

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н. И. Вавилова»

ОСНОВЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ
ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРИЗВОДСТВ

краткий курс лекций

для студентов

Направление подготовки

35.03.07 Технология производства и переработки
сельскохозяйственной продукции

Профиль подготовки

Технология пищевых производств в АПК

Саратов 2018

УДК 347.77
ББК 67.404.3

Основы конструирования оборудования пищевых производств/краткий курс лекций для студентов направления подготовки 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» / Сост.: Ф.Я. Рудик // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2018.

Краткий курс лекций по дисциплине «Основы конструирования оборудования пищевых производств»

©Рудик Ф.Я., 2018
© ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2018

Лекция 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ

1.1 Основные понятия и определения

1.2 Выбор схемных решений при проектировании машин

1.3 Основные принципы и методы проектирования

Понятия и определения, характеризующие принципы, методы, приемы и правила проектирования и конструирования, а также формирующие представления об объектах проектирования, их свойствах и показателях, являются общепринятыми в инженерной практике.

Качество *проектируемой машины оценивается* рядом теоретически обоснованных количественных показателей, основными из которых являются экономические (коэффициент использования *машины*, рентабельность, экономический эффект и др.) и совершенства *конструкции* (*коэффициенты* уровней унификации, стандартизации, нормализации и др.). Не менее важными являются также *принципы и методы* конструирования машин, не имеющие количественной оценки: образование производных машин на базе исходной модели, сокращение номенклатуры за счет рационального выбора типажа и заложения в конструкцию резервов развития и других методов.

1.1 Основные понятия и определения

К общим понятиям, используемым при рассмотрении вопросов проектирования и конструирования техники пищевых производств, относятся следующие.

Техника применительно к сфере производственной деятельности человека представляет собой совокупность средств, созданных для осуществления процессов производства, удовлетворяющих потребности общества. В технике материализованы знания и опыт, накопленные человечеством в процессе развития общественного производства и направленные на облегчение труда и увеличение его эффективности. *Техника пищевых производств* призвана выполнять технологические функции, связанные с воздействием на обрабатываемые пищевые среды (сырье). К техническим средствам техники пищевых производств относятся машины и механизмы, аппараты, биореакторы, аппаратура управления машинами и технологическими процессами, коммуникации и т. д.

Система машин — технически и экономически обоснованная совокупность средств производства для выполнения технологических процессов, необходимых для получения конкретного вида продукции в соответствии с перспективными требованиями потребителей. Система машин агропромышленного комплекса (АПК) России охватывает около трех десятков отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности. Каждая отрасль имеет группу (комплекс) машин для выработки определенного продукта. Внутри каждой такой группы формируется набор машин для выработки определенных видов изделий.

Наличие систем машин позволяет определить рациональную номенклатуру оборудования для конкретной отрасли, планировать перечень машин, подлежащих созданию, модернизации, снятию с производства и т. д., а также сокращения номенклатуры за счет расширения области применения базовых машин и максимальной их унификации.

Технологическая линия представляет собой техническую систему, реализующую все стадии переработки сырья и выпуска готовой продукции. При этом техническая система соответствует всей совокупности оборудования, входящего в состав технологической линии. В пищевых производствах линии предназначены для преобразования сельскохозяйственного сырья в продукты питания человека.

Проект (от *лат.* *projectus* — брошенный вперед) применительно к машиностроению есть совокупность конструкторских и текстовых документов, содержащих принципиальное (эскизный проект) или окончательное (технический проект)

решение, дающее необходимое представление об устройстве создаваемого изделия и исходные данные для последующей разработки и изготовления рабочей документации.

Проектирование объекта машиностроения можно представить как процесс разработки комплексной технической документации (проекта), содержащей технико-экономические обоснования, расчеты, чертежи, макеты, сметы, пояснительные записки и другие материалы, необходимые для создания технологического оборудования.

Проектировщик — специалист в области проектирования, призванный осуществлять предварительные изыскания, составлять задания на проектирование и эскизный проект, проектно-сметную документацию. В условиях научно-технического прогресса работа проектировщика все больше приобретает исследовательский характер, так как от него требуется не просто создать новый объект, но и придать ему новое, лучшее качество и удовлетворить требование заказчика и общества в целом.

Конструирование в общем понимании — это тип инженерной деятельности, который может быть реализован в различных областях творчества. В частности, в проектировании машин и оборудования конструирование связано с разработкой определенной конструкции изделия, которая затем материализуется изготовлением на производстве. Конструирование включает в себя создание вариантов конструкции, расчеты, операции анализа и синтеза и др.

Конструктор — инженер, специалист в области разработки конструкций. Обычно он подключается к проектированию технической системы преимущественно на заключительных стадиях технического и рабочего проектов, а также создания и испытания опытного образца. Конструктор акцентирует свое внимание на разработке требований к материалу элементов, соответствии этих элементов стандартным, выпускающимся промышленностью, а также на разработке конструкции новых элементов для данной системы.

Чертежный метод проектирования позволяет современному конструктору создавать прекрасное изделие в течение времени от нескольких месяцев до нескольких лет. Такое соотношение затрат времени и труда по сравнению с кустарным методом определяется различными средствами хранения и передачи информации об изделии и оценки вносимых в изделие изменений.

Качественно новый этап в развитии методов и способов изготовления различных технических объектов начался с момента появления чертежей, отображающих будущий объект в определенном масштабе. Принципиальная разница между этим способом разработки изделия и эволюцией изделий ремесленников заключается в том, что поиск форм отделен от производства и эксперименты проводятся не на объекте, а на масштабном чертеже. Это имело целый ряд важных последствий:

- стало возможным задавать размеры изделия до его изготовления, а это позволило разделить труд по изготовлению отдельных частей между несколькими работниками, т. е. положить начало специализации;
- вычерчивание изделия до его изготовления обеспечило создание больших объектов, недоступных одному ремесленнику (мосты, здания, корабли, технологические комплексы и линии);
- возникшее вместе с масштабными чертежами разделение труда дало возможность увеличить не только размеры изделий, но и темп, и масштабы их изготовления, одновременно снизив затраты труда;
- примитивное разделение труда приводит к потере качества, поэтому появилась необходимость обеспечить его до начала производства;

- проектирование и конструирование выделились в особую профессию — проектировщик (конструктор);
- процесс конструирования чертежным способом фактически представляет собой ускоренный вариант эволюции изделия, позволяющий за один раз изменить не одну, а целую совокупность деталей, избегая дорогостоящей переделки. Конструктор легко может определить, как изменение формы одной детали скажется на конструкции всего изделия. Однако достичь окончательного варианта можно только путем многократных циклов изменения;
 - поиск новых решений путем цикловых изменений заставляет проектировщика работать над одним проектом, а не сопоставлять между собой несколько альтернативных решений;
 - для определения эксплуатационных характеристик важнейших узлов и деталей требуется изготовление опытных образцов и моделей, а также выполнение соответствующих расчетов;
 - на ранних стадиях проектирования чертежным способом работу ведет один человек, чаще всего главный (ведущий) конструктор или руководитель группы. После того как сформулированы критические трудности задачи и найдены удовлетворительные решения, работа может быть распределена между несколькими исполнителями.

