобразователях используется так называемый поверхностный эффект, т. е. затухание вихревых токов по мере проникновения их вглубь проводящей среды, обусловленных переменным магнитным полем; при этом разность токов возбуждающего поля и поля вихревых токов уменьшается.

3.3.3. Емкостные датчики

Основу этих датчиков составляют емкостные преобразователи, которые преобразуют неэлектрические величины (перемещение, уровень жидкости, влажность, усилие и т. д.) в изменение электрической емкости. Емкостной преобразователь является частью регулирующего или измерительного устройства с чувствительным элементом, выполненного в виде конденсатора и реагирующего на изменение измеряемого параметра технологического процесса. Чувствительный элемент емкостного преобразователя представляет собой плоский или цилиндрический конденсатор, у которого при воздействии измеряемого параметра изменяется расстояние между пластинами, площадь пластин или диэлектрическая проницаемость среды между обкладками. Емкость конденсатора C возрастает с увеличением активной площади F и диэлектрической проницаемости ξ (для воды $\xi = 81$; для воздуха $\xi = 1$; для формовочной смеси $\xi = 1 \dots 4$) и уменьшается с увеличением расстояния между пластинами X , т. е. $C = \xi_0 \cdot \xi \cdot F/X$, где ξ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м. Учитывая влияние перечисленных факторов на размеры чувствительного элемента, различают три типа емкостных преобразователей: с переменным расстоянием между пластинами, с изменяемой площадью пластин и изменяемой диэлектрической проницаемостью среды. Перечисленные параметры емкостных преобразователей являются входными величинами, а выходной величиной будет емкость конденсатора.

Емкостные преобразователи с переменным расстоянием между пластинами (рис. 3.9, *а*) как правило конструктивно выполняют в виде плоского конденсатора, состоящего из двух или более пластин, одна из которых закреплена, а другая механически связана с подвижной частью системы измерения. Емкостные преобразователи этого типа применяют для измерения толщины изделий, а также используют для измерения давления, усилия или вибрации.

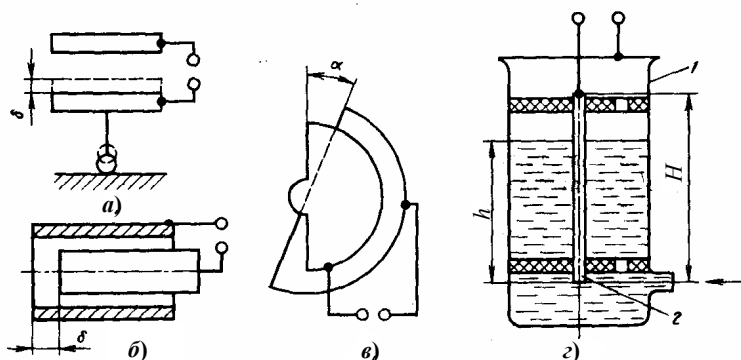


Рис. 3.9 – Емкостные преобразователи:
а – с переменным расстоянием между пластинами; *б* – с изменяемой площадью, цилиндрический; *в* – с изменяемой площадью, плоский;
г – с изменением диэлектрической постоянной; *δ* – перемещение;
 α – угол поворота пластин; *h* – высота уровня жидкости;
H – высота пластин датчика

Емкостные преобразователи с изменяемой площадью пластин выполняют как цилиндрическими (рис. 3.9, *б*), так и плоскими (рис. 3.9, *в*).

Цилиндрический емкостной преобразователь (рис. 3.9, *б*) представляет собой два цилиндра разного диаметра, помещаемые один в другой. Емкость конденсатора зависит от осевого перемещения δ внутреннего цилиндра. Преобразователи этого типа предназначены для измерения линейных перемещений.

В плоском преобразователе (рис. 3.9, *в*) емкость зависит от изменения активной площади пластин при повороте одной пластины относительно другой. Такие преобразователи используют при измерении угловых перемещений.

Емкостные преобразователи с изменением диэлектрической проницаемости среды между пластинами могут применяться, например, для регулирования влажности формовочной смеси и дози-

рования воды при ее приготовлении. При колебании уровня жидкости изменяется емкость конденсатора (рис. 3.9, з), электродами которого служат корпус 1 и металлический стержень 2. Емкость такого преобразователя складывается из емкости цилиндрического конденсатора без жидкости и параллельно включенной емкости цилиндрического конденсатора с жидкостью. Емкость и чувствительность такого преобразователя увеличиваются с уменьшением отношения диаметров электродов, а также с ростом высоты цилиндра.

Емкостные преобразователи просты по устройству, обладают достаточно высокой чувствительностью, малыми размерами и массой. Однако они имеют три недостатка: мощность выходного сигнала мала, поэтому необходимо применять усилитель; при промышленной частоте электрического тока практически невозможно получить достаточную мощность, в этой связи они получают питание от источника высокой частоты (10 кГц и более); сильное влияние оказывают паразитические емкости и посторонние электрические поля, поэтому требуется тщательное экранирование как самих датчиков, так и соединительных проводов.

3.3.4. Тензометрические датчики

Работа преобразователя тензометрического датчика (тензорезистора) основана на изменении электрического сопротивления проводников при упругих деформациях растяжения или сжатия. Они применяются для преобразования деформаций, усилий и напряжений в электрический сигнал. В зависимости от конструкции и материала чувствительного элемента тензорезисторы подразделяются на проволочные, фольговые, полупроводниковые и тензолитовые.

Простейшим проволочным тензорезистором может служить отрезок тонкой проволоки. При деформации детали одновременно будет деформироваться и наклеенная проволока. Изменение электросопротивления ΔR проволоки при ее растяжении или сжатии связано с относительной деформацией ε соотношением:

$$\Delta R = k\varepsilon R,$$

где R – номинальное сопротивление проволоки, Ом; k – коэффициент чувствительности.

Коэффициент чувствительности k зависит от вида материала и технологии изготовления преобразователя; его значение определяют экспериментально. Наибольшее распространение получили константан и нихром, для которых $k = 1,9 \dots 2,1$.

Размеры детали часто не позволяют закрепить на ней преобразователь в виде прямолинейного отрезка проволоки большой длины. Поэтому промышленность изготавливает тензометрические преобразователи в виде спирали (решетки) из нескольких петель проволоки (рис. 3.10, *а*). Проволоку 1 наклеивают на подложку 2 из тонкой бумаги или лаковой пленки и сверху наклеивают такую же тонкую бумагу. К проволоке приваривают (или припаивают) выводы 3, выполненные из тонких полосок медной фольги. Недостатком данной конструкции решетки является чувствительность преобразователя к поперечным деформациям. Для устранения этого недостатка петли между рядами заменяют медными перемычками 4 (рис. 3.10, *б*). Основными параметрами решетки являются: длина $l = 3 \dots 75$ мм, ширина $a = 0,03 \dots 10$ мм и радиус закругления $r = 0,1 \dots 0,3$ мм.

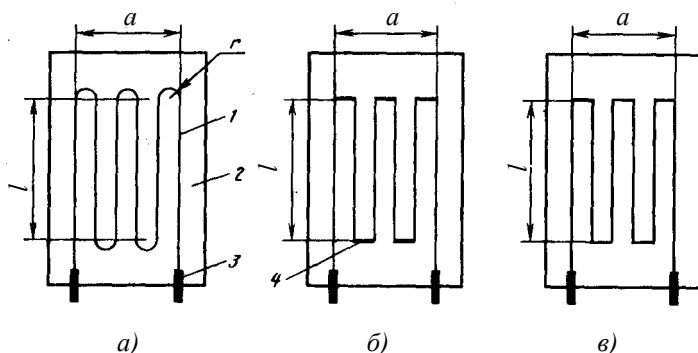


Рис. 3.10 – Тензометрические преобразователи:
а – проволочные; *б* – с медными перемычками; *в* – фольговые

Проволочные тензорезисторы просты по конструкции, имеют малую массу и невысокую стоимость. Их статическая характеристика линейна и реверсивна. К недостаткам проволочных тензорезисторов относятся низкая чувствительность и однократность действия. Они подвержены влиянию окружающей среды (температура и влага).

Фольговые тензорезисторы по принципу действия и основным параметрам сходны с проволочными преобразователями и отличаются только конструкцией решетки (рис. 3.10, *в*) и способом ее получения. Для фольговых тензорезисторов применяется фольга толщиной $4 \dots 12$ мкм из константана, нихрома, титан-алюминиевого или золото-серебряного сплавов. Решетку фольговых тензодатчиков получают методом фото-

литографии, который позволяет изготавливать преобразователи любой конструкции (линейные, розеточные, мембранные и т. п.) с высокой повторяемостью параметров. Фольговые тензорезисторы по сравнению с проволочными имеют ряд преимуществ. Они более чувствительны и точны за счет лучшей передачи деформации от детали к фольге, имеют хороший механический контакт с контролируемой деталью и позволяют пропускать через фольгу большой ток.

В настоящее время находят все большее применение полупроводниковые тензопреобразователи, изготовленные из полупроводниковых материалов – кремния, германия, мышьяка, галлия и др.

В отличие от проволочных и фольговых преобразователей изменение сопротивления при деформации у полупроводниковых происходит благодаря изменению удельного сопротивления.

Основным преимуществом полупроводниковых преобразователей является высокая чувствительность (почти в 100 раз выше, чем у проволочных). Они имеют большой выходной сигнал, что позволяет в некоторых случаях отказаться от применения усилителя. Однако у них большой разброс параметров и низкая механическая прочность, т. е. они хрупки.

3.3.5. Фотоэлектрические датчики

Принцип действия преобразователей фотоэлектрических датчиков (фотоэлементов) основан на использовании фотоэлектрического эффекта, т. е. они реагируют на изменение светового потока. Создание фотоэлектрических преобразователей оказалось возможным, когда были открыты материалы, электроны которых получают дополнительную энергию при воздействии световой энергии. Причем значение дополнительной энергии может быть таково, что часть электронов оказывается свободной.

В зависимости от поведения электронов, высвобождающихся под действием светового потока, различают три группы фотоэлементов: с внешним и внутренним фотоэффектом и с запирающим слоем (вентильные).

Фотоэлемент с внешним фотоэффектом (рис. 3.11, а) представляет собой вакуумную двухэлектродную лампу. Катод 1 образован светочувствительным слоем (цезий или сплав сурьмы с цезием) и нанесен на внутреннюю поверхность лампы, а анод 2 выполняется в виде кольца или пластины. Нередко в лампу вводят некоторое количество нейтрального газа (аргона), который не окисляет поверхность металла, но способен ионизироваться под ударами летящих электронов и увеличивать за счет своих ионов значение протекающего тока. Под дейст-

вием световой энергии с поверхности выбиваются электроны, образующие электрический ток (внешний фотоэффект). Промышленность выпускает фотоэлементы следующих типов: ЦГ – цезиевый газонаполненный; СЦВ – сурьмяно-цезиевый, вакуумный; ЦВ – цезиевый, вакуумный.

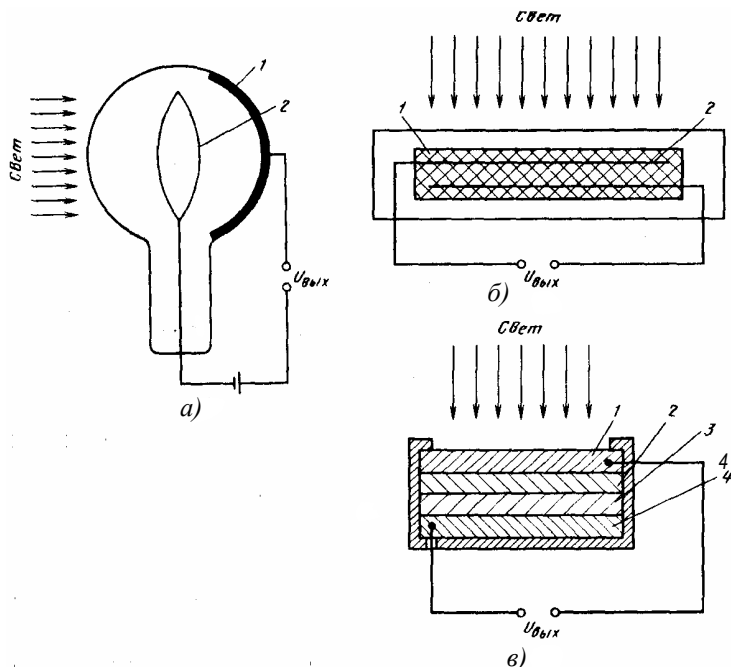


Рис. 3.11 – Фотоэлектрические преобразователи:
а – с внешним фотоэффектом; б – с внутренним фотоэффектом;
в – вентильные

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом обладают высокой чувствительностью и высокой температурной стабильностью. Для них характерна линейная зависимость фототока от светового потока. К числу недостатков рассмотренных фотоэлементов, которые ограничивают их применение в автоматических системах управления, относятся: необходимость в повышенном напряжении питания; хрупкость стеклянного баллона; старение и утомляемость, т. е. снижение чувствительности при сильной освещенности. Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом (фоторезисторы) чувствительнее элементов первого типа, использующих фотоэффект со свободной поверхности металла.

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом не нуждаются во вспомогательной энергии, и им может быть придана весьма разнообразная и очень удобная форма. Недостатками их являются: подверженность влиянию окружающей температуры, утомляемость и высокая инерционность. Последнее ограничивает применение фотоэлементов с внутренним фотоэффектом при частоте прерывания светового потока в несколько десятков герц.

Фоторезисторы (рис. 3.11, б) представляют собой стеклянную пластинку 1 с нанесенным тонким слоем селена или сернистых соединений различных металлов (таллия, висмута, кадмия, свинца). К пластине прикреплены электроды 2, имеющие контакт с полупроводниковым слоем. Размеры фоторезисторов очень невелики. При подаче к электродам напряжения через фоторезистор будет протекать ток, значение которого пропорционально освещенности. Зависимость тока от освещения имеет нелинейную величину. Однако чувствительность фоторезисторов в сотни раз превышает чувствительность вакуумных элементов, что позволяет их использовать в автоматических устройствах без усилителей.

У вентильных преобразователей свободные электроны, изменяя свою энергию под действием светового потока, остаются в веществе. В промышленности получили наибольшее распространение селеновые и меднозакисные фотоэлементы.

Селеновый фотоэлемент (рис. 3.11, в) имеет четыре рабочих слоя. Первый слой образован тонкой пленкой золота 1, далее идут запирающий слой 2, селеновый слой 3 и стальная подкладка 4. Запирающий слой, обладая детекторным свойством, пропускает электроны, выделившиеся из пленки золота, и препятствуют прохождению электронов противоположного направления. Таким образом, световой поток, проходя через пленку золота, создает вентильный фотоэффект, т. е. электроны из освещенного слоя переходят в неосвещенный. Это приводит к возникновению разности потенциалов $U_{вых}$. Фотоэлектрические преобразователи просты по устройству и достаточно надежны в работе, однако более инерционны.

3.4. Основные измерительные схемы

Рассмотренные различные типы датчиков производят преобразование поступающей информации о состоянии или изменении входного (измеряемого) параметра в выходную величину, т. е. выходной сигнал. Как уже отмечалось, наиболее часто используются датчики, генерирующие электрические сигналы. И тогда измерение неэлектрических величин осуществляется электрическими методами, т. е. по

электрическому сигналу (электрической величине) судят о состоянии входного неэлектрического параметра.

Итак, любой датчик на основании поступающей или собираемой информации о состоянии входного (измеряемого) параметра выдает выходной сигнал, отображающий состояние входного параметра. Однако, это преобразование осуществляется не в чистом виде, а происходит поступление и преобразование дополнительной информации, не нужной для данного измерения. Кроме того, при измерении и преобразовании входной информации возникают помехи, называемые иногда “шумами”.

Например, при работе фотоэлектрического датчика на выходной сигнал влияет не только изменение измеряемого светового потока, но и температура преобразователя, зависящая от температуры окружающей среды, спектра светового потока, изменяющихся свойств самого преобразователя, называемых усталостью и т. п. При измерении температуры человеческого тела нас интересует лишь узкий температурный диапазон, в связи с чем применяются специальные градусники, а не те, которыми измеряется температура воды в ванной или температура печи.

Таким образом, задача измерительной схемы, являющейся одним из основных элементов для преобразования информации датчиков, – выделение полезного сигнала, т. е. отделение его от помехи и ненужной информации.

Схемы измерения можно разделить прежде всего на две большие группы:

- 1) непосредственного измерения;
- 2) сравнения.

Первые производят непосредственное измерение выходного сигнала датчика. Блок-схема измерительной системы с такой схемой измерения приведена на рис. 3.12, *а*. Здесь сигнал от датчика полностью, после формирования, необходимого преобразования и усиления для работы последующих элементов формирующим устройством *ФУ*, подается на исполнительное устройство *ИУ*.

Такие системы обычно имеют дело с довольно широким диапазоном изменения входного (измеряемого) параметра, когда точность измерения не очень высока, а соотношение “сигнал/шум” достаточно велико.

Более высокую точность работы можно достичь используя схемы сравнения. Блок-схема такой системы представлена на рис. 3.12, *б*. Здесь сигнал от датчика *Д* поступает на схему сравнения *С.Ср*, которая производит сравнение поступившего сигнала с эталонным, форми-

руемым калибровочным блоком *БК*. Теперь разностный сигнал подается на формирующее устройство *ФУ* и затем на исполнительное устройство.

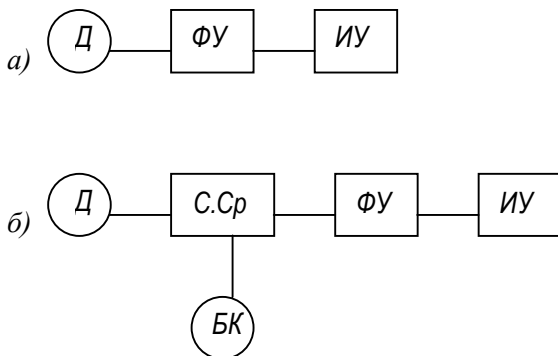


Рис. 3.12 – Измерительные системы

Для получения более высокой чувствительности в узком диапазоне измеряемого параметра и снижения влияния помех и используются схемы сравнения, основными из которых являются:

- мостовые схемы;
- дифференциальные схемы;
- компенсационные схемы.

3.4.1. Мостовые схемы

Эти схемы представляют собой схему, в одно из плеч которой включается выходной преобразователь датчика. Они применимы, когда выходной преобразователь датчика представляет собой сопротивление

постоянному или переменному току, т.е. датчики сопротивления (например тензорезистор или фотосопротивление), емкостные или индуктивные.

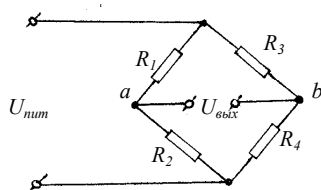


Рис. 3.13 – Мостовая схема

Принципиальная схема в этом случае представляется рис. 3.13. Здесь используются два делителя напряжения: R_1/R_2 и R_3/R_4 . В качестве сопротивления R_4 включается выходное сопротивление дат-

чика. Остальные сопротивления позволяют скомпенсировать напряжения делителей таким образом, что разность потенциалов в точках a и b в начальном положении равна нулю. При изменении входного параметра сопротивление R_4 изменяется, что приводит к разбалансу моста и появлению выходного напряжения $U_{\text{вых}}$. Эти схемы могут работать на постоянном или переменном токе. Мостовые схемы позволяют компенсировать начальный (исходный) ток и производить как бы смещение начала координат отсчета выходного напряжения.

Вместе с тем, во второе плечо может быть включен “застопоренный” преобразователь, аналогичный преобразователю датчика, чем до некоторой степени может быть компенсировано влияние внешней помехи.

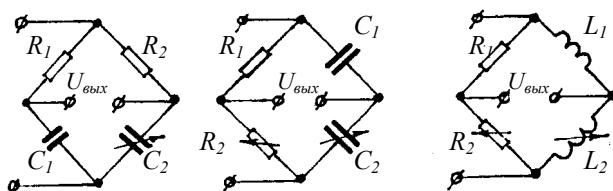


Рис. 3.14 – Варианты мостовых схем

При использовании емкостных или индуктивных датчиков мостовые схемы должны питаться только переменным током, а для выравнивания комплексных сопротивлений, т. е. для возможности балансировки моста второе плечо ветви моста должно иметь такое же комплексное сопротивление. Варианты мостовых схем в этом случае представляются рис. 3.14.

3.4.2. Дифференциальные схемы

Дифференциальные схемы представляют собой электрическую цепь, состоящую из двух смежных контуров, в каждом из которых действует отдельная электродвижущая сила, а выходной сигнал снимается с общей для обоих контуров ветви как разность контурных токов или напряжений. Такие схемы могут использоваться для любых типов датчиков, но должны содержать пару сопряженных выходных преобразователей. Обычно чувствительность и помехоустойчивость таких схем выше, чем мостовых. Принципиальные электрические схемы в этом случае имеют вид, представленный на рис. 3.15.

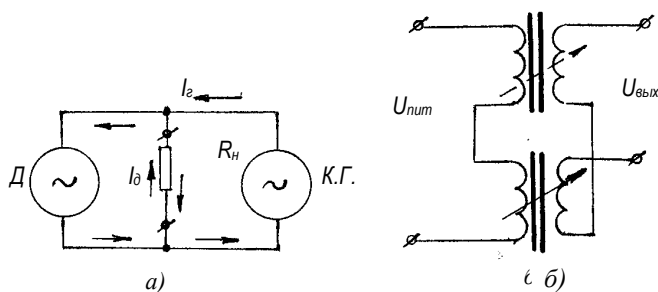


Рис. 3.15 – Дифференциальные схемы

На схеме (рис. 3.15, а) оба контура объединены гальванической связью. Сигнал от датчика D подается на сопротивление нагрузки R_n . Сигнал от калибровочного генератора $K.Г.$ тоже подается на нагрузочное сопротивление в противофазе. В начальном положении устанавливаются токи $I_0 = I_2$, тогда падение напряжения на R_n и суммарный ток через него равны нулю. Теперь при изменении входного параметра будет изменяться сигнал датчика, что приведет к возникновению сигнала на нагрузочном сопротивлении R_n .

На рис. 3.15, б приведена трансформаторная дифференциальная схема. Она состоит из двух трансформаторов с переменным коэффициентом трансформации. Входные обмотки трансформаторов соединены последовательно, а выходные – встречно-параллельно. Под действием входного параметра изменяется коэффициент трансформации одного или обоих трансформаторов. В начальном положении схема балансируется, т. е. выходные напряжения обоих трансформаторов равны и противофазны. При изменении входного параметра происходит разбалансирование схемы и на выходе формируется выходной сигнал.

Для дифференциальных схем, как и в предыдущем случае, полезно в качестве балансирующего элемента (калибровочного генератора или балансного трансформатора) применять застопоренные датчики, т. е. конструктивно повторять датчики, регулируемые только в процессе балансировки. Это значительно снижает влияние внешних помех.

3.4.3. Компенсационные схемы

Принцип компенсации заключается в том, что измеряемую электродвижущую силу (или другой выходной сигнал датчика) уравнивают равным и противоположным по знаку падением напряжения (или соответствующего параметра), величина которого может быть установлена с высокой степенью точности.

Рис. 3.16, а представляет компенсационную схему с датчиком компенсации Д.К., который формирует сигнал, уравнивающий сигнал датчика, т. е. он формирует сигнал от ступенчато или плавно изменяемого входного параметра, величина которого в каждый момент точно известна. Сигналы от рабочего датчика Д и датчика компенсации Д.К. подаются на схему сравнения и сформированный разностный сигнал $\Delta x(t)$ снимается с выхода схемы сравнения. В момент равенства сигналов $\Delta x(t) = 0$ и считывается значение калиброванного параметра компенсации, подаваемого на датчик Д.К.

Вместо изменения компенсирующего параметра может сразу формироваться компенсирующий сигнал, как показано на схеме рис. 3.16, б.

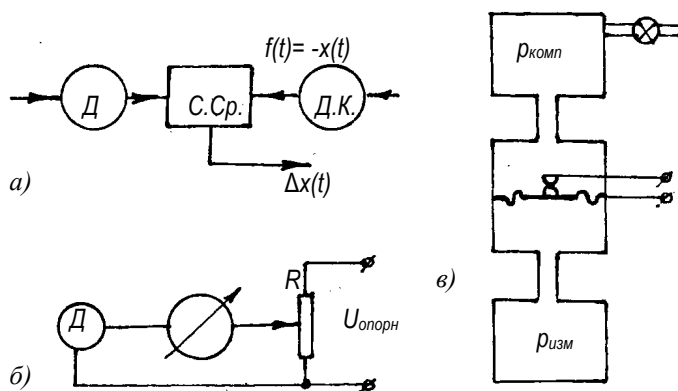


Рис. 3.16 – Компенсационные схемы

Компенсационная схема может применяться не только для электрических цепей, но и для пневматических, гидравлических, механических. На рис. 3.16, в приведена компенсационная схема для пневматической цепи. В рабочей камере изменяется измеряемое давление $p_{\text{изм}}$. В верхнюю камеру подается строго определенное давление (по-

стоянное или переменное) и в момент равенства давлений в верхней и измерительной камере контакты размыкаются и фиксируется давление $P_{\text{ком}}$.

Предыдущие измерительные схемы сравнения для выполнения самого процесса измерения требуют применения датчиков пропорционального типа, тогда как компенсационные схемы позволяют использовать предельные датчики, являющиеся более простыми, надежными и позволяющими реализовать высокую чувствительность, что значительно повышает точность измерения.

Как отмечалось выше, информация о входном параметре после преобразования подается на исполнительное устройство (рис. 3.12), которое показывает значение входного параметра и может выдавать рекомендации по дальнейшему ведению технологического процесса. Однако автоматизация предполагает исключить участие человека в корректировке процесса, т. е. предполагается автоматическая проверка получаемых результатов и, при необходимости, изменение факторов самого процесса для автоматического получения высококачественной продукции.

3.5. Автоматизация контрольных операций

В процессе общей автоматизации контроля автоматическое контрольное устройство должно не только произвести измерение контролируемого параметра, но сравнить его с заданным, принять определенное решение и выполнить его. Принципиальная блок-схема автоматического контрольного устройства представлена на рис. 3.17.