Методика, позволяющая привлечь к проектированию большое число исполнителей, предполагает следующие ступени инженерного конструирования: оценка осуществимости и отыскание комплекса осуществимых концепций; эскизное проектирование с целью отбора и разработки оптимальной концепции; рабочее конструирование — инженерное описание конструкции; планирование — оценка и изменение концепции в соответствии с требованиями производства, сбыта, эксплуатации и ликвидации использованного изделия.

Проектирование начинается с восприятия информации (первый этап), на основе которой выстраивается некоторый комплекс альтернативных решений *изделия в целом*. На втором этапе отбирается одно из этих решений для дальнейшей разработки. На третьем и четвертом этапах ведется рабочее конструирование одновременно многими людьми.

Системы автоматизированного проектирования (САПР). К недостаткам чертежного способа проектирования на современном этапе развития техники добавляется влияние все увеличивающегося объема научно-технической информации, которую необходимо переработать на стадии проектирования (конструирования). Установлено, что объем поискового конструирования за каждые 10 лет увеличивается в 10 раз, а количество специалистов лишь удваивается. Образовавшийся дефицит вынуждает пересматривать существующие методы сбора, анализа и хранения проектной информации с целью обеспечения сроков и качества проектирования.

С ростом сложности технических объектов необходимо участие в проектировании все большего количества конструкторов, научных работников, технологов. Это в свою очередь приводит к необходимости затрачивать много времени на согласование решений, чертежей. Удлиняются сроки проектирования, появляются дополнительные ошибки, идут переделки. Иными словами, появляется большой объем рутинной работы, которую стало необходимым передать для исполнения электронно-вычислительной технике. Конструктору нужно оставить главное — творческое мышление, разработку принципов и концепций функционирования будущих машин. Комплексы, которые выполняют эту работу, называются системами автоматизированного проектирования (САПР). Они являются третьим этапом эволюции методов и способов проектирования.

Итак, прослеживаются три этапа эволюции методов и способов проектирования машин: кустарные промыслы, чертежный способ проектирования, САПР.

В *современном процессе проектирования* разработка комплекса машин пищевого производства начинается с выявления потребности общества в различных видах

продуктов питания. Сам процесс проектирования машины состоит из пяти укрупненных этапов:

1. Исследование проектной ситуации.
2. Разработка принципа решения и структуры объекта (выбор схемных решений).
3. Согласование принципа решения с условиями изготовления и эксплуатации (конструирование).
4. Разработка рабочей конструкторской документации.
5. Оценка полученных результатов на основании их анализа.

В соответствии с такой логикой проектирования стандартизирован весь процесс проектирования (конструирования). ГОСТом предусмотрены следующие стадии разработки конструкторской документации на изделия всех отраслей промышленности:

1. Техническое задание (ТЗ).
2. Техническое предложение (П).
3. Эскизный проект (Э).
4. Технический проект (Т).
5. Разработка рабочей документации: а) опытного образца (опытной партии); б) установочных серий; в) установившегося серийного или массового производства.

ГОСТ 2.103-68 для каждой стадии предусматривает определенные этапы конкретного *выполнение каждого* этапа, его объем и *содержание* определяются спецификой разрабатываемого изделия и практикой проектирования на предприятиях отрасли и часто регламентируются отраслевыми стандартами (ОСТами).

Перечень, наименование и обязательность конструкторской документации также оговариваются ГОСТами.

1.2 Выбор схемных решений при проектировании машин

Выбор схемных решений объекта проектирования заключается в разработке принципа решения и структуры посредством схем различных видов и типов. Общие правила построения схем предусматриваются соответствующими стандартами.

Виды и типы схем, а также общие требования к выполнению схем установлены ГОСТ 2.701-08. Основой любой схемы является элемент — составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии, имеет самостоятельное значение и не может быть разделена на части (рабочий орган, двигатель, передача и т. п.).

Устройство является функциональной частью схемы и представляет собой совокупность элементов, составляющих единую конструкцию (сборочную единицу, агрегат). Комбинация различных элементов и устройств образует схему. При проектировании технологических машин пищевых производств основными схемами являются: структурная, функциональная, принципиальная, кинематическая.

Структурная схема определяет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. Структурные схемы разрабатывают при проектировании изделий машиностроения на стадиях, предшествующих разработке схем других типов, и пользуются ими для общего ознакомления с изделием (установкой, машиной, линией).

Функциональная схема разъясняет определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях машины или в самой машине. Пользуются ими для изучения принципов работы, а также при наладке, контроле и ремонте машины. К этому

виду схем можно отнести машинно-аппаратурные схемы различных пищевых производств.

Принципиальная (полная) схема определяет полный состав элементов и связей между ними и дает детальное представление о принципах работы машины. Используется для изучения принципов работы, наладки, контроля, ремонта. Принципиальные схемы служат основанием для разработки других конструкторских документов, например схем соединений (монтажных) и чертежей.

Кинематическая схема выполняется по ГОСТ 2.703-68. На этой схеме должна быть представлена вся совокупность кинематических элементов и их соединений, предназначенная для осуществления, регулирования и контроля заданных движений исполнительных органов. Должны быть отражены кинематические связи между отдельными кинематическими парами, цепями и группами, а также связи с источником движения.

Гидравлические и пневматические схемы выполняются по ГОСТ 2.704- и в зависимости от их назначения подразделяются на структурные и принципиальные. На структурной схеме изображают все основные функциональные части изделия и основные взаимосвязи между ними. На принципиальной схеме изображают все гидравлические и пневматические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля соответствующих процессов и связи между ними.

Схема деления изделия на составные части (см. рис. 1.1) является конструкторским документом, который определяет состав изделия, входимость составных частей, их назначение и взаимосвязь. Она разрабатывается для записей, на которые имеется техническое задание (ТЗ) заказчика, на стадии технического проекта (или эскизного, если технический проект не разрабатывается). В схеме деления приводят состав изделия: комплексы, сборочные единицы, детали, входящие в изделие, как вновь разработанные, так и заимствованные и покупные.

Условные обозначения изделия и его составных частей показаны на рисунке 1.2. Информацию об изделии в условном графическом обозначении располагают сверху вниз в следующей последовательности (рис. 1.2а): обозначение, наименование, индекс и т. д.

Помимо этих основных схем применяются различные вспомогательные: монтажные, подключения, расположения и др.

Общая схема определяет составные части комплекса и соединение их между собой на месте эксплуатации. Разрабатывается она при необходимости и используется для ознакомления с комплексами, а также при их контроле, эксплуатации и ремонте.

Схема расположения определяет относительное расположение составных частей машины, а в некоторых случаях и расположение жгутов, проводов, кабелей, трубопроводов и т. п. Используется при разработке других конструкторских документов, при эксплуатации и ремонте изделий.

Объединенная схема на одно изделие (установку) выполняется на одном конструкторском документе.

В зависимости от элементов связей, входящих в машины, схемы подразделяются на электрические, гидравлические, пневматические, кинематические и другие. Схемы, входящие в состав конструкторской документации, обозначаются шифром, состоящим из буквы (вид схемы) и цифры (тип схемы). Виды схем: Э, Г, П, К и С (комбинированная). Типы схем: 1 — структурная, 2 — функциональная, 3 — принципиальная, 4 — соединения, 5 — подключения, 6 — общая, 7 — расположения. Например, схема гидравлическая принципиальная обозначается сочетанием ГЗ.

Количество типов схем на машину должно быть минимальным, но в совокупности они должны содержать сведения в объеме, достаточном для проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта машины.

Функциональная схема (рис. 1.5) является важнейшей при решении проектных задач. Ее построение ведется в два этапа: первый — построение технологической схемы с определением перечня и последовательности операций заданного технологического процесса; второй — выбор вида конструкции рабочих органов, обеспечивающих принятый вариант технологического процесса.

Чтобы охватить все возможные варианты решения, составляется морфологическая карта (матрица), по которой строится функциональная схема с указанием типа рабочего органа по операциям. Затем, исходя из принятой последовательности операций и выбранных типов рабочих органов, производится окончательный синтез функциональной схемы сепаратора.

Последним действием этой части проектирования является расчет геометрических и кинематических параметров рабочих органов.

Кинематическая схема строится по данным, полученным при построении функциональной схемы. Прежде нужно выбрать источник вращательного движения (электродвигатель, ДВС, приводное колесо) и типы механизмов в зависимости от возможности рациональной передачи движения, нагруженности механизмов, рекомендуемых передаточных отношений при условии соблюдения ограничений по техническому заданию.

Этот выбор сопровождается кинематическими, силовыми и прочностными расчетами по обоснованию работоспособности с определением основных параметров элементов механизмов и передаточных отношений.

В кинематической схеме используются следующие группы элементов: стержни (валы, оси); подшипники (качения, скольжения); муфты (глухие, подвижные, сцепные); тормоза; кулачковые, кривошипно-шатунные и мальтийские механизмы; маховики; гидротрансмиссии; зубчатые, цепные, ременные, реечные и винтовые передачи; пружины и т. п.

Кинематическую схему вычерчивают в виде развертки, вписывают в контур машины либо вычерчивают в аксонометрии. Возможные варианты кинематической схемы сепаратора показаны на рисунке 1.6. Валы нумеруются римскими цифрами, остальные элементы арабскими, порядковые номера начинаются от источника движения.

Для рассматриваемого сепаратора выбран в качестве источника движения электродвигатель (ЭД), для передачи крутящего момента от ЭД к сепаратору — различные передачи. Выбор привода осуществляется на основе критериев эффективности и безопасности.

Принципиальная схема служит основанием для разработки других конструкторских документов. При создании принципиальной схемы используются результаты разработки функциональной и кинематической схем. Машина реализуется в принципиальной схеме с учетом несущих конструкций, опорных элементов, рабочего места оператора и т. п. Схема должна содержать все исходные данные для решения при проектировании вопросов технологичности изготовления, технического обслуживания и ремонта, эргономики, экологии, транспортабельности и всех остальных факторов, отраженных в техническом задании.

1.3 Основные принципы и методы проектирования

Принципы и методы конструирования. Задачи конструирования состоят в создании машин, полностью отвечающих требованиям заказчика, дающих наибольший экономический эффект при наиболее высоких технико-экономических и эксплуатационных показателях. Главными показателями являются высокая производительность, экономичность, надежность; малые массы, материалоемкость, габариты, энергоемкость, расходы на эксплуатацию и ремонт; высокая долговечность и степень автоматизации, простота и безопасность обслуживания и управления, удобство сборки и разборки; соблюдение требований технической эстетики. Для машин пищевых производств из числа перечисленных показателей важнейшими являются:

производительность обусловленных показателях качества (совокупности свойств) полуфабрикатов и готовой продукции, экономичность, четкость и безопасность действия, степень автоматизации, соответствие условиям эксплуатации в составе линии.

Технико-экономическое обоснование конструкции машины является важнейшим принципом проектирования любой технологической машины, поскольку экономический фактор играет первостепенную роль в создании машины. Основная цель проектирования и конструирования практически всегда заключается в получении экономического эффекта от применения разрабатываемой машины. При этом имеется в виду, что экономический эффект определяется величиной полезной отдачи и суммой эксплуатационных расходов за весь период работы машины. Стоимость машины в этих расходах является только одной, но далеко не главной составляющей.

Экономичность машины оценивается следующими основными показателями: коэффициентом использования, рентабельностью, экономическим эффектом от применения и коэффициентом стоимости. Рассмотрим каждый из этих показателей.

Коэффициент использования машины:

$$\eta_{исп} = \frac{h}{H} \text{ или } \eta_{исп} = \frac{D}{H}$$

где h — фактическое время работы машины за период эксплуатации; H — период эксплуатации; D — долговечность машины. При круглосуточной работе $\eta_{исп} = 0,95... 1,0$. При односменной, двухсменной, трехсменной работе соответственно $\eta_{исп} = 0,2; 0,4; 0,6$. При сезонной работе $\eta_{исп} = 0,05...0,1$.

Рентабельность машины:

$$g = \frac{O_T}{P}$$

где O_T, P — полезная отдача и сумма расходов за определенный период.

Сумма расходов в общем случае складывается из стоимости: \mathcal{E}_H — энергии, M_T — материала заготовок, I_H — инструмента, T_P — оплаты труда операторов, $O_б$ — технического обслуживания, P_M — ремонта, H_K — накладных расходов, A_M — амортизационных расходов:

$$P = \mathcal{E}_H + M_T + I_H + T_P + O_б + P_M + H_K + A_M$$

Величина q должна быть больше единицы ($q > 1$), иначе машина убыточна и смысл ее осуществления утрачивается.

Экономический эффект (годовой доход):

$$Q = O_T - P = O_T \left(1 - \frac{P}{O_T} \right) = O_T \left(1 - \frac{1}{q} \right),$$

где O_T — годовая полезная отдача, руб./год; P — сумма годовых эксплуатационных расходов, руб./год.

Суммарный экономический эффект за весь период эксплуатации, равный долговечности D ,

$$Q = O_T - P,$$

где O_T, P — суммарные отдача и эксплуатационные расходы.

Амортизационные расходы за период эксплуатации равны стоимости машины, $A_M = C$. Ремонтные же расходы не находятся в прямой зависимости от продолжительности работы h , отдача O_T и эксплуатационные расходы пропорциональны времени эксплуатации, поэтому можно записать

$$Q = h O_T - \mathcal{E}_H + M_T + I_H + T_P + O_б + H_K - P_M - C$$

либо

$$Q = D O_T - \mathcal{E}_H + M_m + I_H + T_P + O_б + H_K - P_M - C.$$

Повышение полезной отдачи может выражаться в увеличении объема продукции или в увеличении ее продукции (повышение качества и т. д.). *Срок окупаемости* определяется как период службы, при которой суммарной экономической эффект равен стоимости машины, т. е.

$$C = H_{ок} \eta_{исп} O_T - P - A_M;$$

$$A_M = \frac{CH_{ок}}{H} = \frac{CH_{ок} h_{исп}}{D};$$

$$H_{ок} = \frac{C}{\eta_{исп} O_T - P - \frac{C}{D}}.$$

При этом принято, что затраты на ремонт в первые годы эксплуатации весьма малы и поэтому не учитываются.