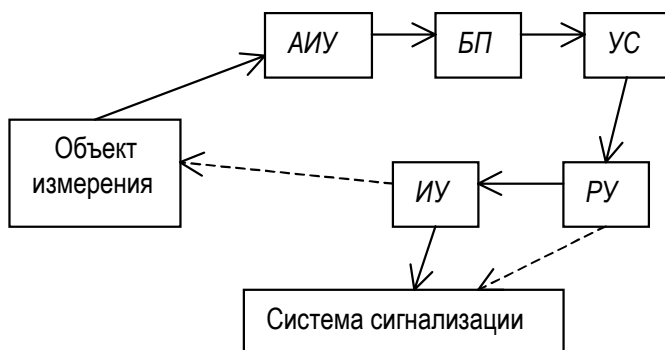


Рис. 3.17 – Автоматическое контрольное устройство

Устройство состоит из следующих узлов. Автоматическое измерительное устройство *АИУ*, производящее измерение контролируемого параметра и преобразование его в электрический сигнал. Блок преобразования *БП*, получающий сигнал от датчика, преобразующий его в информацию, удобную для всей автоматической системы контроля и передающего этот сигнал устройству сравнения *УС*. Устройство сравнения сопоставляет полученную от *БП* информацию с заданным значением и результаты сравнения передает решающему устройству *РУ*. Решающее устройство на основе полученной информации о возникшем рассогласовании принимает решение и формирует соответствующую команду для исполнительного устройства *ИУ*. Исполнительное устройство реализует команду, выполняя соответствующие действия по устранению или предотвращению брака, т. е. достижению заданных условий выполнения технологического процесса. Штриховыми линиями показаны возможные (альтернативные) воздействия.

Для сокращения времени контроля и таким образом повышения производительности контрольных операций автоматическое измерение контролируемого параметра может осуществляться в процессе обработки, во время транспортирования объекта измерения, или на специальной измерительной позиции. Первые два случая позволяют совместить время на измерение с технологическим процессом, но условия измерения здесь менее благоприятны. В последнем случае можно значительно улучшить условия измерения, чем повысится точность, но из-за затрат дополнительного времени получается проигрыш в производительности и в быстродействии управления.

Так как управление (контроль) осуществляется на основании измерения контролируемого параметра, то ошибки в измерении будут приводить к ошибкам в управлении. Поскольку контролируемый параметр не является изолированным, то на него действует целый ряд побочных факторов. Так при точении, диаметр обрабатываемого валика зависит не только от начального положения инструмента, но и от силовых и тепловых деформаций изделия, станка, инструмента, которые в свою очередь зависят от материалов, припуска, состояния режущей кромки инструмента и т. п.

В связи с этим, в зависимости от реакции автоматической системы контроля различают два способа контроля: ***дифференцированный*** и ***интегральный***.

При дифференцированном способе автоматическая система контроля принимает решения и реализует их на основании каждого измерения.

При интегральном способе автоматическая система контроля принимает и реализует решения на основе нескольких измерений (либо несколько измерений одного параметра для одного объекта, либо измерения разных параметров одного объекта, либо измерения одного параметра у нескольких объектов).

Дифференцированный способ позволяет быстрее реагировать на возникающие отклонения в технологическом процессе, но возможна преждевременная реакция и неоправданные действия. Интегральный способ более инерционный и реакция на отклонения происходит медленнее, однако, он более защищен от случайных погрешностей.

По воздействию на технологический процесс автоматические методы контроля могут быть разделены на *пассивные* и *активные*.

При пассивных методах автоматическая система контроля не изменяет технологический процесс, а лишь приспособливает контролируемые изделия к принятому технологическому процессу. В этом случае она либо разрешает дальнейшую обработку, разбивая изделия на годные и брак (брак исправимый отправляется на переделку, а неисправимый – в отходы), либо обеспечивает дальнейший технологический процесс, разделив все изделия на различные группы (осуществляется селективная сборка или производится корректировка в дальнейшей групповой обработке). При пассивных методах контроля результаты контроля учитываются для последующей обработки, но непосредственного автоматического влияния на текущий процесс не происходит. Для пассивных методов контроля отсутствует временная связь, т. е. технологический процесс и измерение не связаны жестко во времени и могут существовать независимо (разумеется, сначала нужно получить результаты измерения). Пассивные методы автоматического контроля могут посылать свое управляющее воздействие лишь вперед по ходу технологического процесса. Для таких систем чаще применяется дифференцированный способ контроля.

Автоматические устройства для контроля и сортировки изделий очень разнообразны. Однако все они полностью или частично включают следующие (главные) устройства: загрузочное, транспортирующее, измерительное, сортировочное и фиксирующее.

К числу устройств, являющихся характерными для контрольных автоматов, относятся измерительные устройства, рассмотренные нами раньше, и сортировочные механизмы.

Сортировочные механизмы контрольных автоматов приводятся в движение чаще всего электромагнитами или соленоидами, которые поворачивают на надлежащий угол механические элементы – заслонки – с целью принудительной рассортировки контролируемых деталей по соответствующим приемникам.

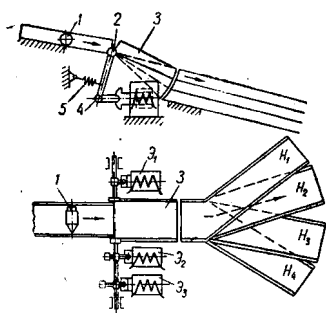


Рис. 3.18 – Механизм сортировки

В качестве примера на рис. 3.18 дана веерообразная схема с сортирующим желобом 3, поворачивающимся вокруг горизонтальной оси 2. Поворот желоба 3 осуществляется с помощью серии электромагнитов (\mathcal{E}_1 , \mathcal{E}_2 , \mathcal{E}_3). Каждый электромагнит, срабатывая, поворачивает желоб на определенный угол и устанавливает его против одного из направляющих желобов H_1 , H_2 , H_3 или H_4 , ведущих к приемникам. Таким образом, деталь 1, выпадающая из измерительного устройства, попадает в определенный направляющий желоб. Якорь каждого

электромагнита связан с валиком сортирующего желоба 3 посредством соответственной кривошипной тяги 4, кривошипы оттягиваются в исходное положение пружинами 5. Необходимый угол поворота желоба 3 достигается установкой надлежащего начального зазора между якорем и сердечником каждого электромагнита.

Включение того или иного электромагнита осуществляет промежуточный преобразователь импульсов.

Автоматические контрольные устройства и автоматы, управляющие режимом работы основного технологического оборудования на основе измерения изделий, относятся к средствам активного контроля. Измерение при этом может осуществляться в процессе обработки, до обработки и после нее.

Главным преимуществом средств активного контроля является оперативность управления, немедленное вмешательство в ход технологического процесса при его отклонении от заданных параметров с целью восстановления нормального хода технологического процесса.

Контроль при помощи активных средств является наиболее прогрессивным. Его особенно целесообразно применять на окончательных операциях, где требуется высокая точность, так как дальнейшей обработке деталь не подвергается. Поэтому определенный интерес представляют контрольные автоматы, используемые при выполнении шлифовальных работ.

При активных методах автоматическая система контроля через исполнительное устройство производит корректировку текущего технологического процесса с целью осуществления оптимальных условий обработки и получения заданных результатов. Активные методы являются высшей формой автоматического контроля, поскольку позво-

ляют воздействовать на ход технологического процесса с целью получения высокого качества и высокой производительности. Для активного метода характерна взаимосвязь времени технологического процесса и процесса измерения. При активных методах управление технологическим процессом может идти вперед, на себя и назад. Для них может применяться как дифференцированный, так и интегральный способы контроля.

В качестве примера использования активного метода контроля может служить устройство для спаренного шлифования. В ряде отраслей точного машиностроения предъявляются высокие требования к колебаниям зазоров или натягов в сопряжениях. Они в ряде случаев не должны превышать 1–2 мкм. Такие колебания зазоров не могут быть достигнуты при применении методов полной взаимозаменяемости. В последние годы разработаны круглошлифовальные станки, в которых шлифование вала производится автоматически, до получения заданного зазора (натяга) в сопряжении с ранее изготовленным отверстием (втулкой). Этот метод “спаренного шлифования” заменяет методы пригонки и подбора сопрягаемых пар.

Схема устройства БВ-4009К изображена на рис. 3.19. Пневматическая измерительная пробка 12 монтируется вблизи круглошлифовального станка и с ее помощью производится измерение втулки 11 по ранее обработанному диаметру D .

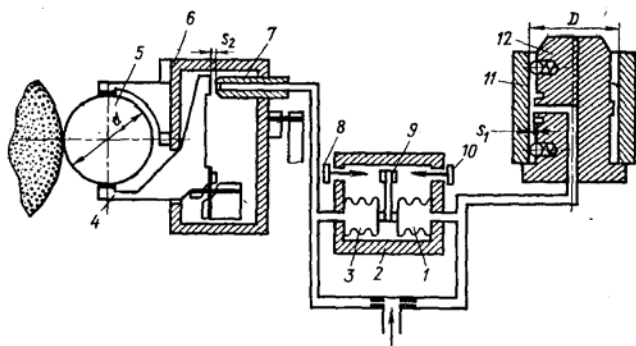


Рис. 3.19 – Схема активного контроля для сопряженного шлифования

Устройство 6 устанавливается на круглошлифовальном станке и с помощью двухконтактной пневматической скобы контролируется размер d вала 5 в процессе шлифования. Оба измерительных устройства (12 и 6) подключены по дифференциальной схеме к сильфонному

датчику 2, причем пневматическая пробка подключена к сиффону 1, а пневматическая скоба – к сиффону 3. Измерительное давление в сиффоне 1 будет зависеть от размера D втулки, т. е. от зазора s_1 между соплом пробки и стенкой отверстия. Давление в сиффоне 3 датчика зависит от зазора s_2 между пяткой измерительного рычага – губки 4 скобы 6 и измерительным соплом 7. Зазор s_2 уменьшается по мере шлифования вала и уменьшения диаметра d , а давление в сиффоне 3 растет. В начале шлифования подвижный 9 и неподвижный левый 8 контакты датчика замкнуты – идет черновое шлифование. После съема чернового припуска контакты 8 и 9 размыкаются и станок переключается на чистовое шлифование, которое продолжается до замыкания контактов 9 и 10 датчика. Дается команда на прекращение шлифования и отвод круга. Момент замыкания контакта 10 зависит от давления в сиффоне 1, т. е. размера D втулки.

Активные автоматические системы контроля с подачей управляющего воздействия назад получили название *автоподладчиков*. Такие системы обычно используют интегральный способ контроля и применяются в тех случаях, когда идет однотипная обработка с медленным отклонением из-за износа инструмента.

В общем случае суммарное рассеивание размеров при обработке партии деталей складывается из мгновенного рассеивания и поля систематически закономерно изменяющейся погрешности.

На рис. 3.20 представлено несколько положений мгновенных рассеиваний по полю допуска δ , взятых через определенные отрезки времени (например, через один час) t_i, t_{i+1}, t_{i+2} и т. д.

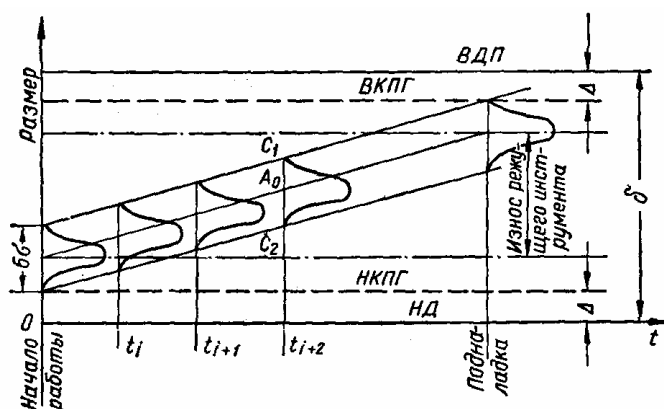


Рис. 3.20 – Диаграмма точности процесса обработки

Из схемы видно, что вначале процесс идет без брака и в то же время мгновенное рассеивание смещается по полю допуска, каждое последующее все более приближается к верхнему допустимому пределу (*ВДП*), удаляясь от нижнего допустимого предела (*НД*). Поле мгновенного рассеивания при построении диаграммы точности определяется из условия, что на узком участке процесса значение систематически изменяющихся погрешностей для некоторой совокупности размеров одно и то же или разница в их значениях настолько мала, что не оказывает влияния на характер распределения. В таких случаях мгновенное распределение, не искаженное ошибками износа режущего инструмента, подчиняется нормальному закону и имеет диапазон изменения размеров, равный 6σ .

Таким образом, линии C_1 и C_2 , ограничивающие поле мгновенного рассеивания на диаграмме точности, будут параллельны линии A_0 , определяющей систематическую погрешность – износ режущего инструмента.

Однако для полной гарантии отсутствия брака необходимо, чтобы размеры изделий при обработке партии укладывались не между верхним и нижним пределами технического допуска, а в более узких границах, называемых контрольно-предупредительными границами (*КПГ*), отличающихся на величину Δ от пределов допуска.

При монотонном изменении функции суммарной погрешности, характеризуемой мгновенным рассеиванием, можно ожидать, что последующие мгновенные рассеивания в моменты времени t_{i+3} , t_{i+4} и т. д. разместятся относительно поля допуска таким образом, что возникнет брак.

Чтобы этого не случилось, необходимо подкорректировать выполнение технологического процесса подналадкой станка, которая может осуществляться вручную или автоматически с помощью устройств, называемых автоподналадчиками.

Принципиальная схема бесцентрово-шлифовального автомата, оснащенного системой автоматической подналадки, представлена на рис. 3.21.

Детали типа шрифтов засыпаются в бункерное загрузочное устройство 1, по спиральному лотку которого они автоматически поднимаются вверх, а затем, двигаясь по прямолинейному вибрационному лотку 2, поступают на опорный нож 3, установленный между шлифовальным кругом 4 и ведущим кругом 5 бесцентрово-шлифовального станка 9.

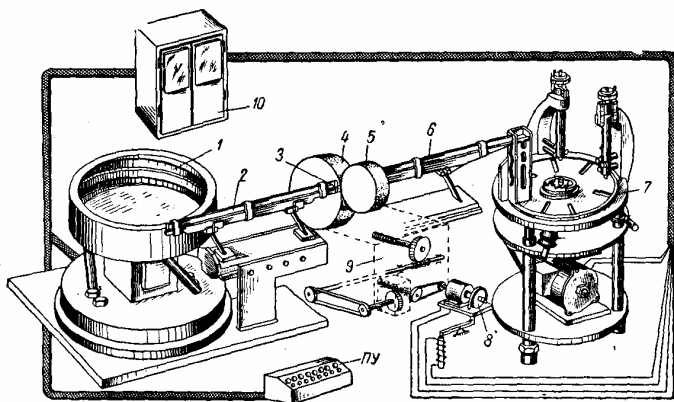


Рис. 3.21 – Схема работы автоподналадчика бесцентрово-шлифовального станка

Детали, попавшие на опорный нож, захватываются ведущим кругом и увлекаются в рабочую зону станка. По окончании обработки деталь с опорного ножа поступает на вибрационный лоток 6 и быстро движется в направлении контрольного автомата 7. При движении по вибрационному лотку 6 детали, совершая колебательные движения и соударяясь, очищаются от эмульсии и продуктов шлифования – стружки и абразива.

Для воздействия на механизм размерной подачи станка по команде от контрольного автомата в системе предусмотрен исполнительный механизм 8, состоящий из нормально заторможенного двигателя, управляемого реле времени. Электрическая часть подналадчика сосредоточена в электронном блоке 10. Станок и все автоматизирующие устройства управляются с общего пульта управления ПУ.

Подналадчик по результатам измерения автоматически отбрасываемых из потока деталей дает командный импульс на подналадку шлифовального круга при приближении размера деталей к верхней границе поля допуска и на прекращение обработки при выходе размеров за границы операционного допуска. Кроме того, подналадчик вводит бесцентрово-шлифовальный автомат “в размер” после правки шлифовальных кругов, отводит из потока забракованные детали и подает соответствующие сигналы.

Автоподналадчики проще по своей конструкции, а главное, вынос измерительной позиции из рабочей зоны значительно облегчает работу измерительной системы. Известны автоподналадчики для бес-

центрово-шлифовальных, круглошлифовальных, плоскошлифовальных, токарных, расточных станков. Возможно применение автоподналадчиков для химических процессов, когда истощение обрабатываемой среды будет требовать постепенного увеличения выдержки.

Выбор метода и способа контроля зависят от технологического процесса, степени автоматизации производства, требуемого качества изготавливаемых изделий, возможностей осуществления самого автоматического контроля, требуемой производительности. Очевидно, что активный автоматический контроль является более прогрессивным, но мы не всегда можем его осуществить.

3.6. Разновидности автоматического контроля точности деталей

Выросшие относительные затраты времени на операции контроля из-за сокращения трудозатрат на собственно производственный процесс, т. е. на обработку, а также возросшие требования к качеству производимой продукции, требующих в свою очередь увеличения охвата контрольными операциями, делают автоматизацию контроля необходимой.

Все виды контроля можно представить схемой рис. 3.22.

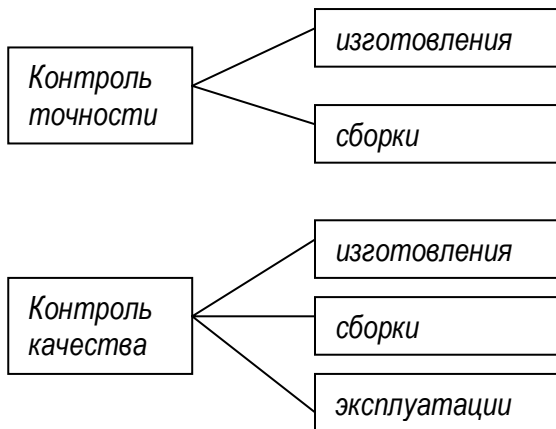


Рис. 3.22 – Виды автоматического контроля

Точность изготовления обусловлена условиями эксплуатации и сборки. Она может быть достигнута:

- сопряженным изготовлением;
- установлением границ допусков на сборку (отсюда получают допуски на изготовление;
- условиями взаимозаменяемости;
- контролем при сборке и индивидуальной пригонке.

Контроль качества, достигаемого при изготовлении, предусматривает достижение заданных характеристик качества обработки поверхностей, механических свойств (твердость, упругость, вязкость, износостойкость), магнитных свойств (магнитная упругость, магнитные потери, коэрцитивная сила), электрических свойств (электропроводность, контактное сопротивление) и т. д.

Контроль качества сборки предусматривает правильность установки, сопряжения, закрепления. Введение здесь автоматизации процесса позволяет повысить производительность и качество выпускаемой продукции.

Как и все автоматические системы, автоматические системы контроля можно разделить на *локальные* и *общие*.

Локальные системы контроля позволяют осуществлять контроль:

- качества изготовления и сборки;
- работоспособности оборудования;
- оптимальности режимов работы;
- загрузки оборудования.

Общие системы контроля могут выполняться в виде:

- информационных систем обеспечения работоспособности оборудования;
- оперативных систем управления и диспетчеризации в условиях безлюдных производственных процессов.

4. АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРКИ

Сборка – это заключительный и определяющий этап производственного процесса. От нее зависит качество изделий и их выпуск в заданные плановые сроки. В настоящее время трудоемкость сборочных работ в машиностроении составляет 25...30 % от общей трудоемкости изготовления изделий. Сборочные работы по трудоемкости занимают второе место после механической обработки. В индивидуальном и мелкосерийном производстве трудоемкость сборки нередко возрастает до 40 % из-за большого объема пригоночных работ. В приборостроении, электро- и радиотехнической промышленности трудоемкость сборки составляет 40...50 %. Относительная трудоемкость сборочных работ за последнее время непрерывно возрастает, а численность рабочих в сборочных цехах растет быстрее, чем в обрабатывающих. Это обусловлено с одной стороны ростом возможностей обрабатывающего оборудования (производительности и сложности), а с другой тем, что механизация и автоматизация сборочного производства осуществляется недостаточно полно и эффективно.

В сборочных цехах преобладает ручной труд. На сегодня механизировано в среднем около 25 % и автоматизировано около 5 % сборочных работ. Уровень автоматизации в сборочных цехах ниже уровня автоматизации в заготовительных и обрабатывающих. На сборке тяжелых объектов велика текучесть рабочей силы. На сборке сложных изделий – много квалифицированных высокооплачиваемых рабочих. Это приводит к тому, что себестоимость выполнения сборки нередко достигает себестоимости механической обработки деталей изделия.

Под технологическим процессом автоматической сборки изделия или сборочных единиц понимают часть производственного процесса, выполняемого в автоматическом режиме на отдельной машине или линии. В состав автоматической сборки могут входить различные по характеру технологические операции и приемы, выполняемые в определенной последовательности и связанные единством поставленной задачи и единством организации производства.

Таким образом, автоматическая сборка представляет собой технологический процесс, в котором все основные и вспомогательные работы по сборке изделия, а также транспортировка собираемого изделия и входящих в его состав деталей в процессе сборки выполняются без непосредственного участия рабочего. Признаком, определяющим автоматическую сборку, является отсутствие рабочего, непрерывно

связанного со сборкой изделия. Существуют четыре ступени механизации и автоматизации сборки изделий.

1. Частичная механизация, при которой механизированные средства применяются на отдельных сборочных операциях, а основная доля работы производится вручную простейшим немеханизированным инструментом.

2. Комплексная или всесторонняя механизация, при которой все основные рабочие операции выполняются механизированными инструментами и приспособлениями.

3. Частичная автоматизация, при которой часть процессов сборки осуществляется с применением автоматизированных технических средств, а остальные работы выполняются операторами-сборщиками с использованием механизированных инструментов и приспособлений.

4. Комплексная автоматизация, представляющая собой высшую форму механизации сборки; на этой ступени все рабочие операции, а также операции регулирования сопряжений и контроля собранных узлов и изделий выполняются машинами-автоматами под наблюдением небольшого количества операторов.

Автоматизация сборки обеспечивает повышение качества изделий, так как влияние субъективного фактора частично или полностью устраняется, увеличение производительности труда (иногда в десятки раз), уменьшение себестоимости сборочных работ, высвобождение рабочих (обычно в несколько раз), облегчение и оздоровление условий труда, уменьшение производственных площадей (особенно при сборке малогабаритных изделий).

Автоматизация расширяет технологические возможности сборки. На автоматах можно собирать такие изделия, сборка которых вручную невозможна (например, в вакууме, в условиях токсичной, взрывоопасной среды или высокой температуры, миниатюрных изделий, в очень быстром темпе).

4.1. Элементы процесса автоматической сборки

Технологический процесс автоматической сборки может быть дифференцирован на ряд взаимосвязанных технологических элементов, которые должны выполняться в строгой последовательности. К таким элементам относятся:

- 1) подача деталей на рабочую позицию;
- 2) установка и базирование собираемых деталей и узлов в сборочных головках, блоках и позициях;

- 3) взаимная ориентация сопрягаемых поверхностей собираемых деталей и узлов;
- 4) сопряжение собираемых деталей;
- 5) закрепление собранных деталей;
- 6) контроль комплектности и качества собранного изделия;
- 7) сьем собранного изделия и транспортирование его на следующую сборочную позицию.

Наибольшую трудность при автоматизации сборки представляют первые три элемента процесса вследствие большого разнообразия собираемых деталей. Каждому элементу операции сборочного процесса соответствует особый механизм, который осуществляет эту операцию.

Подача деталей на рабочую позицию может распадаться на два подэтапа: подача деталей к месту сборки и подача деталей в зону станка.

Подача деталей к месту сборки в зависимости от степени автоматизации процесса сборки осуществляется в строго определенном положении из бункерных или магазинных загрузочных устройств, специальными механизмами или вручную. Разновидности способов подачи деталей к месту сборки представлены на рис. 4.1.

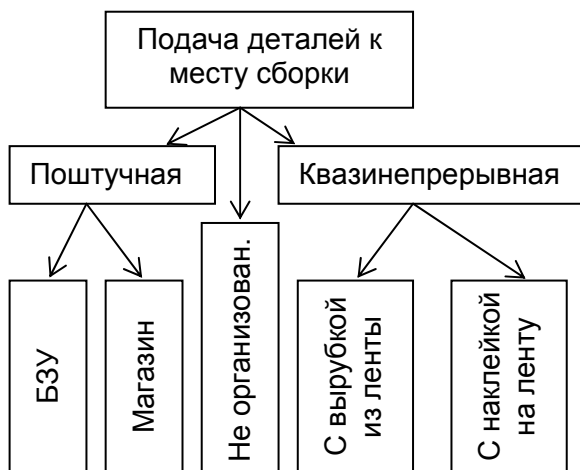


Рис. 4.1 – Способы подачи деталей

Подача деталей с помощью БЗУ или магазинов рассмотрена ранее. Для собираемых деталей, исключающих возможность использования бункерных загрузочных устройств или магазинов, иногда применяют квазинепрерывные способы подачи, где собираемые детали вырубаются из листа или ленты или наклеиваются на них и подаются к месту сборки вместе с несущей лентой.

Затем собираемую деталь необходимо подать в зону сборки на сборочную позицию. Это движение может быть осуществлено с помощью специального механизма, с помощью промышленного робота или вручную.

На сборочной позиции в сборочной головке или блоке производятся установка и базирование собираемых деталей или сборочных компонентов – узлов.

Перед сопряжением детали, находящиеся на сборочной позиции, должны быть зафиксированы, т. е. должны занять вполне определенное устойчивое положение. Базирование деталей на сборочных позициях так же, как и в приспособлениях для механической обработки, производится по правилу шести точек, но при этом возникает дополнительное требование наибольшей стабильности положения сопрягаемых поверхностей при колебании размеров детали в пределах допуска. В зависимости от вида сопряжения схемы базирования деталей могут быть различными. В некоторых случаях в сборочных автоматах деталь в приспособлении не закрепляется, а устанавливается свободно.

Базирующие устройства должны точно сориентировать деталь относительно базовых поверхностей и зафиксировать ее в заданном положении. Особенностью базирования деталей на сборочных автоматах является жесткое фиксирование одной детали, вторая же деталь (подвижная) должна иметь одну или две степени свободы.

Для осуществления сборки детали на сборочной позиции ориентируются относительно друг друга так, чтобы их можно было последующим движением беспрепятственно собрать. Пространственная относительная ориентация деталей перед сборкой представляет собой сложную задачу, которая решается на базе теории размерных цепей и цепей относительных поворотов системы “собираемые детали – сборочное устройство”.

При базировании деталей, участвующих в сборке, необходимо контактирование их поверхностей с соответствующими поверхностями приспособлений. Поверхности базирования, принадлежащие приспособлению, должны обладать строго определенной формой и размерами, в противном случае базировка не даст необходимой ориентации собираемой детали (базовой или комплектующей).