Коэффициент эксплуатационных расходов есть отношение суммы расходов за весь период работы (до исчерпания ресурса) к ее стоимости:

$$k = \frac{P}{C} = \frac{D \cdot \Delta_H + M_T + I_H + T_P + O_b + H_k + P_M + C}{C}.$$

Тогда суммарный экономический эффект за весь срок эксплуатации по формуле

$$Q = DO_T - kC.$$

Коэффициент стоимости машины:

$$c = \frac{C}{P} \cdot 100\% = \frac{1}{k} \cdot 100\%.$$

Лекция 2 РАЗРАБОТКИ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

2.1 Стадии разработки и составления проектно-конструкторской документации.

2.2 Графическая часть.

Стадии разработки конструкторской документации на изделия всех отраслей промышленности и этапы выполнения работ, предусмотренные ГОСТ 2.103-68, представлены в таблице 1.5.

Конструкторским документам для индивидуального производства, предназначенным для разового изготовления одного или нескольких изделий, присваивают литеру «И».

Разработке рабочей конструкторской документации индивидуального производства может предшествовать выполнение отдельных стадий разработки

Таблица 1.5

Стадии разработки и этапы выполнения конструкторской документации
(ГОСТ 2.102)

Стадии разработок и	Этапы работ
Техническое задание	Разработка технического задания. Согласование и утверждение технического задания
Техническое	Подбор материалов.

ое предложение	Разработка технического предложения по результатам анализа технического задания с присвоением документам литеры «П». Рассмотрение и утверждение технического предложения
Эскизный проект	Разработка эскизного проекта с присвоением документам литеры «Э». Изготовление и испытание макетов. Рассмотрение и утверждение эскизного проекта
Технический проект	Разработка технического проекта с присвоением документам литеры «Т». Изготовление и испытание макетов. Рассмотрение и утверждение технического проекта
Разработка рабочей документации:	
а) опытного образца (опытной партии)	Разработка конструкторских документов, предназначенных для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии). Изготовление и заводские испытания опытного образца (опытной партии). Корректировка конструкторских документов по результатам изготовления и заводских испытаний опытного образца (опытной партии) с присвоением конструкторским документам литеры «О». Государственные, межведомственные, приемочные и другие подобные испытания опытного образца (опытной партии). Корректировка конструкторских документов по результатам государственных межведомственных, приемочных и других подобных испытаний опытного образца (опытной партии) с присвоением конструкторским документам литеры «О1». При последующих (повторных) изготовлениях и испытаниях опытного образца (опытной партии) и соответствующей корректировке конструкторских документов им присваивают соответственно литеры «О2», «Оз» и т. д.
б) установочных серий	Изготовление и испытание установочной серии. Корректировка конструкторских документов по результатам изготовления, испытания и оснащения технологического процесса изготовления ведущих составных частей изделия установочной серии с присвоением конструкторским документам литеры «А»
в) установившегося серийного и массового производства	Изготовление и испытание головной (контрольной) серии. Корректировка конструкторских документов по результатам изготовления головной (контрольной) серии с присвоением литеры «Б» конструкторским документам, окончательно отработанным и проверенным в производстве изготовлением изделий по зафиксированному и полностью оснащеному технологическому процессу

(техническое задание, техническое предложение, эскизный проект и т. д.) и соответствующие этапы работ, указанные в таблице 1.5.

Комплектность конструкторских документов. При определении комплектности конструкторских документов на изделие машиностроения в соответствии с ГОСТ 2.102-68 следует различать:

- основной конструкторский документ;
- основной комплект конструкторских документов;
- полный комплект конструкторских документов.

Основной конструкторский документ изделия в отдельности или в совокупности с другими записанными в нем конструкторскими документами полностью и однозначно определяет данное изделие и его состав. За основные конструкторские документы принимают:

- для деталей — чертеж детали;
- для сборочных единиц, комплексов и комплектов — спецификацию.

Изделие, примененное по конструкторским документам, выполненным в соответствии со стандартами ЕСКД, записывают в документы других изделий, в которых оно применено, за обозначением своего основного конструкторского документа.

Основной комплект конструкторских документов изделия объединяет конструкторские документы, относящиеся ко всему изделию (составленные на все данное изделие в целом), например сборочный чертеж, принципиальная электрическая схема, технические условия, эксплуатационные документы. Конструкторские документы составных частей изделия в основной комплект документов изделия не входят.

Полный комплект конструкторских документов изделия состоит (в общем случае) из следующих документов:

- основного комплекта конструкторских документов на данное изделие;
- основных комплектов конструкторских документов на все составные части данного изделия, примененные по своим основным конструкторским

документам.

Пример построения полного комплекта конструкторских документов комплекса приведен на рисунке 1.13.

В основной комплект конструкторских документов изделия могут входить также конструкторские документы, выпущенные на несколько однотипных изделий, если эти документы распространяются и на данное изделие. Например, технические условия, выпущенные на несколько однотипных изделий (о чем в них должны быть соответствующие указания или ссылки).

Номенклатура конструкторских документов, разрабатываемых на изделия в зависимости от стадий разработки, приведена в ГОСТ 2.102-68. Все документы подразделяются на документы обязательные и документы, которые составляются по усмотрению разработчика в зависимости от характера назначения или условий производства машины.

Пример построения полного комплекта конструкторских документов для каждой стадии проекта. Обязательными документами в рабочей документации являются чертежи деталей, сборочный чертеж, спецификация сборочных единиц, комплексов и комплектов.

В примере на рисунке 1.13 приведена только часть документов основного комплекта, предусмотренных стандартной номенклатурой. Эти документы показаны в прямоугольниках. Основные конструкторские документы изделия показаны в овале. Документы в двойных рамках показаны для изделий, предназначенных для самостоятельной поставки.

Характеристика конструкторских документов. *Техническое задание* устанавливает основное назначение, технические (тактико-технические) характеристики, показатели качества и технико-экономические требования, предъявляемые к разрабатываемому изделию, выполнение необходимых стадий разработки конструкторской документации и ее состав, а также специальные требования к изделию.

Техническое предложение представляет собой совокупность конструкторских документов, которые должны содержать технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации. Обоснование делается путем

анализа технического задания заказчика и различных вариантов возможных решений изделий, сравнительной оценки решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий, а также патентных материалов. Техническое предложение после согласования и утверждения в установленном порядке является основанием для разработки эскизного (технического) проекта.

Эскизный проект — совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия. Эскизный проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки технического проекта или рабочей конструкторской документации.

Технический проект является совокупностью конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации. Технический проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки *рабочей конструкторской документации*.

Ранее разработанные конструкторские документы применяют при разработке новых или модернизации изготавливаемых изделий в следующих случаях:

- в проекторной документации (техническом предложении, эскизном и технических проектах) и рабочей документации опытного образца (опытной партии) независимо от литерности применяемых документов;

- в конструкторской документации опытного образца (опытной партии) с литерами «Ох», «О₂» и другими, установочной серии с литерой «А» и установившегося серийного или массового производства с литерой «Б»

- Техническое задание (ТЗ) на проектирование технологического оборудования пищевых производств, как и других изделий машиностроения, рекомендуется выполнять в форме таблицы 1.6. Порядок составления, согласования утверждения ТЗ установлен ГОСТ 15.001-88. Этапы разработки задания при проектировании любых технологических машин, а содержание работ по этапам должно быть конкретизировано.

- Текстовые документы. К текстовым документам по ГОСТ 2.106-68 относятся следующие документы, выполняемые по установленным правилам и форме:

- ведомости: спецификаций (ВС); ссылочных документов (ВЦ); покупных
- изделий (ВП); технического предложения (ПТ); эскизного проекта (ЭП);
- технического проекта (ТП);
- пояснительная записка (ПЗ);
- программа и методика испытаний (ПМ);
- расчеты (РР).

- Рассмотрим подробнее текстовые документы, которые разрабатываются при курсовом и дипломном проектировании.

- Пояснительную записку, программу и методику испытаний, расчеты составляют по формам 5 и 5а, предусмотренным ГОСТ 2.106-68, а необходимые, таблицы и чертежи допускается выполнять на листах форматов, установленных в ГОСТ 2.301-68. При этом

основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.104-68 для первого или заглавного и последующих листов (соответственно форма 2 или 2а).

• Пояснительная записка (ПЗ) в общем случае должна состоять из следующих разделов:

- введение (с указанием, на основании каких документов разработан проект);
 - назначение и область применения проектируемого изделия; техническая характеристика;
 - писание и обоснование выбранной конструкции;
 - расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкции;
 - описание организации работ с применением разрабатываемого изделия;
 - ожидаемые технико-экономические показатели;
 - уровень нормализационной оценки или уровень унификации.
- В зависимости от особенностей изделия отдельные разделы допускается объединить или исключать, а также вводить новые разделы.

Программа и методика испытаний (ПМ) должна предусматривать:

- проверку соответствия изделия чертежам, техническим требованиям, паспортным данным и нормам точности;
- определение показателей качества и надежности изделия;
- проверку обеспечения стабильности работы изделия;
- проверку удобства обслуживания и проведения ремонта изделия;
- проверку комплектности изделия;
- проверку соответствия изделия требованиям техники безопасности;
- проверку продолжительности и режим испытаний, а также необходимые замеры во время испытаний.

Описание методов испытаний изделий по отдельным показателям рекомендуется располагать в той же последовательности, в которой эти показатели расположены в технических требованиях.

В методике испытаний необходимо также предусмотреть схемы и средства контроля и указать величину предельных отклонений.

Расчеты (РР) и порядок их изложения определяются характером рассчитываемых величин и в общем случае должны содержать:

- эскиз или схему рассчитываемого изделия;
- задачу расчета (с указанием, что требуется определить при расчете);
- данные для расчета;
- условия расчета;
- расчет;

- заключение.

Эскиз или схему допускается вычерчивать в произвольном масштабе, обеспечивающем четкое представление о рассчитываемом изделии.

2.2 Графическая часть проекта

В графическую часть проекта входят чертежи деталей, сборочные, общих видов, габаритные и монтажные для всех отраслей промышленности. Их выполняют с соблюдением общих правил выполнения чертежей по ГОСТ 2.301-68...2.316-68, 2.317-69, правил выполнения чертежей деталей, сборочных, общих видов, габаритных и монтажных по ГОСТ 2.109-73 и правил выполнения чертежей различных типовых изделий (пружин, зубчатых колес, реек, червяков, звездочек, цепных передач, металлоконструкций, деталей трубопроводных систем, электромонтажных, тары, подшипников, отливок и др.) по ГОСТ 2.401-68...2.425-74.

Чертежи деталей разрабатывают на каждую деталь изделия за исключением перечисленных в п. 1.3.3. Правила выполнения чертежей деталей и общие правила выполнения чертежей предусмотрены ГОСТ 2.109-73 и др. *Чертежи сборочные* должны содержать:

- изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу и обеспечивающих возможность осуществления сборки и контроля сборочной единицы. Допускается на сборочных чертежах помещать схемы соединения или расположения составных частей изделия, если их не оформляют как самостоятельные документы;
- размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены или проконтролированы по данному сборочному чертежу. На сборочных чертежах изделий индивидуального и опытного производства допускается указывать размеры деталей и предельные отклонения, определяющие характер сопряжения;
- указания о характере сопряжения и методах его осуществления, если точность сопряжения обеспечивается не заданными отклонениями размеров, а подбором, пригонкой и т. п., а также указания о способе соединения неразъемных соединений (сварных, паяных и др.);
- номера позиций составных частей, входящих в изделие;
- основные характеристики изделия;
- габаритные размеры изделия;
- установочные и присоединительные размеры, а также необходимые справочные размеры;
- координаты центра тяжести (при необходимости).

На сборочном чертеже не помещают характеристики, габаритные, установочные присоединительные и справочные размеры, если они указаны в другом конструкторском документе: габаритном чертеже, в технических условиях и др.

На сборочном чертеже допускается изображать перемещающиеся части изделия в крайнем или промежуточном положении с соответствующими размерами. Если при изображении перемещающихся частей затрудняется чтение чертежа, то эти части допускается изображать на дополнительных видах с соответствующими надписями,

например: «Крайние положения каретки поз. 5 ». Допускается также помещать изображение пограничных (соседних) изделий («обстановку») и размеры, определяющие их взаимное расположение.

Составные части изделия, расположенные за обстановкой, изображают как видимые. Предметы «обстановки» выполняют упрощенно и приводят необходимые данные для определения места установки, методов крепления и присоединения изделия.

Сборочные чертежи допускается выполнять упрощенно в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Допускается не показывать:

- фаски, скругления, проточки, углубления, выступы, накатки, насечки, оплетки и другие мелкие элементы;
- зазоры между стержнем и отверстием;
- крышки, щиты, кожухи перегородки и т. п., если необходимо показать закрытые ими составные части изделия. Над изображением делают соответствующую надпись, например: «Крышка не показана» или «Крышка (поз. 3) не показана»;
- видимые составные части изделий или их элементы, расположенные за стенкой, а также частично закрытые впереди расположенными составными частями;
- надписи на табличках, фирменных планках, шкалах и других подобных деталях, а также другие маркировочные и технические данные и надписи на изделии, изображая только контур таблички, планки и т. п.

Состав сборочной единицы (изделия) определяется спецификацией, правила и порядок заполнения которой установлены ГОСТ 2.108-68. Спецификация составляется на отдельных листах формата А4 по формам 1 и 1а для заглавного и последующих листов соответственно.