Форма поверхностей базирования может быть плоской, цилиндрической, призматической, конической, резьбовой, керновой, сферической и полукруглой, типа ласточкина хвоста и комбинированной. Базирование может осуществляться по наружной или внутренней поверхности собираемой детали. Тип выбирается в каждом конкретном случае. Наибольшее применение для базирования, как показывает опыт, имеют цилиндрические, призматические и комбинированные поверхности. Помимо формы поверхности при выборе способа базирования необходимо учитывать шероховатость поверхности и твердость собираемых деталей. Основная осторожность должна быть проявлена при базировании деталей с шероховатостью от 6 до 14-го класса чистоты, с керамическими и стеклянными деталями.

Все сказанное относилось к ориентации собираемых деталей независимо друг от друга. Весьма важным является решение задачи ориентации собираемых деталей относительно друг друга, что необходимо для их беспрепятственного сопряжения. При автоматической сборке часто встречаются случаи, когда оборудование не может обеспечить точность взаимного расположения деталей, гарантирующую их беспрепятственное соединение. Для этого одну из собираемых деталей во время соединения превращают в подвижный компенсатор, а базирование комплектуемой детали ведется по сопрягаемым поверхностям другой (самоцентрирование). Это позволяет значительно расширить допуски.

Взаимная ориентация (относительное ориентирование) сопрягаемых поверхностей собираемых деталей обеспечивается конструктивными элементами базирующих устройств или специальными механизмами. Точность взаимного ориентирования зависит от конструктивных параметров сборочного оборудования и размерных параметров собираемых деталей. В общем случае взаимная ориентация выражает нахождение такого относительного расположения сопрягаемых поверхностей деталей, которое при любых отклонениях размеров этих поверхностей, находящихся в поле допусков, обеспечит их беспрепятственное сопряжение.

Сопряжение собираемых деталей производится при их относительном движении. Такое движение обычно называют движением сборки. В зависимости от рода (вида) соединений это движение может быть поступательным, вращательным или комбинированным (сложным).

Для большинства изделий машиностроения и приборостроения, а также изделий электронной техники после сопряжения деталей их надо закрепить, т. е. жестко зафиксировать их относительное расположение. Основные виды закрепления, характерные для процесса автоматической сборки, приведены в таблице 4.1. Закрепление сопря-

женных деталей может производиться как в процессе соединения тем же устройством (запрессовка), так и специальными механизмами и устройствами, включаемыми в состав сборочного оборудования. Механизмы закрепления иногда могут быть представлены сложными самостоятельными агрегатами или блоками в сборочном оборудовании. Часто требования, предъявляемые к элементу закрепления деталей, определяют технологическую и конструктивную сущность сборочного автоматического оборудования.

Таблица 4.1

Характер закрепления	Вид закрепления	Физическая сущность
Закрепление разъемных соединений	1. Завинчивание 2. Шплинтовка 3. Соединение с помощью трения (клиновое) 4. Шпоночное соединение	—
Продольно-прессовое соединение	1. Штифтовка 2. Механич. прессование 3. Соединение с нагревом охватываемой детали 4. Соединение с охлаждением охватываемой детали	Удержание деталей силами трения, возникающими за счет упругих деформаций в соединении
Закрепление деталей способом пластической деформации	1. Вальцевание радиальное 2. Вальцевание осевое (осадка) 3. Отбортовка и фланжировка 4. Закатка 5. Загибка 6. Зачеканка 7. Клепка	Геометрическое замыкание за счет пластического деформирования одной или нескольких деталей. Кроме того, во многих случаях имеет место закрепление за счет сил трения
Закрепление специального назначения	1. Армирование 2. Опрессовка 3. Склеивание, наклеивание 4. Заливка различными компаундами 5. Покрытие специальными смолами	Геометрическое замыкание за счет механического сцепления — адгезии
Закрепление способом теплового воздействия	1. Пайка 2. Сварка 3. Термокомпрессия	Действие межатомных сил

По окончании сборки изделия или в процессе выполнения отдельных действий или работ на автоматическом сборочном оборудовании производится контроль комплектности собранного изделия или точности и качества выполнения сборки. Контроль в процессе сборки прежде всего необходим для предотвращения поломок устройств и механизмов сборочного оборудования, порчи и образования брака изделия. При контроле исключаются из общего потока изделия, не удовлетворяющие техническим требованиям на сборку. От рационального решения системы контроля во многом зависят работоспособность, надежность и рентабельность автоматического сборочного оборудования.

Съем сборочного изделия является завершающим элементом процесса автоматической сборки. Он характеризуется сравнительно сложными действиями (движениями) исполнительных органов: извлечение собранного изделия из рабочих органов автомата, транспортирование и складирование изделий, причем на устройства съема обычно возлагаются функции рассортировки собранных изделий по качеству сборки. Несмотря на кажущуюся сложность задач, решаемых устройствами съема, конструктивное решение их преимущественно несложно.

Основными факторами, определяющими конструктивное решение автоматического оборудования, являются конструкция изделия и технологический процесс его сборки.

4.2. Технологический процесс автоматической сборки

Практика автоматизации сборочных работ на различных отечественных предприятиях и за рубежом показывает, что для выполнения автоматических сборочных процессов необходимо предъявить целый ряд дополнительных требований к конструкции изделий и их деталей и определить последовательность выполнения отдельных операций и приемов. При разработке сборочного автоматического оборудования в большинстве случаев приходится отказываться от привычных приемов и последовательности сборки, присущих ручному производству; иногда возникает необходимость перестраивать весь технологический процесс изготовления изделия и даже его конструкцию. Это объясняется тем, что на большинстве предприятий степень автоматизации сборочных работ низка, не выработаны еще основные положения и требования автоматической сборки, разработка изделий ведется в отрыве от технологов-сборщиков; в конструкторских бюро и научно-исследовательских институтах, где разрабатываются изделия, опытных технологов-сборщиков явно недостаточно. Поэтому, приступая к работам по автоматизации сборки, следует критически подойти как непосредственно к конструкции изделия, так и к технологическим принципам его изготовления.

При построении технологического процесса автоматической сборки и при проектировании сборочного автоматического оборудования необходимо отвлекаться от особенностей ручной сборки изделий. Действительно, приемы, трудно выполнимые вручную, подчас легко могут быть выполнены на автоматическом оборудовании. В то же время простые приемы ручной сборки вызывают большие затруднения при автоматизации. Например, ручная сборка плунжерных пар топливного насоса требует весьма точной раздельной обработки гильзы и плунжера с последующим селективным подбором деталей.

Качество сборки и даже качество работы изделия во многом зависит от субъективных особенностей сборщика, который, по сути дела, производит подбор сопрягаемых деталей методом проб, обеспечивая зазор в собираемых парах интуитивно. При автоматизации сборки этого изделия был пересмотрен технологический процесс доводочных операций при изготовлении его деталей, а селективная сборка заменена сборкой с индивидуальной автоматической пригонкой диаметра плунжера по отверстию гильзы. Эти меры позволили помимо повышения производительности труда и сокращения производственного цикла значительно повысить качество выпускаемых изделий. Приведенный пример показывает, что автоматическая сборка изделий может включать в себя целый ряд технологических приемов и операций, несвойственных традиционно установившемуся понятию сборки.

Сборка является завершающим этапом в производстве изделий, а следовательно, оказывает определяющее влияние на весь технологический процесс, начиная с изготовления заготовок деталей и кончая контролем и испытанием изделия.

Под технологическим процессом автоматической сборки изделия или его части понимают часть общего производственного процесса, выполняемого в автоматическом режиме на отдельной машине или линии.

Согласно этому определению, в состав автоматической сборки могут входить различные по характеру технологические операции и приемы, выполняемые в определенной технологической последовательности и связанные единством поставленной задачи и единством организации производства.

Многообразие видов работ и приемов, включаемых в технологический процесс автоматической сборки, начиная от элементов механической сборки и механической обработки до специальных физико-химических процессов, требует от технологов-сборщиков знания целого ряда специальных сопутствующих разделов науки и техники.

При разработке технологического процесса технолог-сборщик должен определить сборочный состав изделия и дифференциацию

технологического процесса, правильно выбрать технологическую и конструктивную структуру сборочного оборудования, произвести экономический анализ и обоснование выбранного варианта автоматизированного процесса, определить и рассчитать режимы выполнения этого процесса, а при необходимости провести специальные исследования.

Технологический процесс автоматической сборки должен строиться из условия простого конструктивного исполнения средств автоматизации, с наименьшим числом изменений положений базовых и других деталей и узлов в пространстве; следует избегать параллельности выполнения разных приемов. Другими словами, построение технологического процесса автоматической сборки должно предусматривать строгую последовательность выполнения технологических операций в едином потоке сборки. Разветвление и схождение потоков усложняют конструкцию сборочного оборудования и снижают надежность его работы. Кроме того, конструкция изделия, степень его точности, конфигурация, вес и размеры составляющих деталей в значительной степени влияют на технологическую и конструктивную схему автоматического сборочного оборудования, на выбор рабочих исполнительных и транспортных органов.

4.3. Структурные технологические схемы автоматической сборки

Технологическая схема автоматической сборки органически связана с конструкцией изделия, однако, не все изделия массового производства по своему конструктивному оформлению допускают автоматическую сборку. При разработке технологической схемы автоматической сборки это обстоятельство следует учитывать. Имеется целый ряд сборочных работ, автоматизация которых экономически нецелесообразна, поэтому автоматический процесс сборки может быть разорван введением ряда ручных работ (загрузка, соединение деталей, контроль).

Стремление создать наиболее простое и надежное сборочное оборудование с меньшими капитальными затратами не исключает возможность таких разрывов. Автоматизировать сборку следует более дифференцированно, чем, допустим, механическую обработку, так как иногда экономически выгоднее выполнять ряд сборочных работ вручную, чем создавать сложные автоматы. Дифференцированный подход к технологическому процессу автоматизированной сборки, как правило, приводит к успешному решению проблемы.

Для того чтобы решить, какой вид сборки по степени автоматизации рациональнее применить для конкретного изделия, следует: а) проанализировать конструкцию изделия и составляющих его деталей; б) найти связи и сборочный состав изделия; в) определить порядок и последовательность выполнения сборочных приемов; г) изыскать рациональный способ управления процессом и оборудованием.

Наглядное представление о технологичности изделия дают схемы сборочного состава, которые предусматривают выделение ступеней сборки. На основании этих схем можно вывести некоторые количественные характеристики собираемого изделия, в том числе и степень сложности осуществления сборки. Степень сложности сборочного состава (сборки) выражается количеством ступеней сборки.

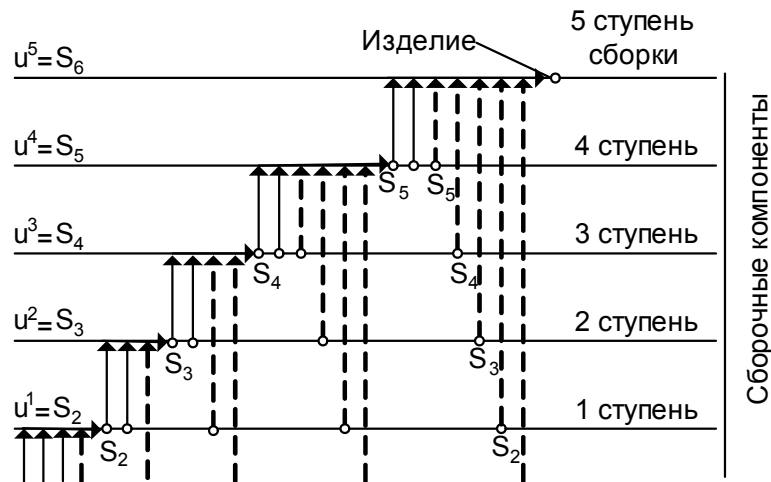


Рис. 4.2. – Теоретическая схема сборочного состава изделия

Теоретическая схема сборочного состава изделия показана на рис. 4.2. Эта схема дает представление о сущности сборочного процесса, его сложности и в некоторой мере о технологичности изделия с точки зрения его сборки. Связь между сборочными компонентами и изделием может быть записана в следующем виде:

$$u^n = S_{n+1}, \quad (4.1)$$

где u – обозначение изделия; s – обозначение компонентов изделия; n – число ступеней сборки.

Рекомендуется строить схему расположения сборочных элементов с указанием технологической последовательности выполнения соединений деталей. Такая схема (рис. 4.3) является весьма наглядным документом, характеризующим качественную сторону сборочного состава изделия и его процесса сборки. Составление такой схемы несложно. За ее исходное звено принимается базовая деталь 1-1, к базовой детали присоединяются по две детали 1-2 и 1-3. в результате чего образуется «сборка» *сб-1*; к этой сборке присоединяется сборка, образованная из деталей 2-1, 2-2, 2-3 и т. д. На схеме детали обозначены прямоугольниками, внутри которых дается индексация и в нижней части – наименование деталей, причем сборочные единицы обозначаются символом «сб» с присвоением порядкового номера ступени сборочной единицы (узла). Этим же номером отмечаются и отдельные детали, входящие в данную сборочную единицу. Таким образом, изделие, представленное данной схемой сборочного состава, имеет три ступени сборочных единиц и, следовательно, рассматриваемое изделие имеет третью степень сложности.

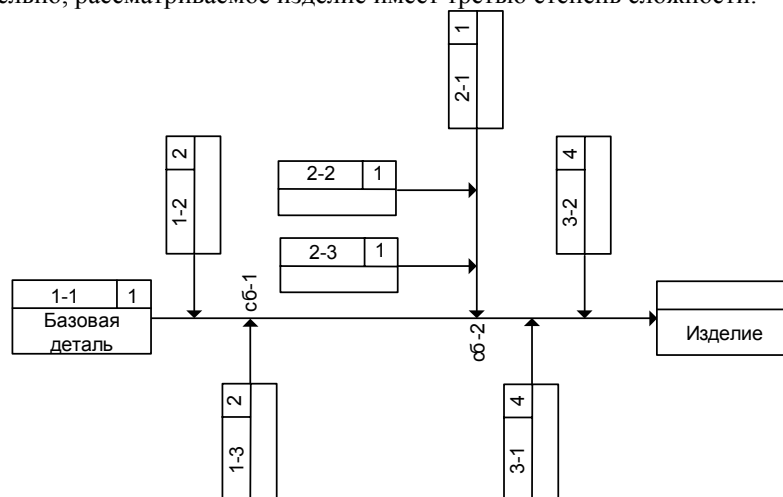
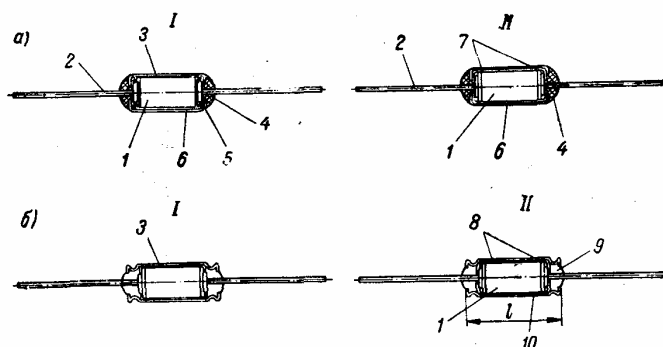


Рис. 4.3 – Схема расположения сборочных элементов

При механической сборке, когда нет особой надобности указывать отдельные виды работ и действий, удобно использовать схему, показанную на рис. 4.3. Она позволяет определить сборочный состав изделия и технологическую последовательность его сборки. Однако эта схема не позволяет четко представить связи между отдельными элементами всего сборочного процесса и выявить рациональную структуру технологического процесса сборки, связанного с сопутствующими работами и процессами.

Допустим, что необходимо произвести соединение колпачков с секцией цилиндрического конденсатора (рис. 4.4). Здесь приведены две конструктивные разновидности одного типа конденсаторов: а) конденсатор, в котором секция 1 закрепляется приклеиванием колпачков 7 к корпусу 6 и б) конденсатор, в котором секция 1 фиксируется в корпусе (алюминиевом цилиндре) 10 завальцовкой колпачков 8 с резиновыми шайбами. Для выполнения этой работы, прежде всего, нужно определить сборочный состав изделия, необходимые детали и материалы, их количество, определить базовую деталь или элемент. Анализ рабочего чертежа собираемого изделия показывает, что в качестве базовой детали можно использовать секцию конденсатора 1 в сборе с припаянными к ней выводами 2; колпачки 7 надевают на секцию с двух сторон, а затем вставляют в корпус 6 и заливают эпоксидной смолой 4. Такая сборка может быть отнесена ко второй ступени, а следовательно, ко второй группе сложности. Если же мы составим теоретическую схему сборочного состава (см. рис. 4.2) или схему расположения сборочных элементов (см. рис. 4.3), то не сможем определить комплекса необходимых работ для выполнения соединения, так как при этом трудно выявить направление, по которому может быть построен технологический процесс автоматической сборки – нет четких данных о последовательности соединения деталей. Сборка секции конденсатора с двумя одинаковыми колпачками может быть осуществлена или путем последовательного надевания сначала одного колпачка, а затем после поворота секции – второго колпачка или параллельным соединением, т. е. одновременным надеванием двух колпачков без поворота секции.



1 – секция конденсатора; 2 – выводы; 3 – прокладки;
4 – заливка эпоксидной смолой; 5 – набор шайб;
6 – корпус конденсатора; 7 – колпачки; 8 – колпачки с рифлением;
9 – резиновые шайбы; 10 – алюминиевый цилиндр

Технологический процесс автоматической сборки позволяет варьировать отдельные работы или действия и в одной сборочной машине выполняя параллельно ряд одинаковых действий, что не может быть выполнено человеком. Ручная же сборка, выполняемая одним сборщиком на одном рабочем месте, позволяет только последовательно собирать детали.

Составление схемы технологического процесса сборки помогает в некоторой степени составить структурную схему сборочного оборудования. При составлении технологической схемы автоматической сборки недостаточно провести оценку конструкции изделия, а целесообразно рассмотреть связи отдельных составляющих элементов (деталей) изделия и специфические приемы выполнения технологических операций.

Как правило, автоматическое сборочное оборудование разрабатывают для автоматического выполнения более чем одного действия (операции). В процессе работы сборочное оборудование выполняет несколько видов действий, например, загрузка, соединение и т. д. Результатом этих действий является завершение одного (или нескольких) этапа сборочного процесса, который называется **узловым** моментом технологического процесса автоматической сборки. В промежутке между отдельными узловыми моментами имеет место поток различного вида действий определенной длительности во времени, который называют работой.

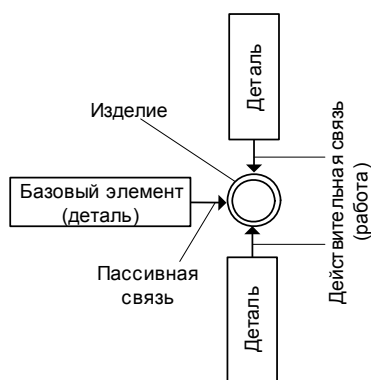


Рис. 4.5 – Схема технологического процесса сборки секции цилиндрического конденсатора с колпачками

Если дать условные обозначения узловым моментам, работе и составляющим материальным элементам изделия, то можно схематически изобразить технологический процесс. Условимся материальные элементы изделия (детали, материалы и т. д.) обозначать прямоугольниками, технологические материальные элементы (газ, флюс и т. д.) – треугольниками, узловые моменты – окружностями, работу (или действие) – линией со стрелкой, указывающей направление потока действий. Рассмотрим схему технологического процесса сборки секции цилиндрического конденсатора с двумя колпачками (рис. 4.5). За начало

сборки (базовый элемент – деталь) принят промежуточный узловый момент общей сборки изделия. Базовый элемент (или базовую деталь) удобно выделять на схеме прямоугольником с утолщенной линией контура. На схеме показано, что на данном этапе процесса сборки должны быть соединены в единое целое три детали: базовая деталь и две одновременно присоединяемые к ней детали. Процесс соединения деталей – работа, т. е. действие, совершаемое рабочими органами автомата, – обозначен сплошными линиями со стрелками.

Для того чтобы соединить между собой детали, автомат должен произвести работу по надеванию колпачков, без совершения этой работы соединение деталей не произойдет. Сплошная линия показывает совершение действительной работы, т. е. действительную связь. Базовая деталь, на которую надевают колпачки, в процессе сборки остается в относительном покое и фактически не участвует в действительной работе, т. е. с ней механизмы автомата не совершают никаких действий, а, следовательно, базовая деталь имеет пассивную связь. На схеме пассивная связь, в отличие от действительной, обозначена штриховой линией. Присвоив каждому материальному элементу специальный индекс, можно составить кодовое обозначение элементов технологического процесса сборки. Подобный код может служить удобным средством обозначения работ и связей по схеме.

На рис. 4.6 показана структурная схема технологического процесса автоматической сборки октальных ламповых панелей. Здесь базовая деталь – колодка ламповой панели – имеет обозначение 0, первый узловой момент – римская цифра I, второй момент – II, детали, входящие в сборку, обозначены цифрами 1, 2... При анализе данной схемы видно, что для получения первого узлового момента требуется произвести определенные действия с деталями 1, 2, ..., 8, т. е. соединить выводы с колодкой ламповой панели 0. Однако после завершения первого этапа действий не получается законченного изделия, так как для предотвращения выпадания выводов из гнезд необходимо произвести дополнительную работу для их закрепления.

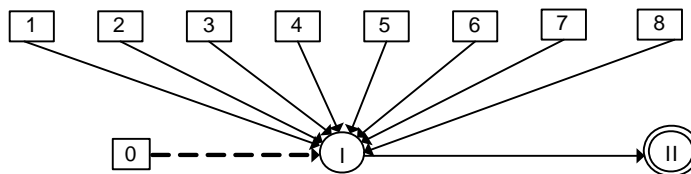


Рис. 4.6 – Структурная схема технологического процесса сборки октальной ламповой панели

В данном случае эта работа заключается в скручивании хвостовой части вывода, выступающей над торцевой поверхностью, колодки. Только после выполнения этой работы сборку изделия можно считать завершенной. Для наглядности конечный узловой момент сборочного процесса целесообразно выделять особым обозначением, например двойной окружностью.

Несмотря на сравнительно хорошую наглядность технологической структурной схемы сборочного процесса, на наличие явных связей между деталями и узловыми моментами, все же такая схема не дает полного представления о технологической сущности сборочного процесса. Этот недостаток устраняется введением дополнительного документа, носящего название перечня работ. Таблица 4.2 является образцом такого перечня, составленного при разработке структурной технологической схемы автоматической сборки октальной ламповой панели.

Таблица 4.2

Узловой момент		Работа (действие)	Описание работы
исходный	конечный		
0	I	1-1	Одновременное соединение восьми выводов с колодкой ламповой панели
		2-1	
		3-1	
		4-1	
		5-1	
		6-1	
		7-1	
		8-1	
I	II	1-11	Закрепление выводов в гнездах колодки путем скручивания хвостовой части

Подобная таблица перечня работ наряду со структурной схемой технологического процесса является основным документом, разрабатываемым технологом в период подготовки материалов для проектирования автоматического сборочного оборудования.

На основании краткого анализа метода построения структурных схем технологического процесса автоматической сборки можно указать следующее:

1. Данный узловой момент не может наступить до тех пор, пока не завершены все предыдущие узловые моменты. Так, узловой момент II не наступит, если полностью не завершен узловой момент I и если не будут выполнены все предыдущие работы. Действительно, если не выполнена хотя бы одна работа, допустим 2-I, то изделие не

будет укомплектовано одной деталью и мы не получим законченного (годного) изделия.

2. Между двумя узловыми моментами или между деталью и узловым моментом на схеме должна быть проведена линия связи, без выявления связи не может быть выявлена работа или действие.

3. Стрелки, указывающие направление потока сборки, должны иметь одно направление. Появление встречных потоков указывает на неправильность построения структурной схемы.

4. Между двумя элементами на схеме может быть поставлено несколько стрелок, указывающих последовательность выполнения отдельных этапов работы.

5. Все виды работ должны быть указаны в перечне работ.

6. Помимо упрощенного кодового названия материальных элементов, входящих в изделие, на схеме целесообразно обозначать элементы в соответствии со спецификацией.

7. Технологический чертеж на разработанные узловые моменты должен включать в себя все технические требования, обеспечивающие качественное выполнение этапов сборочного процесса.

8. Расчленение процессов сборки изделия на узловые моменты может помочь хотя бы ориентировочно оценить степень сложности автоматической сборки.

9. Анализ структурной схемы технологического процесса сборки помогает выбрать структурную схему сборочного оборудования и определить рациональную концентрацию сборочных действий и узловых моментов на единицу оборудования.

Рассмотрим схему технологического процесса автоматической сборки цилиндрического металлобумажного конденсатора (см. рис. 4.4, а, вариант II). При сборке за базовую деталь принята намотанная секция (рис. 4.7), обозначенная прямоугольником с утолщенным контуром с индексом 0. На первом этапе сборки к секции присоединяются одновременно два вывода 1–1, которые изготавливаются из медной луженой проволоки непосредственно на сборочном автомате, т. е. мы имеем совмещенную сборку, что и отражено в структурной схеме введением дополнительного обозначения работы и материального элемента. Соединение двух выводов с секцией приводит к образованию узлового момента I сборки и сборочного элемента – пакета, который в технической документации имеет собственное обозначение. Базовая деталь в процессе сборки находится в определенном положении, в котором она переходит от одной позиции к другой. С базовой деталью кроме пассивного перемещения для образования узлового момента I, по сути дела, никакой работы не производится, и это дает основание на структурной схеме указать условную связь (штриховая линия).

На следующем участке сборочного процесса – узловый момент сборки II – производится одновременное надевание двух колпачков 7 (см. рис. 4.4, а, вариант II) на уже собранный пакет, а затем перемещением собранного пакета с колпачками осуществляется сопряжение его с корпусом конденсатора б. Это сопряжение образует узловый момент III (см. рис. 4.7), причем работа сопряжения производится на участке между двумя узловыми моментами II и III, а деталь 3 имеет с узловым моментом III условную связь.

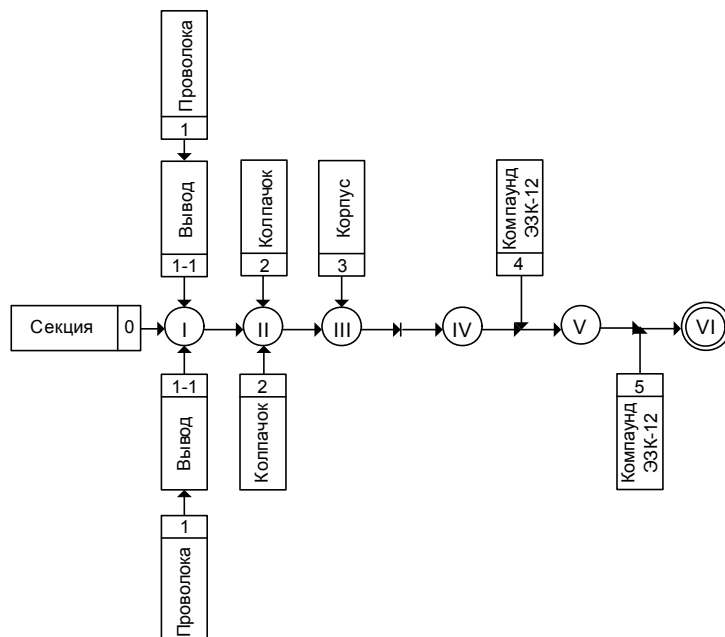


Рис. 4.7 – Структурная схема технологического процесса сборки цилиндрического конденсатора

Узловой момент IV образуется без дополнительного подвода материальных элементов. Действительная связь между узловыми моментами III и IV указывает на то, что на этом участке производится фактическая работа, которая заключается в закреплении собранных элементов. После окончания механической сборки конденсатора производится завальцовка корпуса, предотвращающая возможность осевого смещения собранных деталей. Затем с целью герметизации производится заливка торцов конденсатора эпоксидным компаундом с последующей полимеризацией – образуются узловые моменты V и VI. Здесь в качестве материальных элементов 4 и 5 применяется уже не деталь, а эпоксидный компаунд.

В таблице 4.3 приведен перечень узловых моментов, а в таблице 4.4 – перечень работ при автоматической сборке цилиндрического металлобумажного конденсатора типа МБМ.

На основании структурной схемы технологического процесса автоматической сборки, перечня узловых моментов, работ и связей может быть оценена технологичность конструкции изделия, определен целесообразный уровень автоматизации, определена трудоемкость отдельных операций и подсчитано число рабочих этапов сборки в оборудовании.

Таблица 4.3

Узловые моменты	Наименование узлового момента	Наименование сборочного компонента
I	Закончено соединение выводов с секцией	Пакет
II	Закончено соединение пакета с колпачками	Пакет в сборе с колпачками
III	Закончена сборка пакета с корпусом	Пакет в корпусе
IV	Закончена завальцовка корпуса	Пакет в корпусе завальцованный
V	Закончена заливка эпоксидным компаундом одного торца	—
VI	Закончена заливка эпоксидным компаундом второго торца	—
VII	Завершена сборка конденсатора	Конденсатор в сборе

Структурные схемы отражают основные виды работ, связанных непосредственно с процессом сборки. Сопутствующие и вспомогательные виды работ на этих схемах обычно не указываются. Это в некоторой степени упрощает их составление, уменьшает объем работы технолога и дает возможность конструктору при разработке сборочного оборудования иметь достаточную свободу воплощения заданного технологического процесса. Однако технолог обязан в техническом задании указать помимо наименований материальных элементов вид загрузки деталей в оборудование, базовые детали, режимы сборочных и вспомогательных работ (число оборотов винтовёрта, усилие и скорость завальцовки, режимы полимеризации и т. д.). Все эти данные должны быть отражены в технологической карте, составляемой на один узловой момент сборочного процесса.

Таблица 4.4

Узловой момент		Работа, связь	Описание работы	Примечание
исход- ный	конеч- ный			
–	I	0 – I	Подача секции на сборочную позицию	Пассивная связь
		I – (1-1)	Изготовление выводов из медной луженой проволоки	Одновременно изготавливаются два вывода
		(1-1) – I	Соединение выводов с секцией электроконтактной пайкой	Одновременно припаиваются два вывода
I	II	1 – II	Транспортировка пакета	Пассивная связь
		2 – II	Надевание колпачков на пакет	Одновременно надеваются два колпачка
II	III	3 – III	Подача корпуса к месту сборки	Пассивная связь
		II–III	Сборка пакета с колпачками с корпусом	–
III	IV	III	Транспортировка собранного конденсатора	Пассивная связь
		IV	Завальцовка собранного конденсатора	Одновременно с двух сторон
IV	V	IV	Транспортировка конденсатора к месту заливки	Пассивная связь
		4	Заливка одного торца Конденсатора эпоксидным компаундом	–
		V	Предварительная полимеризация	–
V	VI	V	Транспортирование с поворотом конденсатора на 180°	Пассивная связь
		5	Заливка второго торца конденсатора эпоксидным компаундом	–
		VI	Полимеризация эпоксидного компаунда	–

Структурные схемы технологического процесса автоматической сборки для конкретного изделия необходимо составлять в нескольких вариантах, а затем при разработке оборудования, оценивая сложность реализации каждого технологического процесса, можно выбрать рациональный вариант. Такой подход к выбору рациональной схемы объясняется тем, что не выработаны объективные критерии оценки различных вариантов структурных схем, а следовательно, приходится довольствоваться весьма субъективными критериями. Однако на основании проведенного анализа структурных схем можно отметить, что чем больше структурная схема имеет действительных связей и чем больше в ней узловых моментов, тем больше потребуется рабочих устройств и механизмов, тем ниже коэффициент надежности работы автоматического оборудования и, следовательно, выше себестоимость изделия. Отсюда следует, что структурная схема должна быть кратчайшей, с наименьшим количеством узловых моментов и связей.

Рассмотрим это положение на примере сборки октальной ламповой панели. Один из вариантов структурной технологической схемы автоматической сборки представлен на рис. 4.8, второй вариант был рассмотрен ранее (см. рис. 4.6). Для обеспечения сборки по структурной схеме, представленной на рис. 4.8, производят последовательное соединение выводов с гнездами корпуса и закрепление каждого вывода в отдельности; по схеме же на рис. 4.6 производят одновременное соединение и закрепление сразу всех восьми выводов.

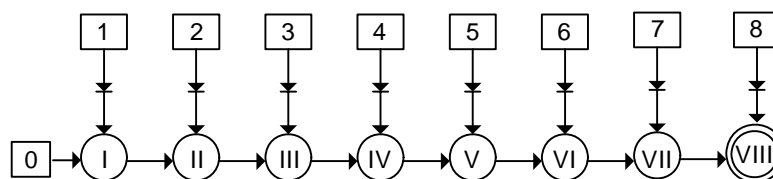


Рис. 4.8 – Структурная схема технологического процесса последовательной сборки панели

Для реализации первой структурной схемы выполняют: 8 соединений выводов с гнездами корпуса, 8 закреплений выводов в гнездах корпуса и 8 вспомогательных связей. Схема имеет 8 узловых моментов. Для реализации второго варианта технологической схемы сборки необходимо одновременно соединить 8 выводов с гнездами корпуса и произвести одно закрепление выводов в гнездах корпуса. Следовательно, по схеме, представленной на рис. 4.6, имеем два узловых момента и одну вспомогательную связь.

Анализ приведенных вариантов показывает, что сложность второго варианта значительно ниже, чем сложность первого варианта, а следовательно, второй, вариант структурной схемы технологического процесса может быть принят при разработке автоматического сборочного оборудования.

Действительно, для осуществления автоматической сборки октальной ламповой панели по первому варианту структурной схемы требуется создание восьми одинаковых механизмов (или устройств) для выполнения работы соединений, восьми механизмов (или устройств) для выполнения работы закрепления и одного транспортного устройства для перемещения базовой детали, в то время как для сборки ламповой панели по второму варианту достаточно одного механизма для соединения восьми выводов с корпусом и одного механизма для их закрепления. Таким образом, структурная технологическая схема автоматической сборки определяет в общих чертах структурную схему оборудования.

Окончательный выбор структурной схемы автоматической сборки может быть сделан при совместном рассмотрении ее со структурной схемой оборудования на основании технико-экономического анализа.

4.4. Методы сборки

Существуют два вида сборки: а) *обусловленная*, т. е. сборка, к которой предъявляются специальные требования по точности выполнения сопряжения и закрепления собираемых деталей, и б) *необусловленная*, т. е. сборка, к точности которой или сопряжению собираемых деталей не предъявляется каких-либо особых требований.

Обусловленная сборка осуществляется следующими методами:

а) полной взаимозаменяемости; б) неполной взаимозаменяемости; в) рассортировки собираемых деталей на группы (селекцией); г) с применением компенсаторов и д) с индивидуальной пригонкой соединяемых деталей. Из указанных методов полная автоматизация сборки может быть осуществлена при первых трех методах, а частичная автоматизация – при последних методах с установкой компенсаторов или пригонкой замыкающего элемента по месту вручную.

Метод полной взаимозаменяемости заключается в получении требуемой точности замыкающего звена размерной цепи у всех изделий партии путем простого соединения всех деталей, участвующих своими размерами или поворотами своих поверхностей в качестве звеньев этой размерной цепи.

Метод полной взаимозаменяемости предусматривает необходимость соответствующего расчета допусков на отдельные параметры элементов и размеры деталей и гарантию их получения при изготовлении этих элементов.

При сборке по этому методу допуски на размеры сопрягаемых деталей, установленные по конструктивным соображениям, равны или больше технологических допусков на те же размеры.

Таким образом, необходимыми условиями при использовании метода полной взаимозаменяемости являются:

а) расчет и установление допусков на все составляющие звенья, исходя из требуемой величины допуска на исходное (замыкающее) звено, т. е. соблюдение для плоских размерных цепей с параллельными звеньями следующего равенства:

$$\delta_{u\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta A_i, \quad (4.2)$$

где $\delta_{u\Delta}$ – заданный допуск исходного звена;

δA_i – величина допуска или погрешность i -го звена;

m – количество звеньев размерной цепи;

б) величина координаты середины поля допуска исходного звена $C\delta_{u\Delta}$ относительно номинала равна разности алгебраических сумм величин координат середин полей допусков всех увеличивающих и уменьшающих звеньев:

$$C\delta_{u\Delta} = \sum_{i=1}^n C\delta A_{i_{ув}} - \sum_{n+1}^{m-n} C\delta A_{i_{ум}}, \quad (4.3)$$

где $C\delta A_{i_{ув}}$ и $C\delta A_{i_{ум}}$ – соответственно величины координаты середины полей допусков i -го увеличивающего и уменьшающего звеньев; n – количество увеличивающих звеньев; m – общее количество звеньев размерной цепи;

в) разность алгебраических сумм отклонений средних значений всех увеличивающих и уменьшающих звеньев размерной цепи, полученная расчетом, должна быть равна заданному среднему значению исходного звена размерной цепи:

$$C\delta_{u\Delta} = \sum_{i=1}^n (C\delta A_{iy\delta} + \alpha_{iy\delta} \delta' A_{iy\delta}) - \\ - \sum (C\delta A_{iym} + \alpha_{iym} \delta' A_{iym}) - \alpha_{u\Delta} \delta'_{u\Delta}, \quad (4.4)$$

где $\alpha_{iy\delta}$ и α_{iym} – соответственно асимметрия распределения размеров i -го увеличивающего и уменьшающего звеньев размерной цепи; $\delta' A_{iy\delta}$ и $\delta' A_{iym}$ – соответственно половина абсолютной величины поля допуска i -го увеличивающего или уменьшающего звеньев размерной цепи.

Средняя величина допуска составляющих звеньев размерной цепи

$$\delta_{cp} = \frac{\delta_{u\Delta}}{m-1}. \quad (4.5)$$

Величину δ_{cp} корректируют с учетом точности получения каждого составляющего звена и проверяют удовлетворение условию (4.2).

Сборка по методу полной взаимозаменяемости имеет следующие преимущества: простота осуществления, возможность кооперирования производства, упрощение снабжения запасными частями и ремонта изделий (приборов, машин и т. п.), находящихся в эксплуатации; возможности использования малоквалифицированного труда; возможность организации поточной сборки; стабильность сборки по времени; простота механизации и автоматизации. Указанные преимущества обусловили широкое применение этого метода сборки в массовом и крупносерийном производствах.

Метод полной взаимозаменяемости требует предварительного 100-процентного контроля деталей, поступающих на сборку, однако при этом не отпадает полностью необходимость в межоперационном и окончательном контроле, так как некачественная сборка может произойти и в виду нечеткой работы отдельных механизмов сборочного автомата или полуавтомата (отсутствие одной из собираемых деталей вследствие задержек в загрузочном устройстве, перекос собираемой детали и т. п.).

Применение метода полной взаимозаменяемости ограничивается высокой себестоимостью изготовления деталей, так как с уменьшением величины допуска исходного (замыкающего) звена и с увеличением количества звеньев размерной цепи приходится уменьшать допуски на соответствующие звенья, что требует повышения точности обработки, приводит к ее удорожанию.

Метод неполной взаимозаменяемости заключается в том, что в результате сборки партии изделий требуемая точность замыкающего (исходного) звена достигается не у всех звеньев, а только у большей их части. В основе метода лежит положение теории вероятности, по которому крайние значения погрешностей всех звеньев размерной цепи встречаются гораздо реже, чем средние.

Незначительное количество изделий, имеющих отклонение замыкающего звена, выходящее за пределы установленного допуска, может быть при надлежащей организации производства исправлено путем подгонки. Как и указывалось выше, у некоторых изделий погрешность замыкающего звена может выйти за пределы заданного монтажного допуска, а потому имеет место определенный риск.

Коэффициент риска

$$k_p = \frac{\delta_{u_\Delta}}{2\sigma_{u_\Delta}}, \quad (4.6)$$

где δ_{u_Δ} – заданный допуск исходного звена; σ_{u_Δ} – среднеквадратичное отклонение исходного звена при установлении больших допусков на соответствующие звенья.

Средний допуск на составляющий размер при использовании метода неполной взаимозаменяемости

$$\delta_{cp} = \frac{\delta_{u_\Delta}}{k_p \sqrt{\lambda'_{cp} (m-1)}}, \quad (4.7)$$

где λ'_{cp} – коэффициент, зависящий от характера кривых распределения погрешностей; для законов, близких к нормальному (закону Гаусса) $\lambda'_{cp} = 1/9$; при неизвестном характере кривой распределения $\lambda'_{cp} = 1/3$.

Основные преимущества метода неполной взаимозаменяемости следующие: допуски на размеры сопрягаемых деталей берутся большими, чем при сборке по методу полной взаимозаменяемости, что удешевляет изготовление, процент же изделий, имеющих выход погрешностей замыкающего звена за пределы требуемого допуска, незначителен, и затраты на исправление этих изделий обычно малы по сравнению с экономией труда и средств, получаемой при изготовлении деталей с более широкими допусками. Остальные преимущества те же, что и у метода полной взаимозаменяемости. К недостаткам метода неполной взаимозаменяемости относятся: а) необходимость обеспечения случайности попадания в одну сборочную размерную цепь всех звеньев, для чего нужны специальные стеллажи и регламентированный порядок сборки; б) при автоматической сборке на станках необходимо в последних предусматривать устройства для измерения отклонений у собираемых деталей и блокирующие устройства, прекращающие работу автомата, если исключается собираемость деталей; в) необходимость организации рабочих мест для исправления изделий, размеры которых вышли за пределы допуска.

Метод рассортировки собираемых изделий на группы (метод групповой взаимозаменяемости). Сущность этого метода заключается в подборе сопрягаемых размеров деталей, изготовленных по расширенным допускам, при этом соединение деталей можно производить путем непосредственного подбора, предварительной сортировки на группы, комбинации сортировки деталей на группы с непосредственным подбором.

Практически метод групповой взаимозаменяемости осуществляется следующим образом: а) устанавливают приемлемые для производственных условий допуски на размеры сопрягаемых деталей, т. е. технологические допуски; б) определяют по чертежу соединения допуск требуемой посадки; в) определяют число групп сортировки деталей; г) определяют допуски для охватывающей и охватываемой детали каждой группы. Число групп зависит от заданной точности сопряжений и точности изготовления деталей. Этот метод используют в мало-звенных размерных цепях, характеризующихся весьма высокой точностью замыкающих звеньев.

В массовом производстве для сортировки деталей на группы используют специальные контрольно-сортировочные автоматы. Недостатком этого способа следует считать возможность появления незавершенного производства вследствие того, что количество деталей в одноименных группах неодинаково, т. е. появляются избыточные детали, которые не попадают в заданные группы.

Для исключения незавершенного производства иногда применяют сборку с индивидуальной селекцией или с пригонкой, т. е. ручную сборку. Недостатками метода рассортировки собираемых изделий на группы являются следующие: а) необходимо измерять все детали для их последующей рассортировки на группы; б) необходимо изготавливать детали с достаточно малыми допусками на взаимное расположение поверхностей, их форму и шероховатость.

Метод регулировки (с применением компенсаторов). Характерной особенностью этого типа сборки является то, что требуемая точность замыкающего звена достигается путем изменения величины заранее выбранного компенсирующего звена без снятия с него припуска. При помощи компенсаторов в узлах и механизмах может быть обеспечено регулирование линейных размеров в плоских размерных цепях с параллельными звеньями, угловых размеров или же устранено влияние несоосности.

Для компенсации погрешностей составляющих звеньев применяют наборы прокладок, регулируемые винты, втулки с резьбой, клинья и другие элементы. Таким образом, для изменения величины компенсирующего звена могут быть использованы подвижные и неподвижные компенсаторы. Автоматическая сборка с набором компенсаторов требует введения в станок для сборки специальных устройств, служащих для определения значения размера компенсации с последующим вызовом соответствующего набора компенсирующих прокладок, причем компенсирующие прокладки определенных размеров выдаются по сигналу с контрольного устройства.

Основными преимуществами этого метода сборки являются: возможность производить обработку входящих в узел деталей по расширенным допускам и возможность компенсации погрешностей замыкающего звена, обусловленных износом, температурными деформациями и т. п. В этом случае полностью исключаются пригоночные работы.

Метод пригонки заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена в процессе сборки достигается в результате изменения размера одной детали посредством снятия необходимого припуска. Если в приборе имеются электронные цепи, то достижение требуемой по ТУ точности выходных параметров осуществляется методами групповой взаимозаменяемости, регулировки или пригонки.

При методе групповой взаимозаменяемости требуемая точность выходных параметров достигается включением в цепь одного или нескольких схемных элементов с узкими допусками на их параметры, полученными в результате отбора группы элементов из партии таких же элементов. При методе регулировки используют регулировочные элементы и сущность регулировки состоит в том, что точность

выходных параметров электронных цепей достигается путем изменения величины параметра компенсирующего звена, в результате чего обеспечивается компенсация погрешностей выходных параметров.

При методе подгонки требуемая точность выходных параметров электронной цепи достигается путем подбора одного из схемных элементов с постоянными параметрами, постановка которого в схему цепи обеспечивает частичную или полную компенсацию погрешностей выходных параметров. Метод подгонки принципиально аналогичен методу регулировки, разница между ними заключается в том, что при регулировке компенсация обеспечивается схемными элементами с переменными параметрами, а при подгонке – элементами с постоянными параметрами.

Метод регулировки позволяет компенсировать погрешности не только в период изготовления, но и в период эксплуатации прибора при возникновении погрешностей в результате старения схемных элементов.

При регулировке приборов используют в основном два способа: регулировка по измерительным приборам и регулировка путем сравнения настраиваемого прибора с образцом, т. е. способ электрической компенсации.

4.5. Условия, необходимые для автоматизации процесса сборки

Для решения вопроса об автоматизации процесса сборки важнейшее значение имеет технологичность конструкции. Технологичность конструкции изделия в значительной степени предопределяет как трудоемкость этого изделия, так и сроки его освоения. Специфика автоматической сборки требует иного конструктивного оформления изделий, нежели ручная сборка.

В настоящее время еще нет достаточно четких критериев оценки технологичности изделий применительно к автоматической сборке, и эта задача решается в каждом конкретном случае, однако можно сформулировать некоторые условия, которым должны удовлетворять изделия и детали, предназначенные для автоматической сборки.

1. Широкое применение унифицированных и нормализованных изделий и составляющих их деталей при проектировании приборов позволяет провести в процессе подготовки производства более тщательную конструкторскую и технологическую переработку и создает предпосылки к увеличению серийности их выпуска, при этом увеличивается уровень автоматизации производства и снижается себестоимость изготовления изделия.

2. Число деталей в собираемом изделии должно быть наименьшим, что ведет к уменьшению числа рабочих позиций в автоматических станках или линиях. Это может быть достигнуто путем соответствующего конструирования и применения специальной технологии изготовления, например использования армированного литья и т. п. Однако этим условием следует пользоваться только после соответствующего технико-экономического расчета, так как в ряде случаев уменьшение числа деталей сопровождается значительным усложнением других деталей, входящих в изделие, что приводит к резкому увеличению трудоемкости заготовительных процессов и механической обработки и возможному увеличению себестоимости собираемого изделия (сборочной единицы).

3. Сложные изделия, состоящие из большого количества деталей, должны строиться по блочному принципу, т. е. изделие должно состоять из отдельных законченных сборочных компонентов (блоков), в которые входит сравнительно малое количество простых по конфигурации деталей (не более 15–18 шт.). Лучшими считаются блоки и изделия, состоящие из 4–12 деталей. Увеличение количества деталей в собираемых на автоматических станках или линиях изделиях приводит к снижению надежности работы этих станков (линий) и снижению эффективности автоматизации сборки. В промышленности находит применение и блочно-модульный принцип конструирования сложных изделий, который состоит в использовании функциональных блоков из унифицированных по габаритам и стыковочным параметрам конструктивно законченных функциональных сборочных единиц – модулей. Модули являются самостоятельными элементами, которые могут быть использованы при конструировании и изготовлении новых самых разнообразных по назначению блоков. В приборостроении и особенно в радиоэлектронной промышленности принципы блочного и блочно-модульного конструирования находят широкое применение, например, при создании системы приборов и средств автоматики, универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики, создании электро-вычислительной аппаратуры и т. п.

4. Детали, входящие в собираемое изделие (сборочную единицу), должны иметь простую форму (цилиндр, призма и т. п.). В тех же случаях, когда по конструктивным соображениям детали имеют сложную конфигурацию, необходимо, чтобы они имели явно выраженные базовые поверхности, желательно цилиндрические или плоские, и явно выраженные места (ключи), что необходимо для надежного ориентирования в грузозачных и транспортных устройствах.

5. Желательно, чтобы поверхность сопряжения служила и установочной базой, так как в этом случае погрешность взаимной ориентации собираемых деталей будет наименьшей. В предварительно соб-

ранных сборочных единицах поверхности сопряжения с другими сборочными единицами и деталями должны быть легко доступными.

6. При автоматической сборке изделий следует стремиться к уменьшению числа крепежных деталей, так как последние существенно усложняют процесс сборки. Вместо резьбового крепежа целесообразно применять сварку, расклепку, развальцовку, гибку и т. д.

7. Следует избегать шпоночных соединений как весьма сложно осуществляемых при автоматической сборке, закрепления деталей разжимными кольцами, закручивания проволокой и т. п.

8. Шероховатость поверхностей сопряжения собираемых деталей должна быть обоснована, так как заниженные требования к шероховатости могут способствовать заклиниванию детали в процессе сборки, а завышенные – увеличивают стоимость изделий.

9. При конструировании изделий, поступающих на автоматическую сборку, следует стремиться к такой компоновке изделия, при которой постановка комплектующих деталей на базовую обеспечивается простейшим движением. Заслуживают внимания конструкции изделий, в которых комплектующие детали последовательно поступают в одном и том же направлении на базовую деталь.

10. Детали, сопрягаемые в осевом направлении, на кромках сопрягаемых поверхностей должны иметь конструктивные элементы, облегчающие самоустановку и центрирование поверхностей. Такими элементами обычно являются фаски, направляющие расточки и т. п. Форма и размеры конструктивных элементов зависят от точности изготовления деталей и условий сборки.

11. На собираемых деталях должны отсутствовать острые углы и заусенцы, кроме того, детали должны быть сухими и без загрязнений.

12. Допустимые отклонения размеров, формы, взаимного расположения сопрягаемых поверхностей собираемых деталей должны быть обоснованы расчетами для обеспечения оптимальной точности самого процесса автоматизированной сборки. Допуски на размеры деталей должны обеспечивать возможность осуществления сборки методом полной или частичной взаимозаменяемости. Использование метода селективной сборки нежелательно, так как последняя требует сложных сортирующих устройств и системы накопителей деталей для отдельных размерных или других групп. Нежелательна и сборка с пригонкой, которая усложняет технологический процесс, требует дополнительных контрольных устройств и механизмов пригонки.

13. Следует избегать длинных путей соединения, особенно при пресовых посадках; образования воздушных подушек, например, в глухих отверстиях; исключать взаимное сцепление деталей при транспортировке.

14. Форма деталей должна быть симметричной или подчеркнуто асимметричной. “Приблизительная симметрия” собираемых деталей трудна для манипулирования. В случае необходимости прибегают к фасонной маркировке (вырезы, отверстия и т. п.).

При оценке изделий (сборочных единиц) на технологичность следует учитывать технологический, экономический и организационный критерии. Технологический критерий включает уровень унификации применяемых деталей, точность размеров и формы деталей, рациональность технологии их изготовления, пригодность деталей к автоматической загрузке, сложность сборки, рациональность вида соединения, сложность регулировки и контроля, уровень механизации и автоматизации. В качестве экономического критерия можно использовать себестоимость изготовления изделия (сборочной единицы).

В качестве организационного критерия можно использовать быстроту подготовки производства. Следует различать абсолютные и относительные критерии: первые используют в тех случаях, когда производство изделия, включая и автоматическую сборку, организуется впервые, а относительные критерии используются тогда, когда имеется несколько однотипных конструкций или конструкция одного и того же прибора подвергается конструктивно-технологическому анализу в связи с переходом на автоматическую сборку.

4.6. Рекомендации по выбору технологического процесса автоматической сборки

При построении технологического процесса автоматической сборки необходимо учитывать следующие рекомендации.

1. Процесс должен предусматривать наименьшее число перемен положения деталей и сборочных единиц, так как для их осуществления требуются довольно точные, а иногда и сложные механизмы.

2. Производительность при сборке зависит от метода сборки. Наибольшую производительность дает метод полной взаимозаменяемости.

3. Процесс следует строить по одному потоку, т. е. избегать сборки отдельных сборочных единиц, впоследствии соединяющихся друг с другом, так как взаимная ориентация предварительно собранных сборочных единиц затруднительна.