Если необходимо указать на сборочном чертеже наименования или обозначения предметов, составляющих «обстановку», или их элементов, то эти указания помещают непосредственно на изображении «обстановки» или на полке линии-выноски, проведенной от соответствующего изображения, например: «Автомат давления (обозначение)»; «Патрубок маслоохладителя (обозначение)» и т. п.

Присвоение наименований и обозначений защитным временным деталям, изображение их на сборочном чертеже и запись в спецификацию производят по правилам, установленным для деталей основного производства. Количество сборочных чертежей должно быть минимальным, но достаточным для проведения по ним рационального процесса сборки изделий. При необходимости в сборочных чертежах приводят данные о работе изделия и о взаимодействии его частей.

Чертежи общего вида должны содержать изображения изделий с их видами, разрезами, сечениями, а также текстовую часть и надписи, необходимые для понимания конструктивного устройства изделия, взаимодействия его основных составных частей и принципа работы изделия, а также данные о составе изделия. На чертеже общего вида допускается помещать техническую характеристику изделия.

Габаритные чертежи разделяют на чертежи изготавливаемых или проектируемых изделий; справочные покупных изделий.

На габаритном чертеже изделие изображают так, чтобы были видны крайние положения перемещающихся, выдвигаемых или откидываемых частей, рычагов, кареток, крышек на петлях и т. п. Изображения изделия выполняют с максимальными упрощениями. Допускается не показывать элементы, выступающие за основной контур на незначительную величину по сравнению размерами предмета.

Количества видов на габаритном чертеже должно быть минимальным, но достаточным для исчерпывающего представления о внешних очертаниях изделия; о положении его выступающих частей (рычагов, маховиков, ручек и т. п.); об элементах,

которые должны быть постоянно в поле зрения (например, шкалах); о расположении элементов связи изделия с другими изделиями

Изображение изделия на габаритном чертеже выполняют сплошными основными линиями, а очертания перемещающихся частей в крайних положениях - штрихпунктирными тонкими линиями. Крайние положения перемещающихся частей допускается изображать на отдельных видах. Допускается изображать детали и сборочные единицы, не входящие в состав изделия и предназначенные для связи изделия с другими изделиями.

На габаритном чертеже проставляют габаритные размеры изделия, установочные и присоединительные размеры и при необходимости размеры, и при необходимости размеры, определяющие положение выступающих частей. Установочные и присоединительные размеры, необходимые для увязки изделия с другими изделиями, должны быть проставлены с предельными отклонениями. Допускается указывать координаты центра тяжести.

На справочном габаритном чертеже покупной детали графу основной надписи указания материала заполняют в соответствии с документом (чертеж завода - поставщика, технические условия и т. д.), на основании которого выпускается габаритный чертеж.

На габаритном чертеже разрабатываемого изделия допускается указывать условия применения, хранения, транспортирования и эксплуатации изделия при отсутствии этих данных в техническом описании, технических условиях или другом конструкторском документе на изделие. Габаритные чертежи не предназначаются для изготовления по ним изделий и не должны содержать данных для их изготовления и сборки. На габаритных чертежах содержать данные, что все размеры, приведенные на них, справочные.

Пример оформления габаритного чертежа разрабатываемого изделия при-на рисунке 1.15.

Монтажные чертежи разрабатывают предприятия-поставщики изделия для проведения монтажа, и они служат исходными документами для выполнения посадочных мест на чертежах сопрягаемых изделий.

Монтажный чертеж должен содержать:

- изображение монтируемого изделия;
- изображение предметов, применяемых при монтаже изделия, а также полное или частичное изображение устройства (конструкции фундамента), к которому изделие крепится;
- установочные и присоединительные размеры с предельными отклонениями;
- технические требования к монтажу изделия.

Монтажные чертежи допускается выпускать на изделия:

- монтируемые на одном определенном месте (устройстве, объекте, фундаменте);
- монтируемые на нескольких различных местах (устройствах, объектах).

Монтажный чертеж выполняют по правилам, установленным для сборочных чертежей, с учетом правил, изложенных в настоящем разделе.

3.1 Характеристика объекта проектирования.

3.2 Структура и классификация технологических машин и аппаратов

3.3 Системное проектирование линий

3.1 Характеристика объекта проектирования.

Технологическое оборудование пищевых производств предназначено для осуществления технологического процесса, который заключается в искусственном воздействии на перерабатываемый продукт с целью изменения его свойств, формы или размеров. Способы такого воздействия исключительно разнообразны, однако любой из них связан с затратами и преобразованием энергии и особенностями технологического процесса. Технологическое оборудование принято делить на *аппараты* и *машины*. В **аппаратах** процессы (физико-химические, химические, биотехнологические) не связаны с затратами механической энергии, а механическая работа производится только для транспортирования перерабатываемого вещества или его перемешивания. Аппараты, в которых осуществляются биотехнологические процессы, называются биореакторами.

С помощью **машин** осуществляются процессы, основанные на механической работе по изменению формы, положения, размеров, структуры и других свойств предметов переработки.

В пищевом производстве имеет распространение оборудование, в котором механическая обработка сочетается с нагревом, охлаждением, массообменом и химическими реакциями. Поэтому деление технологического оборудования на машины и аппараты становится условным. В общем случае технологический процесс реализуется в линии, состоящей из машин, аппаратов и агрегатов, согласованных по производительности, и связывающих их транспортирующих устройств.

Каждая отдельная машина (аппарат), работающий в составе линии, влияют как непосредственно, так и косвенно на работу других машин и аппаратов и, следовательно, на эффективность производственного процесса.

Общим для различных технологических машин является то, что в них организован и функционирует процесс преобразования исходного сырья в продукт. Такой процесс имеет определенные закономерности, которые при проектировании технологического оборудования.

Кроме того, конструкции проектируемых машин и аппаратов должны удовлетворять требованиям как потребителя — пищевого предприятия, так и завода — изготовителя оборудования. К основным требованиям производителя оборудования относятся серийность и стабильность изготовления конкретной машины, технологичность деталей и сборочных единиц. С позиции пищевого предприятия конструкция машины или аппарата должна соответствовать требованиям: выполнение заданного технологического процесса при высоком качестве продукта обработки; высокая экономичность, надежность и долговечность; малая энергоемкость; простота и удобство обслуживания и ремонта; свободная сборка-разборка; динамическая уравновешенность; соответствие техническому уровню обслуживающего персонала.

Характерной особенностью пищевого производства является многочисленность перерабатывающих отраслей, требующих большого количества разнообразных машин, аппаратов, механизмов, транспортирующих устройств, средств автоматизации, приспособлений. Большая номенклатура технологического оборудования — явление отрицательное и трудно устранимое по следующим причинам:

- сельскохозяйственные продукты, подлежащие переработке, отличаются большим разнообразием по физическим, химическим и биологическим свойствам, что требует различных машин и аппаратов;
- предприятия имеют различные производственные программы, в связи с чем требуются машины различной производительности и степени универсальности. Из-за

этого приходится строить их отличающимися по конструкции и даже по принципу действия для одних и тех же пищевых сред и технологических процессов.