4. В ряде случаев целесообразно объединять операции сборки с механической обработкой. При таком объединении обычно базовая деталь изготавливается обработкой резанием, а комплектующие детали подаются из загрузочных устройств. Значительно реже механическую обработку производят как один из переходов сборки.

5. Подача комплектующих деталей непрерывным потоком нежелательна.

6. При выборе типа станка, помимо масштабов выпуска изделий, существенное значение имеет конфигурация собираемых деталей и их прочность. Наличие в собираемом изделии деталей сложной формы, которые затруднительно ориентировать автоматически или невозможно подавать из загрузочных устройств (хрупкие детали, крупные детали, детали сложной формы), требует сборки на полуавтоматических станках. При разработке процесса автоматической сборки, а следовательно, и определении степени автоматизации необходимо учитывать требуемую производительность и экономическую целесообразность создаваемых средств механизации и автоматизации.

7. При сборке сложных изделий, состоящих из большого числа деталей, рекомендуется введение промежуточного контроля. Промежуточный контроль необходим и для определения наличия комплектности собираемых деталей.

8. Автоматическое оборудование для сборки очень чувствительно к качеству поступающих на сборку деталей. Подавляющее число остановок происходит из-за брака деталей. Контроль и отбор брака является главным условием успешной работы автоматических станков.

В тех случаях, когда необходимо по условиям эксплуатации изделий обеспечить предельный момент вращения или усилия в рабочих головках, должны быть предусмотрены предельные муфты в механических передачах и предохранительные клапаны в пневматических и гидравлических приводах.

Проектирование процесса автоматической сборки должно осуществляться в следующей последовательности:

1. Изучение сведений о качестве изделий, действующей технологии изготовления, контроля и сборки. Необходимо провести анализ сборочного процесса с целью выявления тех операций, от которых зависит качество выпускаемых изделий, следует изучить виды и режимы соединений, базы на базовых и сопрягаемых деталях, условия ориентации и подачи деталей или сборочных единиц в процессе сборки. На этом этапе подготовки к созданию процесса сборки надлежит изучать возможные дефекты поступающих на сборку деталей и сборочных единиц и степень их влияния на процесс сборки. Следует получить и достаточно полную экономическую информацию о действующем процессе сборки. На основании изучения всех указанных материалов принимается предварительное решение о возможности автоматической сборки.

2. Составлению возможных вариантов сборки и разработке вариантов технологического процесса сборки должны предшествовать выявление оптимальной степени расчленения изделий и обоснование выбора его конструкции и технологичности соединений.

На основе материалов изучения собираемого изделия и составляющих его деталей разрабатывают возможные варианты схем сборки, содержащие сведения о технологической схеме сборки, степени концентрации и дифференцирования процесса, структуры, вариантах схем базирования деталей и их закрепления после сопряжения; осуществляется выбор промежуточного контроля, необходимости механизмов блокирования, объема запаса деталей в накопителях, выбор типа межоперационного транспорта.

После разработки вариантов процесса сборки происходит их технико-экономический анализ, результатом которого является выбор рекомендуемого процесса.

4.7. Собираемость деталей и точность процесса сборки

Конечным результатом технологического процесса автоматической сборки является получение собранного изделия или его части – узла, состоящего из отдельных деталей, которые могут иметь и имеют погрешности размеров, формы и физических параметров. В основной массе деталей эти погрешности не превышают допусков. Однако, согласно статистическим данным, на сборку часто поступают детали, погрешности которых превышают установленные нормы точности. Это нарушает технические условия на сборку изделия, а следовательно, возникает вероятность несобираемости и в значительной степени снижается работоспособность сборочного оборудования.

Поэтому при разработке технологического процесса автоматической сборки и подготовке материалов для разработки сборочного автоматического оборудования в первую очередь следует обращать внимание на качественную сторону предшествующей подготовки деталей, подлежащих автоматической сборке. Вторым решающим требованием обеспечения автоматической сборки является выбор способа сборки и построения сборочных механизмов и устройств. Сборочные механизмы должны обеспечить собираемость всех деталей, размерные параметры которых лежат в пределах установленного допуска. Другими словами, если детали, поступающие на сборку, соответствуют чертежу, то они должны быть собраны.

4.7.1. Собираемость деталей

Возможность осуществления автоматической сборки зависит от ряда факторов, основным из которых является точность пространственного ориентирования сопрягаемых поверхностей двух собираемых деталей перед их сопряжением. Если элементы сборочного механизма спроектированы неправильно или имеют большую погрешность, то собираемые детали могут не совместиться по сопрягаемым контурам и сборка не произойдет.

Схема возможного расположения сопрягаемых поверхностей перед соединением показана на рис. 4.9. Для создания условий, обеспечивающих сборку, необходимо совместить контуры отверстия 1 и вала 2. Совмещение контуров может быть выполнено путем перемещения осей O_v вала и O_a отверстия на расстояние Δ_Σ и соответствующего разворота контуров сопрягаемых поверхностей на угол Θ . Таким образом, для обеспечения совмещения сопрягаемых поверхностей собираемых деталей продольные оси или центры этих деталей должны быть относительно скоординированы, а их контуры относительно сориентированы.

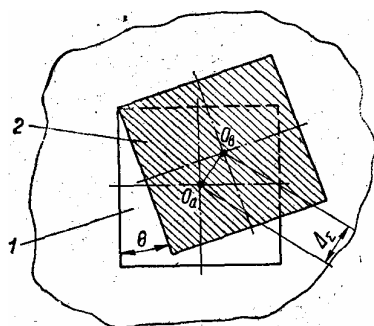


Рис. 4.9. – Схема возможного расположения сопрягаемых поверхностей перед соединением:
1 – отверстие; 2 – вал

Относительным координированием собираемых деталей называют процесс совмещения центров или продольных осей сопрягаемых контуров. Координирование производится в двух взаимно перпендикулярных направлениях в плоскости, перпендикулярной направлению соединения деталей. Под относительным ориентированием понимается процесс совмещения контуров сопрягаемых поверхностей при их относительном развертывании в плоскости, перпендикулярной направлению их соединения.

Относительное ориентирование деталей в сборочном оборудовании может протекать последовательно, или параллельно. Наличие двух этапов совмещения сопрягаемых поверхностей собираемых деталей предопределяет принципиальную схему и конструктивное решение сборочных устройств и механизмов, а также качественную и количественную сторону определения их точности. Первичная погрешность относительного ориентирования определяется погрешностью установки деталей перед их сопряжением.

Погрешность установки деталей зависит от точности изготовления собираемых деталей, выбранной схемы базирования этих деталей, размерной, кинематической и динамической точности рабочих и приводных органов сборочного оборудования.

Суммарная погрешность или результирующее отклонение соединяемых деталей на сборочной позиции определяется отклонением их от номинального положения и представляет собой замыкающее звено размерной цепи. Суммарная погрешность Δ_Σ установки соединяемых деталей связана с параметрами конструктивных элементов уравнением:

$$\Delta_{\Sigma} = \varphi(\Delta_k, \Delta_o) = \varphi(\Delta_{\delta}, \Delta_{\varepsilon}), \quad (4.8)$$

где Δ_k – погрешность координирования осей (центров) собираемых деталей на позиции сборки;

Δ_o – погрешность относительного ориентирования сопрягаемых контуров;

Δ_{δ} – погрешность относительного базирования собираемых деталей;

Δ_{ε} – накопленная погрешность сборочной позиции или механизма.

В свою очередь Δ_{ε} является замыкающим звеном размерной цепи конструктивных элементов сборочного автомата. Размеры конструктивных элементов автомата обычно имеют отклонения от номинальных значений. Эти отклонения, называемые погрешностями, образуются за счет различных факторов, действующих в процессе изготовления и эксплуатации. Для нормального функционирования сборочного автомата необходимо, чтобы эти отклонения находились в определенных пределах и при суммировании не превышали некоторой установленной величины Δ'_{ε} .

Накопленная погрешность Δ_{ε} сборочной позиции может быть выражена функциональной зависимостью:

$$\Delta_{\varepsilon} = \varphi_{\varepsilon}[\delta_u(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n), \delta_n, \delta_o, \delta_{\phi}, \delta_{\kappa}], \quad (4.9)$$

где $\delta_u(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n)$ – функция, определяющая влияние погрешности изготовления деталей и сборки рабочих органов сборочного автомата;

δ_n – погрешность настройки рабочих органов;

δ_o – погрешность деления транспортирующего органа (двигательный или поворотный стол, многопозиционный ротор);

δ_{ϕ} – погрешность фиксирования;

δ_{κ} – кинематическая погрешность и т. д.

Большинство значений погрешностей, входящих в формулу (4.9), имеет определенное поле рассеивания, следовательно, и значение Δ_{ε} является нефиксированной величиной. Погрешности, входящие в формулу (4.9), являются общими для всех сборочных автоматов и в зависимости от их конструктивного исполнения в каждом конкретном случае определяются обычными методами расчета размерных цепей.

Определение допусков на конструктивные элементы сборочного автомата по заданному допуску на суммарную погрешность Δ_{Σ} составляет задачу точностного расчета. При проектировании сборочного автомата необходимо установить определенное соотношение между допусками суммарной погрешности и конструктивных элементов. Должно быть также установлено соответствие между величиной суммарной погрешности Δ_{Σ} и значением q_o , характеризующим величину допускаемого смещения контуров сопрягаемых поверхностей. Значение q_o может быть определено величиной смещения контуров сопрягаемых поверхностей, при котором еще возможно беспрепятственное их сопряжение. Величина его зависит в первую очередь от наличия и величины гарантированного зазора или натяга между сопрягаемыми поверхностями, от размера и расположения фасок на кромках сопрягаемых поверхностей и от конструктивного выполнения устройств сборочного автомата, выполняющих функцию установки (координирование и ориентирование) деталей.

Сопряжение двух деталей может быть произведено лишь тогда, когда суммарная погрешность Δ_{Σ} установки деталей на позиции сборки не превышает значения q_o , допускаемого смещения контуров сопрягаемых поверхностей, т. е. должно выполняться условие:

$$\Delta_{\Sigma} \leq q_o. \quad (4.10)$$

Если это условие не выполняется, то сопряжение поверхностей деталей может не произойти, а следовательно, снизится надежность работы сборочного автомата и иногда может произойти даже поломка отдельных его элементов.

В силу ряда специфических факторов, свойственных процессу автоматической сборки, условие (4.10) не всегда может быть выполнено. Однако некоторыми приемами добиваются сопряжения деталей независимо от величины погрешности установки перед их соединением. Для этого включают в конструкцию сборочного автомата специальные устройства автопоиска, обеспечивающие беспрепятственное сопряжение собираемых деталей. Для реализации автопоиска одной из сопрягаемых деталей или обеим в поперечном направлении сообщается сканирующее движение осуществляемое по траекториям архимедовой спирали или фигур Лиссажу (см. рис. 4.10). В момент совпадения центров и контуров происходит сборка (сопряжение) собираемой пары. Для облегчения сопряжения одной из собираемых деталей может сообщаться продольная вибрация, особенно эффективная при использовании ультразвуковых частот колебаний.

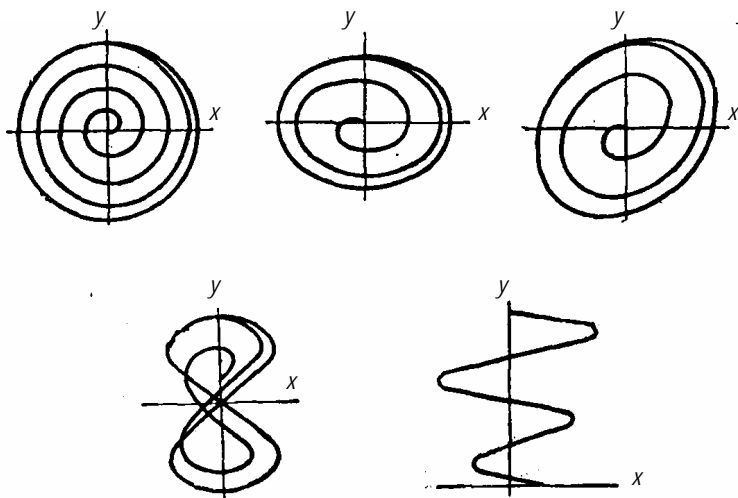


Рис. 4.10 – Траектории осциллирующего движения при сборке

4.7.2. Основные методы анализа точности

Сборка на автоматическом сборочном оборудовании может осуществляться при определенной точности работы входящих в его состав механизмов и устройств. Для нормального протекания сборочного процесса необходимо выбрать допуски на размеры конструктивных элементов автомата так, чтобы суммарная погрешность установки на сборочной позиции при сборке собираемых изделий не превышала допустимого значения.

Таким образом, анализ точности процесса сборки должен включать в себя определение суммарной погрешности Δ_{Σ} установки деталей перед соединением при фиксированном значении допускаемого отклонения q_o . Точность установки собираемых деталей может быть определена расчетным или экспериментальным методом. При анализе точности оборудования применяют:

1. Метод наихудшего случая.
2. Вероятностный метод (метод моментов).
3. Метод статистических испытаний.
4. Метод натурных испытаний.

Анализ различных методов и рекомендации по их применению приводятся в книге [15].

5. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

Многие детали сложных конструкций из-за большого количества поверхностей, которые необходимо обрабатывать, не могут быть полностью изготовлены на одном станке. В этих случаях операции обработки распределяют таким образом, чтобы их можно было выполнить на минимальном количестве станков. Если размеры деталей позволяют вести их обработку на многопозиционных станках, строят поточную линию из нескольких многопозиционных станков, при обработке деталей крупных размеров – поточную линию из однопозиционных станков.

Требование повышения производительности труда привело к созданию станков-автоматов, а затем к созданию автоматических линий, цехов и заводов автоматов.

Если в поточной линии осуществить автоматическую передачу деталей от станка к станку, а также автоматический зажим и укрепление деталей в рабочих позициях, то поточная линия превратится в автоматическую.

Таким образом, автоматическая линия – это система станков, расположенных по ходу технологического процесса, для автоматического преобразования заготовки в готовую деталь посредством выполнения различных технологических, контрольных, сборочных и других операций с автоматическим перемещением обрабатываемых деталей от станка к станку и перезакреплением или перебазированием их непосредственно в приспособлениях станков или в специальных приспособлениях-спутниках. Превращение поточной линии в автоматическую связано со значительными расходами и не всегда экономически оправдывается. При обработке сложных по конструкции деталей, когда для их базирования и закрепления приходится применять приспособления-спутники, стоимость автоматического транспорта и спутников иногда составляет до 40 % стоимости всей линии. Если выпуск деталей не особенно велик, выгоднее обрабатывать их на многосторонних станках поточной линии, чем строить автоматическую линию, где каждый станок будет иметь меньше инструментов и, следовательно, потребуются большее количество станков.

Выигрыш в производительности при использовании автоматических линий достигается за счет глубокой дифференциации производственного процесса, доходящей до разбивки отдельных операций с целью создания единого ритма и упрощения самих операций и переходов.

Рассматривая различные варианты решения вопроса, конструкторы и технологи выбирают такой, который обеспечивает изготовление заданного числа деталей с минимальной стоимостью их обработки.

Использование автоматических линий позволяет:

- повысить производительность труда;
- сократить производственные площади;
- высвободить рабочих;
- сократить вспомогательные транспортные средства;
- сократить время холостых ходов;
- уменьшить производственные заделы;
- соблюдать производственный ритм.

Применение автоматических линий для изготовления самых различных деталей с выполнением разнообразных операций механической обработки, сборки, контроля, упаковки и других операций вызвало необходимость в большом числе конструктивных решений автоматических линий.

5.1. Типы автоматических линий

Автоматической линией называется автоматическая система машин, расположенных в технологической последовательности, объединенных средствами транспортировки, управления, автоматически выполняющих комплекс операций и нуждающихся лишь в контроле и наладке. Основными признаками автоматической линии являются: а) выполнение технологических операций в определенной последовательности без участия человека (его функции заключаются в контроле работы оборудования и его поднастройке, а также в загрузке заготовок деталей при сборке и выгрузке деталей или изделий после сборки); б) автоматическое перемещение заготовок (деталей) транспортными устройствами между отдельными агрегатами линии до окончания обработки (сборки), предусмотренной технологическим процессом линии.

Таким образом, характерными чертами автоматической линии являются:

- расстановка оборудования в соответствии с технологическим процессом;
- работа всех агрегатов линии в едином ритме;
- наличие общей автоматической транспортной системы.

Тогда схема общего структурного состава автоматической линии может быть представлена рис. 5.1.

Центральная система управления и контроля является общей автоматической системой, управляющей всей системой оборудования. По мере необходимости она вносит коррекции и обеспечивает синхронную работу всего оборудования линии. Транспортная система осуществляет передачу заготовок от станка к станку и обеспечивает бесперебойную работу всей линии.



Рис. 5.1. – Структурный состав автоматической линии

Автоматическое рабочее оборудование производит обработку деталей или сборку узлов. Каждая единица такого оборудования может иметь свою локальную систему управления, управляющую механизмами и всем станком, но она является системой более низкого уровня и подчинена центральной системе управления.

Целесообразность применения автоматических линий определяется:

- размером выпуска;
- стабильностью конструкции выпускаемых изделий;
- формой, размерами, материалом изготавливаемых деталей;
- технологичностью конструкции;
- выбранным технологическим процессом.

Основным критерием рационального технологического процесса, структуры и режима работы автоматической линии должна являться соответствующая им себестоимость обработанного изделия. Задача состоит в выборе такого варианта автоматической линии, при котором качество технологического процесса и количественные характеристики ее структуры и режима работы обеспечивают минимальную себестоимость продукции.

Проектирование технологического процесса обработки, выбор заготовки, операции и баз обработки, припусков, межоперационных технических условий, инструментов, их крепления, конструкции приспособлений – сложная комплексная задача, которая по сути не может быть решена строгими количественными приемами и однозначно. Это положение сохраняет полную силу и в отношении автоматических линий. Все же некоторые соображения по этому вопросу могут быть высказаны.

Технологические процессы на автоматических линиях существенно отличаются от технологических процессов даже на поточных линиях того же назначения. Отличия обусловлены в первую очередь

тем, что здесь, кроме обычных технико-экономических и технологических соображений, должна обеспечиваться синхронность выполняемых операций и возможность простого конструктивного воплощения их намеченного порядка с наименьшим количеством перебазирований и перезакреплений, обычно требующих введения в линию сложных вспомогательных механизмов. В ряде случаев уже по одной этой причине приходится выбирать специальный технологический процесс. Чаще приходится отдавать предпочтение операциям со сквозным проходом, т. е. с совмещенными рабочими и транспортными движениями (наружное протягивание, барабанное фрезерование, бесцентровое шлифование, фасонное полирование).

Определяя целесообразную степень концентрации операций, необходимо обеспечить удобное обслуживание (смену и наладку инструментов) и наблюдение, синхронность работы отдельных позиций, полный отвод стружки, повышение требований к жесткости и устойчивости против тепловых деформаций системы “деталь – инструмент – станок” и др. Опыт эксплуатации автоматических линий для обработки блока цилиндров двигателя автомобиля показал, что на некоторых позициях допущена излишняя степень концентрации операций. Из-за большого количества сверл и метчиков и их тесного расположения сильно затруднена смена затупившегося инструмента. Это ощутимо увеличивает простои. Кроме того, при затуплении группы сверл возникают настолько большие усилия, что вследствие отжатий и деформаций в системе нарушается фиксация обрабатываемых изделий, и возможны ложные команды, если сигнал об окончании головкой рабочего хода дается через реле давления.

Важным критерием при разбивке операций по позициям являются условия обеспечения полного отвода стружки. Нередко большая степень концентрации операций затрудняет установку стружколомов, подвод и эффективность действия струи охлаждающей жидкости или отсасываемого вакуумной установкой потока воздуха для удаления дробленой стружки.

Синхронность работы отдельных позиций сблокированных линий должна обеспечиваться таким перераспределением операций, чтобы цикловые времена оказывались возможно ближе к наименьшему из них. Обеспечение синхронности может быть достигнуто разделением путей обработки на участки (сверление, черновое обтачивание, фрезерование), применением комбинированного инструмента (ступенчатые сверла, зенкера), согласованием режимов работы и введением различного числа параллельных потоков обработки на отдельных операциях. Однако не для всех изделий и не по всем видам их обработки

возможна полная синхронизация. В таких случаях в циклограммах работы соответствующих агрегатов предусматриваются выравнивающие длительности циклов паузы – “выстои”.

При выборе баз изделия для обработки на автоматической линии, помимо обычных, должны быть удовлетворены еще дополнительные требования: возможность автоматической фиксации нужного положения заготовок, удобство транспортирования, загрузки и разгрузки, надежная защита от попадания стружки на базовые поверхности. В связи с этим при обработке на автоматических линиях широко используются разного рода искусственные базы в виде дополнительных элементов, не требующихся для эксплуатационной службы изделия, либо элементов-спутников той или иной формы, перемещающихся вместе с изделием по трассе автоматической линии.

Известны также случаи, когда автоматизация производства позволяет отказаться от искусственных баз, необходимых в обычном производстве (например, от использования применявшегося в неавтоматизированном производстве фиксирующего выступа на двухязычковых трикотажных иглах).

При распределении операций по позициям должна приниматься во внимание возможность осуществления бесподналадочной смены инструментов блоками.

Последовательность операций технологического процесса для автоматических линий должна строиться с учетом обеспечения наименьшей вероятности утраты линиями работоспособности. Иногда, чтобы гарантировать минимальную вероятность аварий, приходится идти даже на введение дополнительных операций или переходов. В качестве примера можно привести операцию предварительной торцовки юбки поршня после литья на автоматическом заводе поршней, без которой нельзя гарантировать нормальную работу принятых транспортных устройств между станком для отрезки литников и станком для обработки базы.

Существенное влияние на структурную схему линии и ее конструктивную сложность оказывает также разветвление деталей на потоки в процессе обработки на линии. Автоматические линии последних моделей характеризуются очень сложной структурой. Увеличивается число станков, объединяемых в единую автоматическую систему машин и количество выполняемых операций. Появились в линии новые операции, которые раньше выполнялись отдельными станками или даже вручную. Все больше линий строят для комплексной, полной обработки деталей, причем обработку ведут не только резанием, но и давлением, химическими и термическими методами.

Большие изменения в конструкциях автоматических линий вызваны прежде всего необходимостью увеличить выпуск деталей. Специализация предприятий, которая широко проводится в настоящее время, а также значительный рост продукции машиностроительных заводов резко повышают массовость производства. Это в свою очередь выдвигает новые высокие требования к производительности проектируемых автоматических линий. Сейчас вместо прямоточных автоматических линий проектируют линии, основанные на принципе ветвящегося потока, что позволяет существенно увеличить производительность линий.

В ряде случаев построение линий по принципу ветвящихся потоков взамен прямоточных позволяет почти вдвое увеличить их производительность без существенного увеличения числа станков. Наиболее часто к этому прибегают, когда для изготовления детали необходимо выполнить наряду со сверлильно-резьбонарезными большое количество фрезерных операций. Так, при обработке головок блоков цилиндров автомобильных и тракторных двигателей фрезерные операции обычно занимают вдвое больше времени, чем обработка отверстий. Поэтому участок фрезерных операций на линии состоит из двух потоков, но число станков здесь такое же, какое было бы и в одном потоке. Удалось этого достичь благодаря применению двусторонних агрегатных фрезерных станков. Силовую головку с фрезами размещают в середине станка, детали проходят справа и слева двумя потоками. После обработки головка возвращается в исходное положение и перемещает транспортер с деталями на один шаг, затем цикл обработки повторяется.

Наличие в линии разветвленных потоков позволяет также удачно сочетать черновые и чистовые операции обработки деталей. В ряде случаев чистовые операции требуют значительно больше времени, чем черновые.

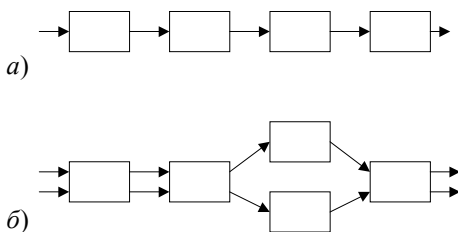


Рис. 5.2. – Структура потоков автоматических линий

Таким образом, по своей структуре автоматические линии можно разделить на однопоточные (рис. 5.2, а) и многопоточные (рис. 5.2, б).

По расположению станков автоматические линии разделяются на линейные, Г-образные, П-образные и О-образные. Наибо-

более простую конструкцию транспортных средств имеют линии с линейным расположением оборудования, однако, такое расположение не всегда возможно и рационально. В зависимости от характера обрабатываемых деталей, трудоемкости операций и других технологических факторов автоматические линии могут быть с параллельной обработкой, последовательной или смешанной.

Автоматическая линия с параллельной обработкой (рис. 5.3, а) позволяет обрабатывать несложные детали с малым количеством обрабатываемых поверхностей. В этом случае есть возможность для всех автоматов пользоваться одним транспортным устройством, а также одним бункером для заготовок и одним бункером для готовых деталей.

Автоматическая линия с последовательной обработкой (рис. 5.3, б) экономически выгодна для обработки деталей сложной геометрической формы, где требуется обработка многих поверхностей различной сложности. В этом случае вместо создания двух однопоточных линий целесообразно применять автоматическую линию с многопоточной последовательной обработкой (рис. 5.3, в).

Параллельно-последовательная автоматическая линия (рис. 5.3, г) выгодна в тех случаях, когда по ходу технологического процесса отдельные операции требуют больших затрат времени, чем все остальные. Во избежание простоев на остальных операциях и снижения производительности линии для этих операций применяют параллельно работающие станки.

Весьма эффективным структурным решением, позволяющим существенно повысить производительность и надежность линий при массовом выпуске продукции, является проектирование линий с параллельными потоками. Нередко автоматические линии из нескольких параллельных потоков строят для выполнения лишь чистовых операций. Объединение таких параллельных потоков единой транспортной системой позволяет не только сократить число обслуживающих рабочих, но и наилучшим образом использовать станки в линии.

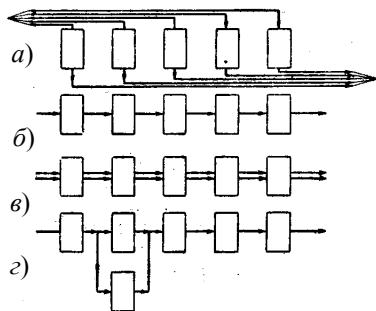


Рис. 5.3 – Схемы автоматических линий с параллельной, последовательной и смешанной обработкой

5.2. Конструкции автоматических линий

По типу применяемого оборудования автоматические линии подразделяются на состоящие из:

- агрегатных станков;
- универсальных автоматов и полуавтоматов;
- специальных станков;
- станков с числовым программным управлением;
- комбинированного оборудования.

Линии из агрегатных станков, так же как и линии из специализированных станков серийного производства (например, многорезцовые одношпиндельные и многоинструментные многошпиндельные токарные полуавтоматы, фрезерные, зубообрабатывающие, шлифовальные и другие станки, встраиваемые в автоматические линии), применяют при крупносерийном и массовом изготовлении изделий. При этом, как правило, линии из станков токарно-шлифовальной группы применяют для обработки деталей типа тел вращения, линии из агрегатных станков – для корпусных деталей типа рычагов, дисков, цилиндров, и в большинстве случаев неподвижных в процессе обработки.

Линии из агрегатных станков получили очень широкое применение в машиностроении, главным образом в крупносерийном и массовом производстве. Они предназначены для обработки деталей различных размеров и форм. Получив применение в первоначальный период своего развития для изготовления главным образом корпусных деталей, линии из агрегатных станков в настоящее время применяются для деталей типа валов, рычагов, дисков, полых цилиндров, различных деталей сложной формы крупных, средних и мелких размеров. В отличие от линий из универсальных станков линии из агрегатных станков создают по принципу высокой концентрации операций.

Более подробно преимущества агрегатирования станков и линий можно представить следующим образом:

1. Обеспечивается возможность создания оборудования по наивыгоднейшему технологическому процессу. Когда намечается применение агрегатных станков, сначала разрабатывают наивыгоднейший процесс обработки детали, а затем по этому процессу в короткие сроки собирают станки из готовых узлов. Здесь нет необходимости подгонять технологический процесс под возможности универсальных или специализированных станков.

2. Создается многократная обратимость конструкций станков, т. е. обеспечивается возможность многократного использования одних и тех же узлов для создания станков различных конструкций. Это

обеспечивает быстрое переоборудование производства и способствует совершенствованию конструкций машин, детали которых обрабатывают на агрегатных станках.

3. Постоянно совершенствуется само оборудование, так как надо переделывать не весь станок, а лишь тот узел, который устарел. Например, заменив старые силовые головки у агрегатного станка новыми, можно использовать прежний стол, станину, кронштейн и т. д., создавая новую, более совершенную компоновку станка и увеличивая его производительность.

4. Создаются благоприятные условия для узлового ремонта станков. Вышедший из строя узел можно быстро заменить новым, полученным со склада, а после пуска станка заниматься ремонтом неисправного узла.

5. Обеспечивается возможность выполнения самых различных операций механической обработки деталей, а также сборки, сварки, штамповки, контроля и других операций на одном станке.

6. Обеспечивается высокая производительность агрегатного оборудования благодаря возможности одновременной обработки одной или нескольких деталей большим количеством инструментов (высокая концентрация операций).

7. Повышается надежность работы оборудования с использованием метода агрегатирования, так как станки и автоматические линии создаются из проверенных в работе узлов-блоков, предварительно изготовленных и тщательно испытанных.

8. Резко повышается серийность изготовления агрегатных узлов вследствие возможности создания станков различного назначения из одинаковых узлов и деталей, что позволяет применять высокопроизводительное оборудование при их производстве и значительно снижает стоимость изготовления станков и автоматических линий.

Вследствие перечисленных преимуществ агрегатный метод начинают применять не только при проектировании металлорежущих станков, но и преслов, сварочных и литейных машин, сборочных автоматов. В станкостроении же принцип агрегатирования стал ведущим направлением при создании самых разнообразных автоматизированных станков и автоматических линий.

Линии из универсальных автоматов и полуавтоматов применяют при серийном и мелкосерийном характере производства. В этих условиях необходима частая переналадка оборудования на изготовление ряда однотипных деталей. Универсальные станки по сравнению со специальными многоинструментными создают возможность быстрой переналадки линии на изготовление других деталей, обраба-

тываемых по тому же технологическому маршруту, но отличающихся размерами, формой и требующих других режимов обработки.

Линии из универсальных станков получили небольшое применение в машиностроении. Их создают на базе действующих поточных линий из универсального оборудования, они часто появляются в результате автоматизации действующего производства силами самих заводов. Для превращения поточных линий в автоматические заводы оснащают каждый станок автооператором для автоматической загрузки и выгрузки деталей, а станки связывают между собой автоматическим транспортом с применением бункеров и магазинов-накопителей различных типов в случае необходимости.

Достоинством такой автоматизации являются сравнительная ее простота и низкая стоимость, а также небольшие сроки проектирования и внедрения. В этом случае проектировать и изготовлять приходится лишь устройства автоматической загрузки деталей и транспортные механизмы.

Благодаря тому, что линию создают на базе действующего, проверенного в работе оборудования, обеспечивается ее высокая надежность. Использование универсальных станков позволяет создавать быстропереналаживаемые линии или линии для групповой обработки деталей. Это дает возможность применять их в мелкосерийном производстве, причем групповая обработка резко повышает загрузку линии и делает использование их рентабельным даже при малых годовых выпусках каждой детали в отдельности.

Вследствие этих особенностей применение линий из универсальных станков является одним из эффективных путей автоматизации мелкосерийного производства. Переналадку таких автоматических линий осуществляют вручную.

Линии из станков с ЧПУ. Если переналадка необходима через короткие промежутки времени, иногда несколько раз в смену, т. е. при обработке деталей мелкими партиями, создаются линии из универсальных станков с программным управлением. В этих случаях не только обработка и транспортировка деталей, но и изменение режимов резания, смена инструментов, изменение положения детали по отношению к инструментам и ряд других функций выполняются автоматически по командам от перфорированной или магнитной ленты или с использованием других носителей. Программа не только автоматически управляет работой станков, но и осуществляет их переналадку при переходе на новые детали.

Как и в предыдущем случае, каждый станок оснащают автооператором для автоматической загрузки и выгрузки деталей, а станки

связывают между собой автоматическим транспортом с применением в случае необходимости бункеров и магазинов-накопителей различных типов.

Использование в автоматических линиях станков с ЧПУ позволяет создавать гибкие автоматические линии, когда на линии одновременно производится обработка разных деталей. По входному коду центральная система управления и контроля формирует технологический процесс для данной конкретной детали и осуществляет управление маршрутом движения, технологическими переходами и режимами обработки.

Линии из специальных станков и устройств проектируют и применяют, когда деталь не может быть по тем или иным причинам обработана на станках, выпускаемых серийно. Линии из специальных станков получили применение в массовом производстве при изготовлении деталей, конструкция которых остается стабильной в течение длительного времени. Этим условиям в определенной мере отвечает подшипниковая промышленность, поэтому наибольшее число автоматических линий из специальных станков созданы для изготовления подшипников.

Помимо указанных автоматических линий в производстве широко используются роторные линии конструкции доктора технических наук Л.Н. Кошкина. Эти линии относятся к категории квазинепрерывных. Они эффективны для обработки деталей простой формы и сборки изделий, состоящих из небольшого числа деталей, выпускаемых в массовом масштабе.

Роторные автоматические линии относятся к линиям из специального оборудования, так как они собраны из узлов и механизмов, конструкции которых в большинстве случаев не нормализованы. В последние годы роторные автоматические линии получают все большее применение в различных отраслях промышленности. Имеются примеры применения их и в автотракторостроении (линии для изготовления клапанов). Автоматическая роторная линия – это комплекс двух или более роторных машин, установленных в технологической последовательности на общей станине и объединенных системой транспортировки, привода и управления.

Автоматические роторные линии (рис. 5.4, б) независимо от содержания технологического процесса имеют общую структуру (рис. 5.4, а), которая характеризуется наличием ротора питания 2, рабочих роторов 3, контрольных и транспортных роторов 5. Каждый ротор представляет собой автоматическую роторную машину, имеющую привод 1 и блоки с инструментами 4.

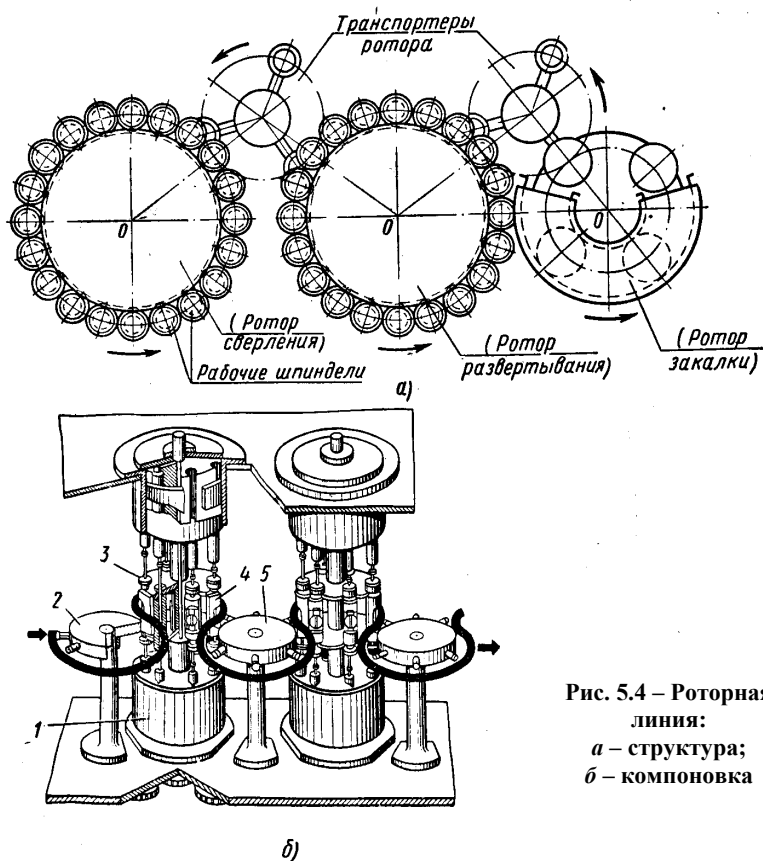


Рис. 5.4 – Роторная линия:
а – структура;
б – компоновка

Одной из основных особенностей роторных линий является то, что операции обработки деталей, подвода и отвода инструментов производятся одновременно с перемещением объекта обработки. В связи с тем, что в каждом рабочем роторе может быть размещено достаточно большое количество обрабатывающих (сборочных, контрольных) блоков, выполняющих параллельно, со сдвигом по фазе, одни и те же операции, роторные линии обеспечивают очень большую производительность. Вследствие этого их применяют в массовом производстве при очень больших выпусках продукции.

Наряду с преимуществами необходимо отметить и недостатки роторных линий, ограничивающих область их применения. Совмещение обработки и транспортировки во времени не позволяет производить обработку деталей одновременно в нескольких направлениях, как

это имеет место при неподвижной детали. Следовательно, для многосторонней обработки деталей линия должна иметь соответствующее числу сторон количество роторов. Кроме того, практически неосуществима и многопереходная обработка деталей на каждом роторе. Вследствие этого применение роторных линий успешно решает задачу автоматизации обработки простых деталей мелких размеров без снятия стружки, например методами штамповки, вытяжки, прессования и спекания. Помимо металлических изделий на роторных линиях эффективно изготовление деталей из пластмасс, стекла, резины, металло- и минералокерамики. Применяются роторные линии при производстве электро- и радиотехнических деталей (сопротивлений, химических источников тока, выпрямителей, печатных схем), в метизном производстве, при выполнении сборочных операций (монтаж, запрессовка, упаковка, заливка, свертывание мелких деталей типа тел вращения), упаковке готовых изделий и расфасовке сыпучих и жидких материалов, выполнении различных термических и термохимических операций, измерении геометрических размеров и физико-химических параметров как отдельных деталей, так и готовых изделий.

Вид обрабатываемых деталей, их геометрическая форма влияют на тип автоматической линии. Так, например, для обработки деталей типа валов линия может быть скомпонована из универсальных станков и станков-автоматов. Для обработки корпусных деталей применяются линии из агрегатных станков, для обработки деталей типа дисков – линии из станков-автоматов и агрегатных станков. Для изготовления крепежа используются обычно линии из станков-полуавтоматов и автоматов. Каждая конкретная задача решается самостоятельно исходя из сформулированных ранее положений.

5.3. Транспортные устройства автоматических линий

Транспортные устройства предназначены для передачи обрабатываемых деталей с одной позиции линии на другую и являются наряду с силовыми головками важнейшими механизмами автоматических линий. Степень совершенства конструкции транспортных устройств определяет не только надежность и производительность линий, но и точность обработки деталей на ней.

Конструкция и принцип работы транспортного устройства зависят от типа и размера обрабатываемой детали, а также характера протекания технологического процесса ее обработки. В свою очередь, выбранная конструкция транспортных устройств существенно влияет на компоновку автоматической линии.

По виду транспортных устройств и способу передачи заготовок деталей со станка на станок линии бывают:

- а) со сквозным транспортированием через рабочую зону;
- б) с верхним транспортированием;
- в) с боковым (фронтальным) транспортированием;
- г) с комбинированным транспортированием.

При сквозном транспортировании линия получается довольно компактная, занимающая наименьшую площадь и высоту в рабочем пространстве. Здесь легче сохранять ориентированное положение транспортируемых заготовок. Однако транспортная система будет занимать часть рабочего пространства и не всегда может применяться из-за своих размеров.

При верхнем транспортировании транспортная система находится над рабочими машинами (станками) и поэтому не занимает рабочие площади, но над линией должно быть достаточно пространства. Кроме того, теперь заготовки нужно опускать в рабочую зону и после обработки возвращать на транспортер, что создает дополнительные трудности.

Использование бокового или фронтального расположения транспортных устройств исключает проблемы верхнего транспортирования (опускание и подъем заготовок), перегрузка заготовок в рабочую зону осуществляется проще. Однако для размещения транспортных устройств необходимы дополнительные производственные площади, а сами транспортные средства в ряде случаев затрудняют доступ к рабочим машинам при необходимости их обслуживания и наладки.

Комбинированное транспортирование применяется для устранения или уменьшения недостатков перечисленных выше способов.

Заготовки в автоматической линии могут транспортироваться периодически (с одной рабочей позиции на другую), не подвергаясь во время перемещения обработке, и непрерывно с одновременной обработкой. По расположению оборудования автоматические линии бывают замкнутые и незамкнутые. В машиностроении и приборостроении предпочтительное применение получили незамкнутые автоматические линии.

Так же как и автоматические линии, транспортные устройства по принципу работы подразделяют на две различные группы: циклического и непрерывного действия. Транспортеры первого типа являются преобладающими и получили широкое применение в линиях механосборочного производства различных типов. Транспортеры непрерывного действия используют в линиях для химико-термической обработки деталей, окраски, мойки, сушки деталей, а также в роторных автоматических линиях.

С точки зрения организации потока и компоновки автоматические станочные линии выполняют в трех вариантах (рис. 5.5):

- I – с жесткой транспортной системой;
- II – с гибкой транспортной системой;
- III – со смешанной транспортной системой.

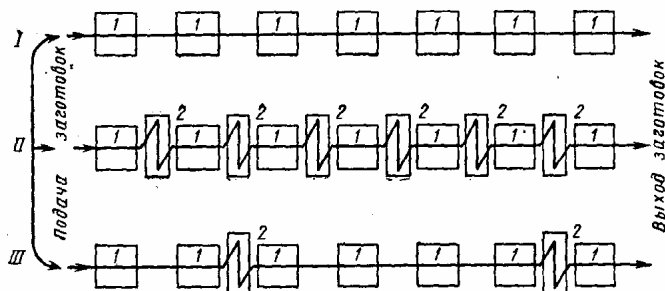


Рис. 5.5 – Компоновки автоматических линий

В варианте I станки 1 заблокированы в единую, неразрывную цепь с жесткой подачей заготовок. В случае простоя какого-либо станка вся линия останавливается. В варианте II станки 1 гибко связаны между собой через бункера 2 (приемники-накопители или магазины), и поэтому каждый станок представляет собой независимую машину. Если выбывает из строя какой-либо станок, впереди стоящие станки продолжают работу, увеличивая запас деталей в бункерах. Станки, расположенные позади, также не останавливаются. Их питание осуществляется за счет запаса деталей в соответствующих бункерах. В варианте III, наиболее общем, автоматизация с жесткой связью произведена в пределах коротких участков, соединенных между собой гибкой связью при помощи бункеров 2. Этот вид компоновки станков является самым распространенным. При таком способе организации потока временная потеря работоспособности какого-либо участка не приводит к остановке всей линии. В этом случае задачи при проектировании сводятся: а) к выбору места установки и количества бункеров, обеспечивающих самопополнение запасов деталей в бункерах; б) к определению величины этих запасов с таким расчетом, чтобы временная остановка отдельных участков не нарушала выпуска изделий автоматической линией.

Как отмечалось, рост выпуска машин сделал целесообразным применение автоматических линий для изготовления таких деталей, которые раньше обрабатывались на отдельных станках. Однако далеко

не все детали приспособлены для перемещения по направляющим транспортера линии. Некоторые имеют очень сложную форму и крайне неудобны в транспортировке. Для обработки на линиях такие детали устанавливают в специальные приспособления-спутники, которые перемещаются вместе с деталями от позиции к позиции.

Обработка деталей в спутниках резко расширила область применения автоматических линий. Однако вместе с этим появились и трудности. Во-первых, спутники сразу увеличили стоимость автоматических линий, так как для каждой линии их должно быть по меньшей мере столько же, сколько деталей одновременно обрабатывают на линии. Во-вторых, они требуют довольно точного изготовления, так как определяют положение детали в позициях обработки. В-третьих, после обработки деталей спутники надо вновь возвращать в исходное положение, что требует специальных транспортеров на линиях.

Существует несколько способов возврата спутников. Для этой цели можно использовать специальный транспортер под станками и перегружатели. После обработки деталь вместе со спутником поднимается и выталкивается на рольганг, по которому подаются в позицию загрузки. Здесь готовая деталь снимается, а в спутнике закрепляется заготовка. Однако такая схема применима лишь в тех случаях, когда на линии нет вертикальных и наклонных головок. Часто для возврата спутников используют транспортер, расположенный за линией. В этих случаях головки могут устанавливаться под любыми углами, но площадь, занятая линией, значительно увеличивается. Если высота деталей невелика, транспортер может проходить через станины горизонтальных станков, а для подъема и перемещения их служат также специальные перегружатели.

На автоматических линиях с приспособлениями-спутниками обрабатывают вентили, кассеты хлопкоуборочных комбайнов, выходной и всасывающий коллекторы автомобиля, катки трактора, рамы пишущих машин и ряд других деталей. Кроме того, применение спутников позволяет загрузку и разгрузку деталей выполнять одному рабочему.

Как видно, способы транспортирования деталей на автоматических линиях в значительной степени определяют их схему и конструктивную сложность. По способу передачи заготовок автоматические линии подразделяются на линии:

- со свободной передачей заготовок;
- с фиксированной передачей приспособлением-спутником.

При свободной передаче заготовок транспортные системы не фиксируют положение передаваемых заготовок во время их передачи

со станка на станок, и они могут частично или полностью терять свою ориентацию. Тогда, перед каждой загрузкой заготовки на очередную позицию обработки необходимо производить дополнительно ориентацию подаваемых заготовок. Это усложняет всю транспортную систему линии, однако при простоте ориентации (т. е. заготовки легко ориентируются) это усложнение может оказаться сравнительно незначительным.

Естественно стремление сохранить ориентацию обрабатываемых деталей в течение всего времени их нахождения и обработки на автоматической линии. Таким образом, заготовка ориентируется во время загрузки на автоматическую линию и сохраняет ориентированное положение все время. При этом возможно возникновение необходимости изменения положения заготовки в процессе обработки. Тогда могут быть применены кантователи и поворотные устройства. Для фиксации положения заготовок применяют специальные приспособления-спутники, которые могут служить либо только для транспортирования при передаче заготовок от станка к станку и передача их в рабочую зону осуществляется специальным устройством или роботом (который может и изменять положение заготовки), либо передаваемые заготовки поступают на обработку вместе с приспособлениями-спутниками. В последнем случае требования к точности приспособлений-спутников значительно возрастают, да и рабочее пространство станка должно позволить разместить на рабочей позиции приспособление-спутник. Однако как уже отмечалось, такие приспособления-спутники позволяют расширить диапазон деталей, обрабатываемых на автоматических линиях, и вопросы ориентирования обрабатываемых заготовок здесь решаются легче.

Транспортные устройства предназначены для передачи обрабатываемых деталей с одной позиции линии на другую и являются наряду с силовыми головками важнейшими механизмами автоматических линий. Степень совершенства конструкции транспортных устройств определяет не только надежность и производительность линий, но и точность обработки деталей на ней.

Конструкция и принцип работы транспортного устройства зависят от типа и размера обрабатываемой детали, а также характера протекания технологического процесса ее обработки. В свою очередь, выбранная конструкция транспортных устройств существенно влияет на компоновку автоматической линии.

Линии для неподвижных при обработке деталей, как правило, имеют сквозной транспорт с непосредственным перемещением объектов обработки органами транспортера. При этом наибольшее распро-

странение получили шаговые штанговые транспортеры с собачками (рис. 5.6, *а*). При работе они совершают простейшее перемещение – периодическое возвратно-поступательное. На штанге (обычно из полостовой стали), проходящей через весь заблокированный участок линии, собачки закреплены шарнирно. Под действием пружин или противовесов собачки стремятся подняться над уровнем штанг и занять положение, показанное на рисунке. В момент возврата транспортера давление зафиксированных на позициях обрабатываемых деталей на тыльную часть собачек заставляет их утопать. Освободившись от этого давления, собачки занимают исходное положение и готовы для захвата очередной детали при движении транспортера вперед.

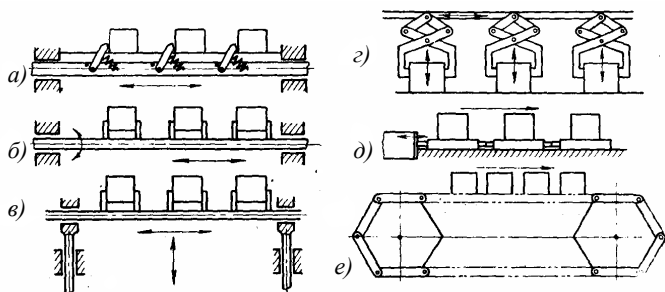


Рис. 5.6 – Схемы шаговых транспортеров:
а – с собачками; *б* – с флажками; *в* – грейферный;
г – рейнерный; *д* – толкающий; *е* – цепной

Существенное преимущество шагового штангового транспортера с собачками – простота движения и соответствующая ей простота привода, который выполняется чаще от гидро- или пневмоцилиндра. Весьма просто осуществляется и базирование штанг транспортера; обычно они движутся на роликах, в качестве которых нередко используют шариковые подшипники, которые иногда выполняются с надежными на них бандажиками с бортом.

Недостаток штанговых шаговых транспортеров с собачками – отсутствие фиксированной ориентации детали в процессе транспортирования и определенности координат после перемещения. Для обеспечения определенного положения детали в конце хода транспортера скорость его движения приходится снижать и тем удлинять цикл действия линии. Известна, правда, попытка устранить этот недостаток введением встречных подпружиненных упоров. Упоры в момент возврата транспортера в исходное положение утопают под действием

планок-кулачков. Планки имеют горизонтальные участки, обеспечивающие утопленное положение упоров. При ходе транспортера вперед планки освобождают упоры, и те ограничивают ход перемещаемой детали вперед. Однако такое устройство загромождает рабочую зону и усложняет приспособление, поэтому распространения не получило.

Шаговые штанговые транспортеры с флажками (рис. 5.6, б) позволяют достаточно определенно фиксировать обрабатываемую деталь и при перемещении, и по координате в конце перемещения. Точность остановки детали на позиции после транспортирования здесь определяется главным образом допуском на зазор в зеве флажков и допуском на расстояние между флажками; она значительно выше, чем у транспортеров с собачками, поэтому скорости движения для флажковых транспортеров допускаются большие. Однако шаговые штанговые транспортеры с флажками имеют свои недостатки. Движение транспортирующей штанги получается сложнее: кроме возвратно-поступательного перемещения в направлении транспортирования, необходимы еще возвратные повороты штанги с флажками в плоскости, перпендикулярной к ходу транспортирования. Прямой ход совершается с опущенными, возвратный – с поднятыми флажками. Детали перемещаются только при ходе вперед. Возвратные повороты штанги с флажками требуют введения дополнительного привода вращения штанги. Усложняется также управление, потому что требуется большее согласование фаз поворотов штанги с работой фиксирующих устройств. Для надежной работы транспортера флажки должны быть достаточно жесткими, а поворачивающаяся штанга с флажками после поворота, особенно после поворота в рабочее положение, должна быть заперта; самопроизвольный подъем флажков должен быть исключен.

Обычно флажковые являются верхними транспортерами. Штанги флажковых транспортеров обычно выполняются круглыми, опоры для них делаются в виде желобчатых роликов на неподвижных осях. В отдельных флажковых транспортерах применены опоры скольжения в виде втулок. Однако они быстро и главное неравномерно изнашиваются, в результате чего штанги перекашиваются, перемещаются рывками и флажки занимают неправильное положение.

Известны попытки совместить привод обоих возвратных движений штанги флажкового транспортера – прямолинейного и вращательного. Практика эксплуатации показала, что такое совмещение не обеспечивает длительной безотказной работы транспортера, поэтому совмещенный привод применяется лишь в неответственных случаях.

Значительно реже применяются грейферные шаговые транспортеры (рис. 5.6, в). У грейферных транспортеров штанга поочередно совершает два возвратно-поступательных перемещения в перпендику-

лярных направлениях и с чередованием фаз. Объекты обработки перемещаются посредством жестких флажков. Конструктивное исполнение таких транспортеров обычно получается сложным. Они применяются только в тех случаях, когда подход к захватываемым деталям может быть произведен лишь с определенной стороны, причем посадка транспортируемых деталей на позиции такова, что для осуществления перемещения детали с позиции на позиции транспортер перед перемещением должен поднять деталь вверх.

Грейферные шаговые транспортеры применяют также в случаях, когда обрабатываемые детали неустойчивы и во время транспортирования их приходится крепить и передавать в зажимы рабочих позиций в закрепленном положении.

Рейнерные шаговые транспортеры (рис. 5.6, з) представляют собой усложненный вид грейферных транспортеров. Кинематика их та же; детали перемещаются не флажками, а посредством закрепленных на штанге захватов, которые обычно расположены сверху. В дополнение к замечаниям, сделанным в отношении этих транспортеров, укажем, что они требуют громоздких надстроек над линиями. Для использования на линиях, где детали при обработке неподвижны, они могут быть целесообразны лишь в указанных выше случаях, когда захватывающие органы имеют простейшее конструктивное оформление и не требуют привода перемещений каждый в отдельности.