По указанным причинам в настоящее время большинство конструкция машин не соответствуют одному из главных принципов конструирования — повышению серийности и стабилизации выпуска технологического оборудования. В то же время только в условиях серийного и стабильного выпуск* имеется возможность довести конструкцию до высоких технико-экономических показателей, сделать ее надежной и долговечной. Основным направлением разрешения обозначенного противоречия является сокращение номенклатуры объектов машиностроения (деталей, сборочных единиц, изделий в целом), что влечет за собой повышение серийности и стабилизации выпуска оставшихся в номенклатуре.

Этот важнейший принцип конструирования может быть реализован различными путями, известными в машиностроении:

- унификацией элементов конструкций (внешней и внутренней), включающей методы стандартизации, нормализации, секционирования, базового агрегата, компаундирования, групповой технологии, модификации и др.:
- стабилизацией производства машин и аппаратов за счет создания конструкций, обладающих многофункциональностью и ресурсами совершенствования, резервами производительности, мощности, полезной отдачи, диапазона выполняемых операций. Все это позволяет последовательно: модернизировать машину и поддерживать ее показатели на уровне возрастающих технических требований без смены основной модели и, следовательно, без ломки технологии производства, неизбежной при пере- ходе на другую конструкцию.

В правильно спроектированных технологических системах *все процессы связаны между собой и идут в едином ритме*. Условие единого ритма должно соблюдаться не только внутри отдельных частей системы, но и при взаимодействии ее со средой, Ритмичность и периодичность процессов является обязательным свойством правильно спроектированных технологических систем. Под связями технологических систем понимаются транспортирующие устройство, по которым осуществляется снабжение сырьем, передача промежуточных продуктов и отгрузка готовой продукции. Эти материальные связи разрабатывает специалист по оборудованию пищевых производств или заимствует их из других отраслей промышленности. Энерго-, водо-, воздухоснабжение и другие виды обеспечения разрабатываются специалистами соответствующих отраслей.

Технический уровень проектно-конструкторской разработки изделия оценивается методом сопоставительного анализа новой разработки с существующими аналогичными объектами в отечественной и зарубежной практике по имеющимся методикам.

3.2 Структура и классификация технологических машине и аппаратов

Структура машины. *Технологическая машина* в простейшем случае представляет собой совокупность функционально связанных между собой рабочих органов, искусственного источника механической энергии (двигателя) и промежуточных устройств. *Рабочие органы* (РО) непосредственно или с помощью инструментов воздействуют на *обрабатываемый объект* (ОО).

Промежуточные устройства — это либо преобразователь энергии (например, гидropередача), либо преобразователи механического движения (механические передачи: редукторы, мультипликаторы). Совокупность двигателя с промежуточной передачей принято называть *приводом*.

Рабочие органы машины приводятся в движение с заданным законом *исполнительными механизмами* (ИМ) — силовыми механизмами, связывающими главный

вал машины или непосредственно источник механического движения с рабочим органом. Рабочие органы являются ведомыми звеньями исполнительных механизмов, и иногда бывает трудно провести точную границу между теми и другими. В соответствии с характером операций (основных или вспомогательных) и рабочие органы также могут быть основными и вспомогательными. Для технологических машин характерно наличие в них подналадочных механизмов (регуляторов), контрольно-измерительных приборов (КИП), органов управления — пусковых кнопок, блокировочных устройств и т. п.

По способу реализации программы выполнения технологического процесса технологические машины подразделяются на простые, многооперационные, автоматические и машины с полностью автоматическим управлением.

В простой машине (рис. 2.1а) программа выполнения технологического процесса задается и осуществляется оператором посредством рабочих органов (РО), связанных с двигателем (Д) силовой передачей, а по показаниям КИП осуществляется регулирование процесса.

В многооперационных автоматических машинах функции управления процессом частично переданы самой машине. На рисунке 2.1б показана структурная схема такой машины. В ней программносителем и одновременно распределителем механической энергии, передающейся от Д к комп- 1-РО, является распределительно-управляющий вал (РУВ). На валу установлены ведущие звенья исполнительных механизмов, которые задают определенные законы движения рабочих органов.

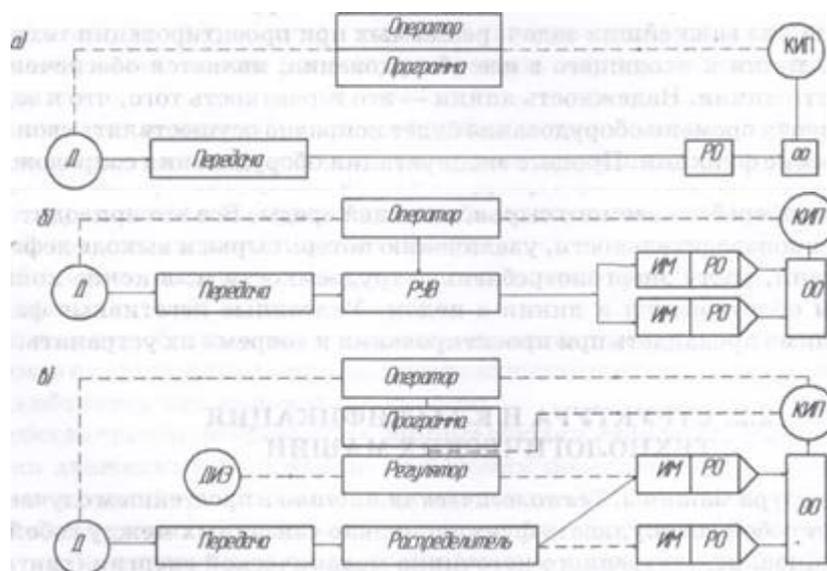


Рис. 2.1 Схемы технологических машин

По характеру действия, т. е. по характеру движения и взаимному расположению обрабатываемых объектов и рабочих органов, все технологические машины делятся на два вида:

- *однопозиционные*, или непрерывные, (ОПМ) циклического действия без транспортирования обрабатываемых объектов внутри машины;
- *поточные*, или проходные, (ПМ), для которых характерно транспортирование обрабатываемых объектов внутри машины. Поточные машины можно разделить на *прерывно-поточные* (ППМ) с чередованием движения и остановок и *непрерывно-поточные* с непрерывным движением ОО внутри машины.

По степени автоматизации технологические машины делятся на простые, полуавтоматические, автоматические и самонастраивающиеся. *Простыми машинами* называются такие, в которых основные технологические операции осуществляются РО при активном участии человека. Если основные технологические операции машина выполняет без участия человека, а он осуществляет только подачу, установку и сьем 00, то машина называется *полуавтоматом*. *Автоматом* называется машина, в которой все операции (основные и вспомогательные) совершаются по заранее заданной программе без участия человека. Если автомат способен производить логические операции и сам вырабатывать в соответствии со своим целевым назначением программу действия с учетом переменных условий протекания технологического процесса, то его называют *самонастраивающимся*.