Однако для автоматических линий, на которых должны обрабатываться валы, особенно сложной формы, применение рейнерных транспортеров в ряде случаев оправдано, но эффективность их зависит от простоты и надежности устройства рейнеров. Примером линии с рейнерным транспортером может служить линия фирмы Нортон для шлифования шеек коленчатых валов автомобильных двигателей.

Толкающие шаговые транспортеры (рис. 5.6, д) являются простейшими. В них толкатель (обычно шток гидро- или пневмоцилиндра) непосредственно воздействует на последнюю деталь их сплошной кильватерной колонны. Вся колонна при ходе толкателя двигается одновременно за счет давления вплотную расположенных деталей друг на друга.

Если масса колонны деталей велика, толкающий транспортер выполняют с двумя толкателями, работающими от отдельных цилиндров: в дополнение к основному толкателю с большим ходом штока (на шаг транспортирования) применяют второй вспомогательный с коротким ходом, который помогает преодолеть инерцию массы колонны деталей в момент трогания. Недостаток толкающих транспортеров заключается в том, что фиксация деталей колонны вследствие накоп-

ления ошибок в линейных размерах не может производиться одновременно. Приходится производить фиксацию деталей после отвода толкателя и притом последовательно, начиная с самой дальней от него детали; из-за этого удлиняется цикл действия линии.

Толкающие транспортеры, несмотря на указанный недостаток, благодаря их простоте найдут в будущем более широкое применение, особенно в линиях для тяжелых и горячих работ, когда точность фиксации невелика, а требования к простоте устройства повышенные.

Цепные транспортеры (рис. 5.6, *е*) имеют широкое применение в качестве средств непрерывного транспортера. Они используются с этой целью в самых различных автоматических линиях. Например, цепные транспортеры СКБ-6 установленные на линии ГАЗа для шлифования поршневых пальцев и линии для шлифования валов, а также в качестве магистральных на линиях ГПЗ для обработки колец подшипников качения [8].

Однако, в качестве шаговых цепные транспортеры применяются лишь в единичных случаях. Базирование деталей, перемещаемых звеньями цепи на позициях, практически недостижимо ни при какой точности. К тому же первоначальное рассогласование непрерывно растет и влияет на неточность базирования накопленной ошибкой (вследствие износа шарниров цепи).

Можно указать на ряд затруднений, имевших место при эксплуатации линий с шаговыми цепными транспортерами, перемещающими детали флажками звеньев цепи. Совершенно неприемлемо применение шаговых цепных транспортеров в случае их связанной работы, когда деталь должна быть переброшена с флажка, крючка или люльки звена одного цепного транспортера на аналогичный элемент звена другого цепного транспортера.

Однако один вариант использования цепного транспортера в качестве шагового возможен, хотя и для ограниченных случаев. Он состоит в том: 1) чтобы перемещать свободно лежащие на звеньях цепи детали, 2) чтобы на позициях линии предусматривать выдвижные упоры и 3) чтобы шаг перемещения звеньев цепи делать больше шага между позициями на величину, заведомо большую максимальной накопленной ошибки рассогласования. Тогда все перемещаемые детали будут досланы до упоров, а на величину рассогласования каждая деталь, остановленная упорами, проскользнет по несшему ее звену цепного транспортера. Так как в этом варианте положение перемещаемой детали на звене цепи фиксировано только силами трения, он может находить применение лишь для перемещения достаточно тяжелых деталей.

Транспорт линий для обработки деталей, перемещаемых вместе с приспособлением-спутником, представляет собой усложненную транспортную систему. В общем случае такая система имеет транспортер прямого перемещения, транспортер возвратного перемещения и два связывающих их транспортных устройства, которые передают объект перемещения – приспособление-спутник – с прямого транспортера на возвратный и обратно.

Транспортеры прямого перемещения приспособлений-спутников, несущих объект обработки, выполняются, как правило, шаговыми. Транспортеры же возвратных перемещений и пересаживающие устройства имеют ряд особенностей, а часто отличаются и по принципу действия.

В отечественной практике построения линий наибольшее распространение получили компоновки, в которых транспортеры возвратного перемещения приспособлений-спутников расположены под транспортером прямого перемещения внутри станин автоматов линии. Уже сама такая компоновка во многом предопределяет особенности и устройства системы транспортера.

5.4. Вспомогательные механизмы автоматических линий

Автоматические линии для выполнения своих функций, т. е. для обеспечения нормальной работы нуждаются в целом ряде вспомогательных механизмов, которые обеспечивают надлежащие условия обработки деталей и бесперебойность осуществления всего технологического процесса.

5.4.1. Механизмы зажима и фиксации обрабатываемых деталей

Помимо силовых узлов и транспортных устройств весьма важными механизмами автоматических линий являются приспособления для зажима и фиксации деталей. Выбор правильного метода базирования деталей и закрепление их с требуемым усилием зажима обеспечивают точность обработки и надежность работы линии. Применение быстродействующих зажимных и фиксирующих механизмов позволяет существенно сократить вспомогательное время и повысить производительность линии.

В зависимости от конструкции обрабатываемой детали и способа компоновки линии приспособления подразделяют на две группы: неподвижные (стационарные) и перемещаемые вместе с деталью, т. е.

приспособления-спутники. В стационарных приспособлениях закрепляют как детали, которые являются неподвижными в процессе их обработки, так и детали, получающие при обработке поступательное или вращательное движение. Стационарные приспособления используют на одном из станков линии и обычно для него проектируются. Эти приспособления на двух соседних станках линии могут иметь конструктивные отличия. Приспособления-спутники используют на всех позициях автоматической линии участка линии, конструкции их строго одинаковы.

Для корпусных деталей в качестве базовых поверхностей считают плоскость и два отверстия. Детали зажимают сверху, в ряде случаев поджимают снизу. Верхнее расположение зажимного устройства несколько упрощает конструкцию приспособления и его обслуживание. Однако поджим детали к планкам, по которым она скользит при перемещении от позиции к позиции, и которые изнашиваются вследствие этого, приводит с течением времени к постепенному опусканию детали и нарушению точности обработки. Кроме того, попадание стружки на направляющие может привести к погрешности базирования детали. В случае верхнего зажима усилие зажима воспринимает вся деталь, что может привести к деформации при недостаточной ее жесткости. Этих недостатков лишена схема базирования детали, при которой закрепление ее осуществляется с поджимом к верхней плоскости. Здесь поверхности, к которым поджимаются детали или спутник, всегда остаются чистыми, износ их практически отсутствует, а нагрузки от зажимных усилий не деформируют деталь.

В стационарных приспособлениях как фиксация, так и зажим детали в большинстве случаев осуществляется от гидравлических или пневматических механизмов, что обеспечивает постоянство силы зажима независимо от колебания припусков на обработку. При этом на каждом станке в начале каждого цикла осуществляется фиксация и закрепление очередной детали. В приспособлениях-спутниках детали закрепляют один раз, обычно это выполняют с помощью механических систем, усилие зажима создают электромеханическим ключом.

5.4.2. Агрегаты накопления и выдачи деталей

Устройства для накопления и выдачи деталей широко применяют в автоматических линиях.

Конструкции накопителей зависят от формы и размеров обрабатываемых деталей, а также принципа работы и компоновочных особенностей линии.

Для создания заделов на линиях для обработки корпусных деталей широкое применение получили накопители транзитного и тупикового типов, выполненные как обычные шаговые транспортеры. Скорость перемещения такого транспортера-накопителя в несколько раз выше скорости транспортера, передающего детали от позиции к позиции.

Для накопления и выдачи деталей типа тел вращения находят применение бункерные и магазинные устройства различных типов. Причем в последних детали перемещаются без потери ориентации.

На рис. 5.7 показан магазин для корпусных деталей, у которого транспортеры 1, 3 и 8 служат для перемещения деталей при работе обоих участков линии, а транспортеры 4, 5 и 6 – для накопления или выдачи деталей при остановке одного из участков. Перед подачей в магазин и после выдачи из него детали устанавливаются в правильное положение с помощью поворотных устройств 2 и 7. Для накопления и выдачи деталей типа колец и втулок применяют многодисковые магазины (рис. 5.8). Диски 1, 2, 3, 4 представляют собой спиральные лотки, соединенные последовательно. На центральном валу 5 закреплены щеткодержатель 6 со щетками 7 из капроновых нитей. При вращении щеток детали в лотках катятся от периферии к центру диска, затем проваливаются в соединительный лоток и попадают на следующий диск. Качение детали в лотке осуществляется по ребру опорной полосы 8, приваренной к решетчатому основанию 9 диска.

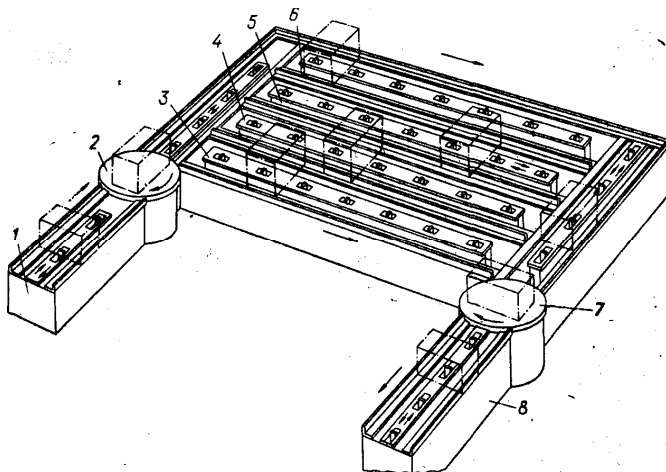


Рис. 5.7 – Магазин-накопитель автоматической линии

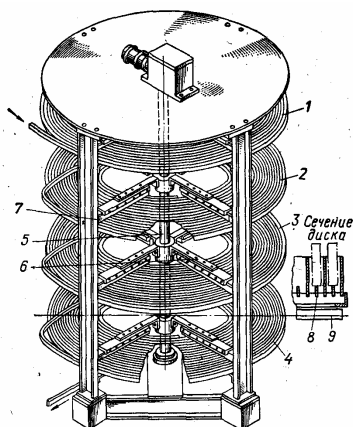


Рис. 5.8 – Многодисковый магазин

Разработаны и другие конструкции для накопления различных деталей массового производства разных типоразмеров. К сожалению, их приходится конструировать и изготавливать для каждой конкретной детали. Их принцип работы и спроектированные конструкции приводятся в специальной литературе.

В качестве агрегатов накопления и выдачи деталей на линиях с гибкими связями широко применяются бункерные устройства, ряд которых описан в разделе 2 пособия, а также специальные вибрационные накопители, описанные в [22].

5.4.3. Механизмы изменения положения деталей

В автоматических линиях со сложными структурными схемами, а также в прямоточных линиях, предназначенных для обработки деталей с разных сторон, широко применяют различные механизмы для изменения положения деталей. К их числу относят кантователи, предназначенные для поворота транспортируемых деталей вокруг горизонтальной оси, и различные устройства для поворота деталей вокруг вертикальной оси. Ряд таких механизмов нормализован и выпускают их как самодействующие узлы для встраивания в автоматические линии.

5.4.4. Устройства для отвода стружки

При обработке деталей из проката количество стружки составляет в среднем 15 % веса заготовок, при обработке поковок – около 20 %; чугунных отливок – 25 %; отливок из цветных металлов – до 60 %. В результате количество стружки, образующейся при обработке на станке за каждую смену, составляет несколько килограмм. Поэтому для нормальной работы станков стружка должна своевременно отводиться автоматически из зоны обработки.

Наиболее просто решается задача транспортировки сыпучей стружки, которая образуется при обработке деталей из хрупких мате-

риалов (чугуна, бронзы, алюминия). Для ее транспортировки широко применяются ленточные, скребковые, скребково-штанговые, цепные, шнековые и другие транспортеры.

При обработке стальных деталей образуется выюнкковая и сливная стружка. Сливная стружка особенно неудобна для транспортирования. Она занимает большой объем при малой плотности. Чем крупнее выюнкковая стружка, тем труднее она удаляется со станка. Высокая сцепляемость выюнков между собой, способность проникать в щели, обволакиваться вокруг выступающих частей механизмов, инструмента и т. д. заставляет применять транспортирующие устройства, способные создавать большие тяговые силы с принудительным захватом стружки. Такими свойствами обладают, например, одно- и двухвинтовые шнековые транспортеры.

Следует иметь в виду, что удаление стружки от отдельных станков и от станков автоматических линий имеет некоторое отличие, обусловленное объемами удаляемой стружки и длиной транспортирования. Но в любом случае наиболее рациональным является применение различных транспортеров.

Задача удаления стружки от групп станков автоматических линий имеет специфическую особенность, поскольку для ее решения приходится создавать транспортеры длиной в несколько десятков метров, а это создает дополнительные трудности в отношении приводных механизмов. Масса транспортируемой стружки значительно больше, чем у отдельных станков, больше вероятность застревания, заклинивания транспортеров, что предъявляет к их надежности весьма высокие требования.

Рассмотрение конструкций автоматических линий показывает, что в зависимости от конкретных условий, определяемых их компоновкой и организацией труда на них, находят применение три следующие системы отвода и транспортирования стружки от автоматических линий в общецеховую транспортную систему удаления стружки.

1. Транспортирование стружки в контейнерах, когда стружка из отдельных станков через окна в станине высыпается в соответствующую емкость (ящик, тележку). Такая система менее совершенная, чем автоматизированная. Она применяется главным образом на давно работающих автоматических линиях.

2. Транспортирование стружки транспортерами, проходящими вне линии и имеющими отводящие конвейеры того или иного типа от отдельных станков. Подобная система транспортирования стружки применяется на линиях, где удастся использовать ранее имевшиеся

цевые подземные транспортные устройства, и остается только предусмотреть отвод стружки из приемников станков и линий.

3. Транспортирование стружки транспортерами, встроенными непосредственно в линию или проходящими под ней в специальных туннелях, Использование такой системы транспортирования исключает необходимость иметь на каждом из рабочих агрегатов линии устройства, отводящие стружку на общий транспортер, так как последний расположен непосредственно под зонами обработки на самих этих агрегатах. Отсутствие необходимости в поперечных транспортерах на каждом из агрегатов обусловило применение этой системы транспортирования стружки на многих новейших автоматических линиях, где транспортер стружки встроен непосредственно в линию или проходит под ней в канаве под станками.

Выбор той или иной конструкции подобного встроенного транспортера, а также его расположения (сквозь стенки линии или в канаве под станками) зависит от конкретных условий работы линии и ее компоновки (наличие смазочно-охлаждающей жидкости, нижнего транспортера для возврата приспособлений-спутников, форма и размеры отводящейся стружки). В двух последних транспортных системах в качестве транспортных средств применяются транспортеры различных типов: ленточные, скребковые, шнековые, вибрационные, ершово-штанговые.

Ленточные транспортеры обладают высокой производительностью, позволяют транспортировать стружку на большие расстояния, отличаются плавностью и бесшумностью работы. Так, на ЗИЛе в ряде цехов применяются магистральные ленточные транспортеры, в которые несколькими линейными транспортерами стружка подается от агрегатных станков и автоматических линий. Например, в цехе V-образных двигателей работает ленточный транспортер длиной 189 м, установленный в тоннеле под станками.

В целом, однако, в машиностроении ленточные транспортеры нашли ограниченное применение из-за конструктивной сложности, высокой первоначальной стоимости, малой долговечности ленты и необходимости устройства бетонированных тоннелей.

Скребокые транспортеры применяются для транспортирования мелкой металлической стружки. Эти транспортеры удаляют стружку за пределы автоматических линий и цехов на расстояние до 100 м. Скребокые транспортеры на таких заводах, как ЗИЛ, АЗЛК, используются в качестве линейных и магистральных. Производитель-

ность их зависит от ширины лотка и высоты скребков, скорости их движения и составляет до 3000 кг/ч, металлоемкость 1 погонного метра – около 40 кг.

Транспортеры надежны при транспортировании мелкой стружки, но при попадании в них посторонних предметов могут выйти из строя. Этот тип транспортера может перемещать стружку горизонтально и вертикально. При вертикальном подъеме стружки скребки выполняются в виде ковшей. Вертикальные скребковые транспортеры обычно имеют небольшую длину – до 5 м. Скребковые транспортеры могут выполняться цепными и штанговыми с шарнирными скребками.

Скребково-штанговые транспортеры применяются в основном для перемещения чугуновой стружки.

В последние годы в автоматических линиях все чаще применяются шнековые транспортеры, состоящие из винта с приводом и желоба, охватывающего винт. При вращении винта, расположенного по оси желоба, винт проталкивает по этому желобу стружку, которая насыпается через загрузочные патрубки. Шнековые транспортеры используются преимущественно для удаления сливной стружки и применяются в качестве линейных и магистральных транспортеров на длине транспортировки до 100 м. При транспортировании стружки от станков, работающих с охлаждением эмульсией или сульфореолом, желоба делаются герметичными и с небольшим уклоном для стока жидкости.

В последнее время для удаления стружки от автоматических линий находят применения также вибрационные транспортеры, которые представляют собой вибрирующий желоб на упругих опорах. Принцип их работы и конструктивное исполнение рассмотрены в разделе 2 настоящей книги. В качестве приводов таких транспортеров используются электромагнитные или механические вибраторы.

Как известно, наибольшую трудность для отвода и транспортирования представляет витая сливная стружка. В настоящее время разработаны конструкции специальных ершово-штанговых транспортеров, предназначенных для ее транспортирования. Транспортер представляет собой металлический желоб с приваренными шипами, внутри которого совершает возвратно-поступательное движение ершовой штанга. Совершая рабочий ход, штанга ершами увлекает находящуюся в желобе стружку и проталкивает ее вперед. При обратном движении штанга проскальзывает по стружке, удерживаемой шипами желоба.

Основным недостатком обычных ершово-штанговых транспортеров является возможная концентрация на дне желоба мелкой

стружки, которая совершает вместе со штангой возвратно-поступательное движение, не продвигаясь вперед. Это приводит к забивке и заклиниванию направляющих.

Импульсные транспортеры для автоматических линий и цехов хорошо себя зарекомендовали для удаления стружки из станков. Они представляют собой металлический лоток, совершающий возвратно-поступательное движение с разными скоростями, т. е. это разновидность вибрационного лотка с продольным асимметричным движением, рассмотренным в разделе 2. Такие транспортеры могут быть выполнены длиной до 100 м и шириной до 1 м. При больших длинах транспортировки транспортер рекомендуется делать из секций длиной 15–20 м с индивидуальным приводом. При этом, ход секций берется разным, с таким расчетом, чтобы они работали с пересыпкой с одного лотка на другой. При такой конструкции каждая секция работает самостоятельно с наименьшими силами на разрыв. В импульсных транспортерах для автоматических линий в качестве привода может быть использован гидроцилиндр, установленный в начале или в конце линии, который отводит лоток на 50–100 мм. Лоток возвращается в исходное положение при помощи пружин или самим приводом.

В действующих автоматических линиях часто применяется также комбинация из нескольких типов транспортных средств для удаления стружки. Например, в автоматической линии для обработки корпусов вентиля работают шнековые и скребковые транспортеры одновременно.

6. НАДЕЖНОСТЬ АВТОМАТОВ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Все потенциальные возможности автоматов и автоматических линий относительно повышения производительности машин и производительности труда человека можно реализовать лишь при условии, что механизмы, и устройства, выполняющие функции человека, будут иметь высокую надежность в работе.

Надежность есть свойство объектов выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Таковыми функциями для автоматов и автоматических линий является выполнение технологических процессов обработки, контроля, сборки, которые обеспечивают получение продукции в требуемом качестве и количестве. Поэтому надежность определяется способностью к бесперебойному выпуску годной продукции в соответствии с производственной программой в течение всего срока службы.

Технологические процессы, конструкции механизмов и устройств, компоновка автоматов и линий разрабатывают из условия их бесперебойной работы. Однако в реальных условиях эксплуатации неизбежно возникновение неполадок в работе, простоев и потерь производительности. Чем чаще неполадки и длительность их устранения, тем выше разность между цикловой (теоретической) и фактической производительностью. Таким образом, надежность автоматов и автоматических линий характеризует, прежде всего, степень реализации возможностей производительности, заложенной в технологических процессах и конструкциях машин.

Надежность автомата или автоматической линии определяется надежностью составляющих элементов – механизмов, устройств, инструментов. Автомат или автоматическая линия может иметь два состояния:

- 1) работоспособное, когда она может выполнять заданные функции – выпускать годную продукцию;
- 2) неработоспособное, когда она из-за неисправностей механизмов, устройств или инструмента не может выпускать годную продукцию.

Нарушение работоспособности и переход автомата или линии из работоспособного состояния в неработоспособное называют отказом.

Отказы бывают двух типов:

1) отказы элементов – когда не срабатывает какой-либо конструктивный элемент (механизм, устройство, инструмент), не выполняется рабочий цикл, продукция не выдается;

2) отказы параметров – когда формально все механизмы и устройства срабатывают, рабочий цикл выполняется, но выданная продукция оказывается бракованной.

Отказы элементов характеризуют **надежность функционирования** (срабатывания), отказы параметров – **технологическую (параметрическую) надежность**, которая зависит прежде всего от стабильности технологического процесса.

6.1. Причины отказов в работе

Современная наука о машинах, в первую очередь теория надежности машин, рассматривает отказы как свойство процессов функционирования машин, неизбежное следствие нестабильности внешних воздействий и рабочих параметров технологических процессов и конструктивных элементов. Поэтому при расчете, конструировании и эксплуатации автоматических линий основная задача заключается в том, чтобы свести к допустимому минимуму количество отказов, максимально сократить длительность их обнаружения и устранения.

Отказы механизмов и устройств возникают при неблагоприятном воздействии разнообразнейших факторов, которые можно разделить на две основные категории:

1. Обратимые, циклически действующие факторы, которые проявляются в любом интервале срока службы машины, начиная с момента ввода ее в эксплуатацию.

2. Необратимые, монотонно действующие факторы, которые проявляются лишь постепенно и тем более, чем длительнее эксплуатация машин.

К циклически действующим факторам относятся: а) нестабильность исходных материалов, их геометрических размеров и формы, твердости, физико-химических свойств и т. д.; б) погрешность изготовления и сборки отдельных конструктивных элементов, нестабильность скорости и величины рабочих перемещений исполнительных механизмов; в) колебания температуры и давления рабочих жидкостей и газов, температуры окружающей среды; г) неодинаковая величина жесткости узлов машин, усилий обработки, сил трения, зажимных усилий; д) нестабильность положения обрабатываемых изделий в процессе их транспортирования и обработки.

К монотонно действующим факторам относятся: а) износ механизмов и сопряжений; б) потеря усталостной прочности деталей;

в) коррозия поверхностей; г) разрегулирование механизмов; д) загрязнение и засорение рабочей зоны; е) изменение геометрической формы (коробление, деформирование и т. д.).

Нестабильность внешних условий и рабочих параметров автоматов и линий приводит к тому, что при каждом рабочем цикле благоприятное сочетание этих факторов означает нормальное срабатывание и выдачу годной продукции, неблагоприятное – отказ элемента или параметра. Монотонные процессы изнашивания, разрегулирования, засорения и т. д. являются дестабилизирующими факторами, которые ухудшают условия нормального срабатывания механизмов и устройств, повышают вероятность их отказов в работе.

6.2. Показатели надежности

Явления работоспособности автоматов и автоматических линий чрезвычайно сложны и многообразны, поэтому надежность нельзя полностью охарактеризовать каким-либо единым показателем. Так как нарушение и восстановление работоспособности, возникновение и устранение отказов являются случайными процессами, все количественные показатели надежности имеют вероятностный характер.

Количественные значения показателей надежности определяются, как правило, путем проведения испытаний на надежность элементов и систем в лабораторных или производственных условиях, их математической обработки методами теории вероятности и математической статистики. Тем самым определяется статистическое распределение исследований случайной величины и ее характеристики – математическое ожидание, среднее квадратичное отклонение и т. д. Опыт исследований технических систем различного вида показывает, что статистические распределения случайных величин – показателей безотказности и ремонтпригодности – имеют сходный характер. Это позволяет аппроксимировать статистические распределения при помощи математических зависимостей, называемых математическими моделями отказов и восстановлений. Математические модели, описывающие те или иные показатели надежности, являются типовыми для различных технических систем или их элементов.

Возникновение отказов, их обнаружение, устранение и предупреждение является случайными процессами, происходящими во времени. Поэтому все количественные показатели надежности имеют вероятностный характер и связывают между собой, как правило, в качестве аргумента – параметр времени (безотказной работы или восстановления работоспособности) и в качестве функции – вероятность состояния (работоспособное или неработоспособное). Согласно приведенному определению надежность автоматических линий обусловли-

вается их безотказностью, ремонтпригодностью, а также долговечностью элементов – механизмов, устройств, инструментов. Поэтому показатели надежности можно разделить на две категории:

1) частные показатели, которые оценивают только одну качественную сторону надежности, например только безотказность или только ремонтпригодность;

2) обобщенные, комплексные показатели, которые оценивают, например, и безотказность, и ремонтпригодность.

Показатели безотказности. Безотказность – это свойство системы или элемента сохранять работоспособность в течение некоторого времени без вынужденных перерывов в работе, т. е. без отказов. Отсюда важнейшим показателем является вероятность P того, что система или элемент сохраняет свою работоспособность в течение регламентированного промежутка времени t . Например, вероятность того, что автомат через 30 мин после включения останется работоспособным, равна 0,8, обозначают $P(30) = 0,8$. Нетрудно видеть, что эта вероятность зависит от того, насколько велико время t . Так, $P(30) > P(40)$, потому что машина, проработавшая 30 мин безотказно, может отказать в промежутке 30–40 мин.

Функциональную зависимость вероятности безотказной работы P от длительности времени t называют функцией надежности. Многочисленные эксплуатационные исследования различных автоматов и линий показывают, что статистическая функция надежности носит монотонно убывающий характер (рис. 6.1). Результаты статистических исследований аппроксимируются обычно с помощью теоретических кривых.

Для функции надежности наиболее типовая аппроксимирующая зависимость имеет вид:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \omega(t) \cdot dt}, \quad (6.1)$$

где $\omega(t)$ – параметр потока отказов, представляющий собой вероятность возникновения отказа в единицу времени.

Величина, обратная параметру поток отказов, есть среднее время безотказной работы:

$$m_{cp} = 1/\omega(t). \quad (6.2)$$

Величины $\omega(t)$ и m_{cp} как и $P(t)$, являются показателями безотказности и связаны между собой весьма простыми соотношениями (6.1) и (6.2).

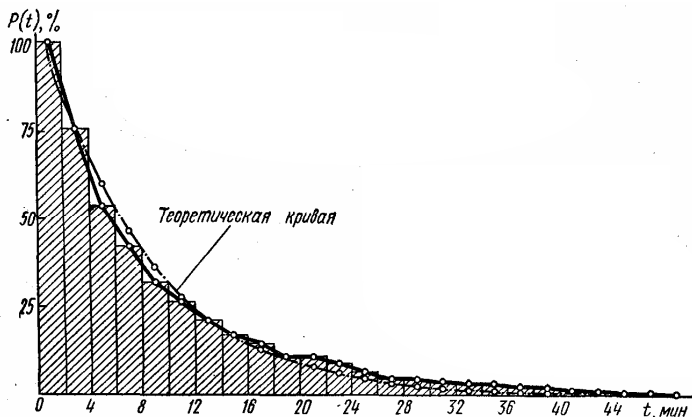


Рис. 6.1 – Функция надежности автоматической линии

Параметр потока отказов $\omega(t)$ также является, показателем безотказности, характеризую их частоту при эксплуатации линии. Он численно равен среднему математическому ожиданию количества отказов в единицу времени. Если время t выражено в рабочих циклах, величина $\omega(t)$ означает вероятность возникновения отказа при каждом срабатывании механизма или устройства, а также линии в целом.

Поток отказов в процессе эксплуатации линии не остается постоянным во времени, достигая наибольшей величины в периоды пуска и освоения, а также в предремонтные периоды. Однако длительность эксплуатационных исследований, при которых определяются показатели надежности, обычно намного меньше, чем длительность этих периодов. За время исследований (обычно 2–3 недели) не успевает измениться сколь-нибудь существенно ни степень изношенности оборудования, ни квалификация наладчиков. Поэтому в первом приближении всегда можно считать, что параметр потока отказов есть величина условно постоянная для некоторого интервала длительности эксплуатации.

Параметр времени t в формулах (6.1) (6.2) является обобщенным и его можно выразить как в единицах календарного времени (минутах, часах), так и в количестве срабатываний (рабочих циклов). В последнем случае параметр потока отказов $\omega(t)$ характеризует среднюю вероятность отказа при каждом очередном срабатывании, а среднее время безотказной работы m_{cp} – среднее количество циклов между отказами.

Приведем некоторые свойства функции надежности: $P(0) = 1,0$ – в момент пуска автомат или линия являются исправными; $P(\infty) = 0$ – абсолютно безотказных автоматов или линий нет, любая машина рано или поздно имеет отказы в работе.

Этим условиям функция (6.1) удовлетворяет при любых значениях ω .

Для автоматов и автоматических линий оценка безотказности по календарному времени работы недостаточна, так как при этом не учитывают интенсивность работы машин – количество рабочих циклов и выпускаемой продукции в единицу времени. Например если один автооператор имеет среднее время безотказной работы $m_{cp} = 45$ мин, а второй $m_{cp} = 30$ мин, то, казалось бы, безотказность первого выше. Однако если первый установлен на автомате с длительностью рабочего цикла $T = 1,5$ мин, а второй $T = 0,5$ мин, то, очевидно, безотказность второго выше (среднее количество рабочих циклов между двумя отказами составляет $25/0,5 = 50$, в то время как у первого только $45/1,5 = 30$).

Показатели безотказности машин не являются стабильными во времени. Так, в период пуска и освоения интенсивность от $\omega(t)$ высока из-за неосвоенности технологии, наличия конструктивных дефектов, недостаточной квалификации обслуживающего персонала (рис. 6.2, зона I). Постепенно интенсивность отказов снижается, наступает период стабильной эксплуатации, когда показатели надежности относительно стабильны (рис. 6.2, зона II).

Дестабилизирующими факторами этого равновесия являются, с одной стороны, повышение квалификации обслуживающего персонала, с другой – процессы изнашивания и потери усталостной прочности. Затем наступает период прогрессирующего износа (рис. 6.2, зона III), когда интенсивность отказов возрастает настолько, что машина выводится в планово-предупредительный ремонт (ППР).

На этом же графике (рис. 6.2) показаны суммарная длительность межремонтного периода N_1 и длительность планово-предупредительного ремонта.

Показатели ремонтпригодности. Ремонтпригодность – это свойство систем и элементов, заключающееся в их приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов путем

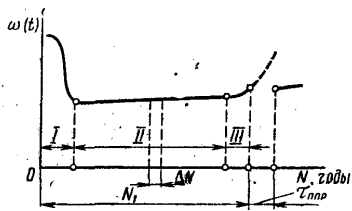


Рис. 6.2 – Изменение интенсивности отказов машины в процессе ее эксплуатации

технического обслуживания и ремонтов. Так как автоматические линии могут находиться в двояком состоянии: эксплуатации (с чередованием периодов безотказной работы и простоев) и планово-предупредительного ремонта (только регламентируемые простои), то их ремонтпригодность оценивают двумя группами показателей.

Ремонтпригодность автоматов и автоматических линий в процессе их эксплуатации оценивают длительностью единичных простоев для обнаружения, устранения и предупреждения отказов. Простои для обнаружения и устранения отказов носят случайный нерегламентированный характер как по длительности, так и по времени возникновения; их можно оценить средним временем единичного простоя θ_{cp} для обнаружения и устранения отказов.

Для предупреждения отказов в автоматах и автоматических линиях широко используют предварительный прогрев при запуске на холостом ходу; профилактические осмотры механизмов и инструмента, их подналадку; уборку и очистку от стружки и загрязнений; планово-предупредительную смену инструмента и т. д. Эти простои, как правило, регламентированы по срокам (обычно в начале и в конце смены), но являются случайными по продолжительности. В этом случае ремонтпригодность можно определить средней длительностью подготовительно-заключительного времени за рабочую смену.

Во многих случаях ремонтпригодность линии удобно оценивать в процессе ее эксплуатации одним показателем – средним временем единичного простоя для предупреждения, обнаружения и устранения отказов, суммируя воедино как случайные простои, так и регламентированные.

Ремонтпригодность во время ППР можно оценить их средней длительностью с дифференциацией по видам ремонта: текущий, средний, капитальный. Известны и другие показатели оценки ремонтпригодности.

Следует заметить, что понятие “ремонт”, применяемое в терминологии по теории надежности, несколько отличается от принятого в машиностроении и подразумевает любые действия, направленные на восстановление работоспособности систем и их элементов (в том числе замену и регулировку инструмента, подналадку, очистку и т. д.).

Показатели долговечности. Долговечность – это свойство систем и элементов сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта. Предельное состояние элементов (механизмов, устройств, инструмента) определяется обычно невозможностью дальнейшего их использования по причине потери технических качеств (точности обработки, режущих свойств, стабильности перемещений, жесткости и др.).

Важнейшим критерием оценки долговечности является величина R – технический ресурс, равный суммарной наработке за весь срок службы – от ввода в эксплуатацию – до ее прекращения по достижении предельного состояния. Ресурс может быть выражен как в чистом проработанном времени, так и в суммарном количестве отработанных рабочих циклов (выпущенных изделий).

Комплексные показатели надежности. Выше показано, что для автоматов и автоматических линий надежность важна как мера реализации возможностей выпуска качественной продукции, заложенных в технологии и конструкции; поэтому для оценки работы равнозначно, имеет ли линия из-за отказов механизмов и устройств за смену 5 простоев по 10 мин или 10 простоев по 5 мин. В обоих случаях потери производительности и уровень эксплуатационной надежности одинаковы, поэтому показатели безотказности и ремонтпригодности в процессе эксплуатации являются равноправными, характеризуя различные аспекты надежности.

Однако сравнение только показателей безотказности или только показателей ремонтпригодности еще не позволяет сделать вывод, какие из сравниваемых механизмов или систем более надежны в работе. Например, имеется два варианта конструкции автооператора к станкам сходного технологического назначения. У одного среднее время безотказной работы $m_{cp1} = 30$ мин, среднее время восстановления работоспособности $\Theta_{cp1} = 3$ мин, длительность рабочего цикла автомата $T = 0,5$ мин. У второго соответственно $m_{cp2} = 40$ мин, $\Theta_{cp2} = 5$ мин, $T = 1$ мин. Очевидно, сами по себе эти данные не могут дать ответа на вопрос, какая конструкция более надежна, потому что у первого автооператора интенсивность отказов выше, но длительность обнаружения и устранения отказов меньше; кроме того, имеет значение частота их срабатывания.

Следовательно, необходимы такие обобщенные показатели надежности, которые учитывают все эти факторы вместе и дают однозначный ответ. Одним из важнейших параметров теории производительности являются собственные внецикловые потери – собственные простои, приходящиеся на одно обработанное изделие. Если за произвольный промежуток времени Θ суммарная длительность простоев для предупреждения, обнаружения и устранения отказов составляет $\Sigma\Theta_c$, а суммарное чистое время работы Θ_p , то собственные потери на единицу продукции определяются из зависимости:

$$\Sigma t_c = \frac{\Sigma \Theta_c}{\Theta_p} T, \quad (6.3)$$

где T – длительность рабочего цикла линии, в течение которого, как правило, выдается одно изделие.

При этом $\Theta = \Theta_p + \Sigma \Theta_c$, т. е. учитываются только собственные простои по техническим причинам (организационные потери не учитываются).

Предположим, что за время Θ имеется s отказов, а следовательно, s простоев и столько же интервалов безотказной работы. Средняя длительность единичного простоя между двумя отказами Θ_{cp} , среднее время безотказной работы m_{cp} . Тогда

$$\left. \begin{aligned} \Sigma \Theta_c &= s \Theta_{cp}, & \Theta_p &= s m_{cp}, \\ \Sigma t_n &= (\Sigma \Theta_c / \Theta_p) T = (\Theta_{cp} / m_{cp}) T \end{aligned} \right\} \quad (6.4)$$

Таким образом, важнейший параметр теории производительности – собственные внецикловые потери – является и комплексным показателем надежности, который характеризует и безотказность m_{cp} , и ремонтпригодность Θ_{cp} , и интенсивность срабатывания T .

Выразим через показатели безотказности и ремонтпригодности и другой параметр теории производительности – коэффициент технического использования

$$\eta_{mex} = \frac{\Theta_p}{\Theta} = \frac{\Theta_p}{\Theta_p + \Sigma \Theta_c} = \frac{1}{1 + \Sigma \Theta_c / \Theta_p}. \quad (6.5)$$

С учетом формулы (6.4):

$$\eta_{mex} = \frac{1}{1 + (\Theta_{cp} / m_{cp})}. \quad (6.6)$$

Здесь показатели безотказности m_{cp} и ремонтпригодности Θ_{cp} учитывают не только обнаружение и устранение случайных отказов, но и их предупреждение (время технического обслуживания, подготовительно-заключительное время).

Как и показатели производительности, показатели надежности автоматов и автоматических линий в зависимости от поставленной задачи имеют три вида:

- показатели фактической эксплуатационной надежности действующего оборудования;
- показатели ожидаемой надежности проектируемого оборудования;
- показатели требуемой надежности – допустимые показатели надежности, определяемые из условия выполнения автоматом или автоматической линией заданного функционального назначения.

Соответственно с этим имеются методы расчета показателей эксплуатационной надежности, методы определения ожидаемой надежности, методы расчета требований к надежности. Для каждой из форм можно определить показатели ω , m_{cp} , Θ_{cp} , Σt_n , η_{mex} и др. Их сравнение между собой позволяет анализировать надежность машин, определять, как достоверны проектные расчеты и насколько достигнутый уровень фактической надежности соответствует объективным требованиям.

6.3. Тенденции изменения показателей надежности в процессе эксплуатации

Как показали многократные исследования, показатели работоспособности автоматов и автоматических линий не являются стабильными, что обусловлено различными качественными состояниями систем и их элементов во времени: пуск и освоение, стабильная эксплуатация, интенсивный износ (см. рис. 6.2). Это приводит к тому, что на различных этапах эксплуатации машин их техническая производительность (производительность при отсутствии организационно-технических потерь) также изменяется.

С другой стороны, фактическая производительность с учетом как собственных, так и организационно-технических потерь также изменяется во времени, однако это изменение зависит, как правило, от степени загрузки оборудования, величины производственной программы, которая не остается неизменной и имеет необратимый возрастающий характер.

Характер изменения эксплуатационных показателей автоматов и автоматических линий в процессе их эксплуатации в общем виде представлен на диаграмме (рис. 6.3), где показано изменение отношения действительной производительности автоматической линии к теоретической за время ее эксплуатации, начиная с момента пуска ($N = 0$). Так как отношение фактической производительности Q к цикловой $Q_{ц}$

есть коэффициент использования η_{uc} , учитывающий и технические и организационно-технические простои, то кривая 1 есть кривая коэффициента $\eta_{uc} = f_1(N)$. Соответственно кривая 2 – отношение технической производительности (при отсутствии организационных простоев) к цикловой – есть коэффициент технического использования во времени $\eta_{mex} = f_2(N)$. Заштрихованные области означают потери производительности по техническим и организационным причинам.

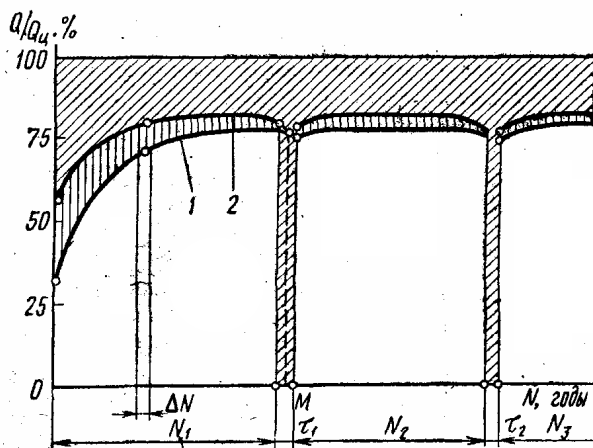


Рис. 6.3 – Диаграмма изменения эксплуатационных показателей в процессе эксплуатации машины

Величина η_{uc} (кривая 1) определяется в каждый момент времени прежде всего нагрузкой линии, величина η_{mex} – уровнем эксплуатационной надежности. В период пуска и освоения линии технические и организационные потери велики, затем они снижаются, при этом эксплуатационная надежность стабилизируется на некотором уровне (кривая 2), в то время как фактическая производительность увеличивается вследствие роста производственной программы, улучшения организации обслуживания и т. д.

Постепенно уровень надежности системы начинает снижаться из-за прогрессирующего износа механизмов. Когда возникает опасность, что линия уже не в состоянии обеспечить производственную программу по количеству и качеству обработки, она выводится в планово-предупредительный ремонт длительностью τ_1 .

Объективность закономерности, отраженной в общем виде на рис. 6.3, подтверждается, например, диаграммой (рис. 6.4), на которой приведены значения коэффициентов технического использования некоторых автоматических линий по итогам многократных исследований, проведенных в процессе отладки, внедрения и промышленных испытаний. Здесь кривая 1 для автоматической линии “Блок-2” (ЗИЛ), 2 – для автоматов КА-76 (ГПЗ-1), 3 – линия картера сцепления (ЗИЛ). Как видно, после пуска и освоения коэффициент технического использования стабилизируется на уровне, который объективно отражает качество конструкции и системы эксплуатации и резко отличается для различных линий. Любые исследования производительности и эксплуатационной надежности длительностью ΔN (см. рис. 6.3) неизмеримо короче даже первого периода стабильной эксплуатации $N_1 (\Delta N \ll N_1)$. Поэтому все полученные числовые значения показателей надежности $\omega, P(t), \Theta_{cp}, \eta_{mex}, \eta_{uc}, \Sigma t_n, \Sigma t_n$ имеют “мгновенный” характер, т. е. характеризуют эксплуатационную надежность только в определенный отрезок времени.

Даже в том случае, если исследования проводят в такие переходные периоды, как пуск и освоение или предремонтный период, за две-три недели не успевают заметно измениться ни степень изношенности машины, ни уровень квалификации обслуживающего персонала и т. д. Поэтому показатели надежности, рассчитанные по результатам кратковременных исследований, принимают как условно-постоянные величины: $\omega = const, \Theta_{cp} = const$ и т. д.

С учетом соотношения (6.2.) функция надежности запишется:

$$P(t) = e^{-\omega t} = e^{-\frac{t}{m_{cp}}} \quad (6.7)$$

Кривая типа e^{-x} является экспонентой, поэтому принимается, что функция надежности носит экспоненциальный характер. Такое

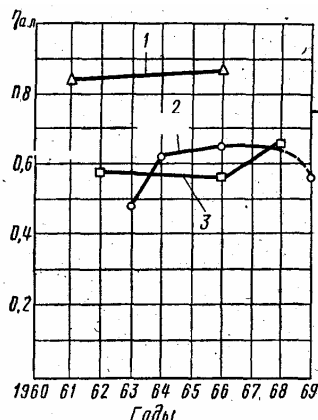


Рис. 6.4 – Коэффициенты технического использования автоматических линий (по результатам исследований)

допущение справедливо тем более, чем менее интенсивны процессы изменения показателей надежности во времени. Оно позволяет значительно упростить все расчеты, связанные с определением числовых значений показателей надежности, их достоверности, длительности наблюдений и т. д.

Если исследования проводят в период стабильной эксплуатации, когда показатели работоспособности стабилизированы, полученные их фактические значения являются объективной оценкой эксплуатационной надежности автоматической линии.

Если длительность эксплуатационных исследований настолько велика, что условия эксплуатации могут существенно измениться за это время, математические выражения, описывающие функцию надежности, значительно усложняются.

Как изложено выше, основными причинами возникновения отказов являются нестабильность числовых величин внешних и внутренних параметров работы механизмов и устройств, их вероятностный характер со случайным сочетанием при каждом срабатывании механизма. Многие эти параметры, в первую очередь стабильность перемещений и точность фиксированных положений, жесткость, виброустойчивость и т. д., не остаются постоянными во времени вследствие износа деталей и сопряжений. Так как условия работы механизмов различны, то и действие всех факторов проявляется в каждом конкрет-

ном случае по-разному, а именно: у одних конструктивных элементов надежность в процессе эксплуатации повышается (фактор освоения, отладки превалирует над фактором износа), у других – наоборот.

Это можно наглядно иллюстрировать диаграммой (рис. 6.5), где приведены количественные данные по изменению во времени показателей надежности важнейших механизмов автоматической линии, картера сцепления по результатам трехкратных исследований в течение шести лет (1 – кантователь, 2 – поворотный стол, 3 – пресс, 4 – зажимная станция и поперечный транспортер, 5 – механизм зажима и фиксации, 6 – про-

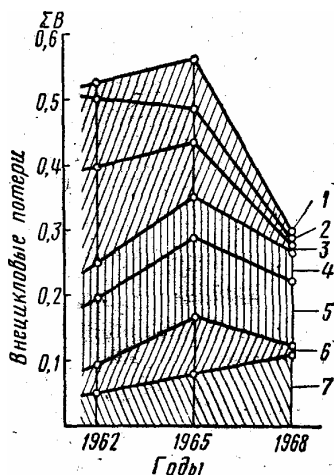


Рис. 6.5 – Внецикловые потери автоматической линии

дольный транспортер, 7 – силовая головка). Исследования проводились при внедрении автоматических линий и результаты приводятся в качестве примеров. Как видно, у одних устройств уровень надежности с увеличением времени значительно ухудшается, внецикловые потери вырастают: силовые головки, механизмы зажима и фиксации, где особенно сказываются последствия износа (нарушение геометрической точности, увеличение утечек воздуха и масла из цилиндров зажима и фиксации и др.). У других уровень надежности существенно повышается – пресс, поворотное устройство и др., что является типичным для сложных механизмов холостых ходов, мало влияющих на точность, но освоение которых занимает значительное время.

Изменение показателей надежности одного из механизмов – поворотного стола – характеризуется данными, приведенными в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Показатель надежности	Эксплуатация, лет		
	$N = 2$	$N = 5$	$N = 8$
Среднее время безотказной работы m_{cp}	109	102	420
Среднее время устранения отказов Θ_{cp}	1,8	1,4	1,1
Собственные внецикловые потери Σt_n	$16 \cdot 10^{-3}$	$7,3 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$

Если на втором году эксплуатации средняя наработка на отказ составляет лишь 109 циклов, то через шесть лет она повышается до 420 циклов, т. е. безотказность повышается почти в четыре раза благодаря устранению ряда конструктивных дефектов, а главным образом благодаря более глубокому знанию конструкции и всех тонкостей ее эксплуатации. Характерно, что показатели длительности восстановления работоспособности также повышаются, хотя и в меньшей степени, прежде всего вследствие уменьшения количества длительных простоев, т. е. резко сокращается время обнаружения и определения характера отказов.

Таким образом, характер изменения надежности во времени может быть различным в зависимости от количества и характера работы механизмов: у одних – надежность увеличивается, у других – снижается, итоговый результат может быть любым. Проведенные исследования показывают, что для сроков эксплуатации линий до 6–10 лет общей тенденцией является повышение надежности, а не ее снижение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азбель В.О. и др. Гибкое автоматическое производство. – Л.: Машиностроение, 1983. – 376 с.
2. Бауман В.А., Быховский И.И. Вибрационные машины и процессы в строительстве. – М.: Высшая школа, 1977. – 255 с.
3. Белоусов А.П. и др. Автоматизация процессов в машиностроении. – М.: Высшая школа, 1973. – 456 с.
4. Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. – М.: Наука, 1964. – 410 с.
5. Бовсуновский Я.И., Свечников Л.В. Механизация и автоматизация контрольных операций в машиностроении и приборостроении. – М.; К.: Машгиз, 1961. – 318 с.
6. Бочков В.М., Сілін Р.І. Обладнання автоматизованого виробництва. – Львів: Видавництво державного університету “Львівська політехніка”, 2000. – 380 с.
7. Буда Я.Я. и др. Автоматизация процессов машиностроения. – М.: Высшая школа, 1991. – 480 с.
8. Владзиевский А.П. Автоматические линии в машиностроении. Кн. I. – М.: Машгиз, 1958. – 430 с.
9. Владзиевский А.П., Белоусов А.П. Основы автоматизации производства в машиностроении. – М.: Высшая школа, 1974. – 352 с.
10. Волчкевич Л.И. и др. Автоматы и автоматические линии. Ч. 1. – М.: Высшая школа, 1976. – 230 с.
11. Глазов Г.А. Комплексная механизация механических цехов в мелкосерийном производстве. – М.: Машиностроение, 1972. – 256 с.
12. Добрынин Е.М. Приборы автоматического контроля размеров в машиностроении. – М.: Машгиз, 1960. – 302 с.
13. Камышный Н.И. Автоматизация загрузки станков. – М.: Машиностроение, 1977. – 288 с.
14. Кузнецов М.М. и др. Автоматизация производственных процессов / Под ред. Г.А. Шаумяна. – М.: Высшая школа, 1978. – 431 с.
15. Лебедевский М.С., Федотов А.И. Автоматизация сборочных работ. – Л.: Лениздат, 1970. – 448 с.
16. Малов А.Н. Механизация и автоматизация в штамповочном производстве. – М.; Л.: Машгиз, 1955. – 75 с.
17. Малов А.Н., Иванов Ю.В. Основы автоматики и автоматизация производственных процессов. – М.: Машиностроение, 1974. – 368 с.
18. Малов А.Н., Прейс В.Ф. Механизация и автоматизация штамповочных работ. – М.: Машгиз, 1955. – 308 с.
19. Медвидь М.В. Автоматические ориентирующие загрузочные устройства и механизмы. – М.: Машгиз, 1963. – 299 с.
20. Митрофанов С.П. Научные основы организации группового производства. – М.; Л.: Машгиз, 1963. – 308 с.

21. Подлесный Н.И., Рубанов В.Г. Элементы систем автоматического управления и контроля. – К.: Вища школа, 1975. – 272 с.
22. Повидайло В.А. Расчет и конструирование вибрационных питателей. – М.; К.: Машгиз, 1962. – 151 с.
23. Повидайло В.А., Беспалов К.И. Расчет и конструирование бункерных загрузочных устройств для металлорежущих станков. – М.: Машгиз, 1959. – 107 с.
24. Повидайло В.А., Силин Р.И., Щигель В.А. Вибрационные устройства в машиностроении. – М.; К.: Машгиз, 1962. – 111 с.
25. Потураев В.Н., Франчук В.П., Надутый В.П. Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах. – Днепропетровск: НГА Украины, 2002. – 186 с.
26. Прейс В.Ф. и др. Автоматизация загрузки прессов штучными заготовками. – М.: Машиностроение, 1975. – 280 с.
27. Рабинович А.Н. Автоматизация механосборочного производства. – К.: Вища школа, 1969. – 542 с.
28. Рабинович А.Н. Автоматизация технологических процессов в машиностроении. – К.: Гостехиздат УССР, 1955. – 410 с.
29. Рабинович А.Н. Автоматизация и механизация сборочных процессов в машиностроении и приборостроении. – М.; К.: Машгиз, 1956. – 174 с.
30. Рабинович А.Н. Приборы и системы автоматического контроля размеров деталей машин. – К.: Техніка, 1970. – 396 с.
31. Силин Р.И. Автоматизация счета и расфасовки мелких деталей. – М.: Машиностроение, 1965 – 167 с.
32. Силин Р.И. Автоматические системы для счета и расфасовки мелких изделий. – К.: Вища школа, 1986. – 195 с.
33. Силин Р.И. Автоматизация загрузки оборудования в машиностроении: Учебное пособие. – Хмельницкий: ТУП, 2003. – 225 с.
34. Спиваковский А.О., Гончаревич И.Ф. Вибрационные конвейеры, питатели и вспомогательные устройства. – М.: Машиностроение, 1972. – 328 с.
35. Староверов А.Г. Основы автоматизации производства. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.
36. Терехов Г.А., Шувалов Ю.А. Автоматизация технологических процессов механической обработки и сборки в машиностроении. – М.: Машгиз, 1960. – 320 с.
37. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Наука, 1967. – 444 с.
38. Шаумян Г.А. Автоматы и автоматические линии. – М.: Машгиз, 1961. – 562 с.
39. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. – М.: Машиностроение, 1973. – 639 с.
40. Шаумян Г.А. и др. Автоматизация производственных процессов. – М.: Высшая школа, 1967. – 472 с.