Систему **автоматизации** машин составляет совокупность органов автоматического управления, силовых исполнительных механизмов, силовых и командных каналов связи. Системы автоматизации классифицируются по способу передачи энергии и по способу управления.

По способу **передачи энергии** от источника (двигателя) к РО и виду ИМ различают механическую, гидравлическую, пневматическую, электрическую и комбинированные системы автоматизации. В механической передача энергии движения осуществляется с помощью различного рода механизмов с жесткими или гибкими звеньями. В гидро- и пневмосистемах энергия вращательного движения двигателя гидронасосом или компрессором преобразуется потенциальную или кинетическую энергию жидкости или воздуха. Затем с помощью вторичных преобразователей (гидро- или пневмодвигателей) совершается механическая работа. Управление осуществляется специальными распределительными, регулирующими и вспомогательными устройствами.

По способу управления исполнительными механизмами и виду программирования различают системы автоматизации с центральным жестким управлением с постоянной и смешанными программами; с путевым управлением; с обратной связью.

Путевое управление обеспечивает включение в работу каждого последующего механизма предыдущим во время или в конце движения с помощью различного рода конечных включателей, упоров, пневмоклапанов, гидropriлотов, фотоэлементов и других путевых устройств. Такое управление часто применяется в машинах-автоматах с гидравлической и пневматической системами автоматизации.

3.3 Системное проектирование линий

Технологическая схема и ее реализация. Практика создания технологических систем подтверждает, что «новые» технические решения представляют, по существу, композицию (декомпозицию) как известных ранее, так и новых дополнительных) функциональных и конструктивных моделей. Развитие технологической системы должно быть направлено на повышение степени: инородности структуры, минимизации числа и снижение сложности типовых процессов и операций и ориентировано на максимальное использование типовых решений при формировании структуры системы. Существенен улучшение показателей качества технологической системы по сравнению с прототипами достигается при использовании новых физических, химических и биохимических принципов для реализации операторов системы.

Связи в технологических потоках. Строение технологического потока определяются связями между его отдельными операциями. По виду связи потоки:

- с жесткой связью между выходом каждой предыдущей и входом каждой последующей операции, в этом случае длительность каждой операции должна быть одинаковой или кратной циклу ведущей операции;

- полужесткой связью, когда поток имеет группы операций с жесткой связью внутри себя, а между группами осуществляются гибкие связи в виде операций хранений, которые конструктивно реализуются в накопителях, бункерах, емкостях, ветвях конвейеров и т. д.;

- с нежесткой связью, когда операция хранения предусмотрена между каждыми из двух технологических операций.

Лекция 4 Конструирование машины и аппараты

4.1 Общие правила конструирования.

4.2 компоновка конструкции.

4.3 выбор силовой схемы.

Свое служебное назначение машина и ее механизмы выполняют посредством ряда поверхностей или их сочетаний, принадлежащих отдельным деталям машины (или сборочной единицы). Эти поверхности называются *исполнительными*. Например, поверхности винта и желоба винтового конвейера, оси валов соединяемых механизмов, поверхности зубьев в зубчатых передачах, поверхности кулачка и элемента толкателя и т. д. Исполнительные поверхности машины, механизма, сборочной единицы занимают определенные относительные положения и могут иметь относительные движения по тем или иным законам в соответствии со служебным назначением. Каждая конструкция состоит из отдельных сборочных единиц и деталей, служебное **назначение** которых *подчиняется служебному* назначению машины в целом.

Разработка технических требований и норм точности *представляется* достаточно сложным процессом, поскольку они являются отражением служебного назначения изделия. Конструктор должен обосновать задаваемые требования и нормы точности и выразить их в явной форме. Разработка технических требований и норм точности производится на основе:

- теоретических исследований физической сущности явлений технологического процесса, возникающих при работе технологической машины;
- проведенных экспериментов на опытных образцах и моделях или на первых экземплярах машины или отдельных ее частях;
- изучения опыта эксплуатации машин аналогичного типа;
- суждений логического характера, которыми обладает конструктор.

Только идя от служебного назначения к техническим требованиям и нормам точности, можно обеспечить правильность и достаточность последних.

Чтобы перейти от служебного назначения машины или агрегата к техническим требованиям и нормам точности, необходимо:

- выявить исполнительные поверхности (ИП) машины или агрегата;
- выявить виды связей ИП, посредством которых машина должна осуществлять технологический процесс или производить продукцию;
- осуществить переход от параметров технологического процесса или продукции к параметрам исполнительных поверхностей;
- преобразовать эти связи ИП в размерные связи и установить нормы точности размеров, формы, относительного положения и движения ИП машины, агрегата, сборочной единицы.

Технические требования на сборочные единицы и детали в общем случае устанавливаются путем размерного анализа — построения и расчета *соответствующих конструкторских (сборочных) размерных цепей*, выражающих размерные связи исполнительных поверхностей и соответствие допусков замыкающего размера (звена)

служебному назначению изделия. Технические требования указываются на чертежах, в стандартах, выпускных или приемочных документах и должны быть достаточными для *выполнения* изделиями своего служебного назначения.

4.1 Общие правила конструирования

Процессы и приемы конструирования. Исходными материалами для проектирования машины могут быть:

- техническое задание заказчика, определяющие параметры машины, область и условия ее применения, технологические требования;

- техническое предложение, выдвигаемое в инициативном порядке проектно-конструкторской организацией или группой конструкторов;
- результаты научно-исследовательской работы или созданный на ее основе экспериментальный образец машины;
- изобретательское предложение или созданный на его основе экспериментальный образец машины или ее части;
- образец современной зарубежной машины, подлежащий копированию или воспроизведению с обоснованными переделками.

Наиболее общим случаем является первый — он включает в себя весь *объем проектирования* со всеми этапами. К техническим заданиям следует подходить критически. Конструктор обязан проверить его и, если потребуется, доказать необходимость его корректирования. Если проектируемое изделие подлежит серийному выпуску, то наряду с удовлетворением требований заказчика целесообразно обеспечить технический уровень, соответствующий лучшим мировым образцам, и возможность широкого применения в том числе в смежных отраслях промышленности.

С момента начала проектирования до внедрения машины в промышленность обычно неизбежен длительный период, складывающийся из следующих этапов: проектирования, изготовления и доводки опытного образца; его испытаний, доделок и переделок; испытаний и приемки опытного образца изготовления технической документации головной серии и ее промышленных испытаний; разработки серийной документации, подготовки производства, организации серийного выпуска.

Процесс длится два-три года, за которые машина при неправильно выбранных и заниженных параметрах, шаблонных решениях, не обеспечивающих требований технического прогресса, устаревает уже к началу серийного выпуска и разработка машины утрачивает актуальность.

Конструктивная преемственность при проектировании предполагает эффективное использование предшествующего опыта машиностроения данного профиля и смежных отраслей, введение в конструкцию всего полезного из существующих машин. Почти каждая современная машина представляет *собой итог* работы конструкторов нескольких поколений. Начальную модель машины постепенно совершенствуют, снабжают новыми узлами и агрегатами обогащают новыми конструктивными решениями. С течением времени завышаются технико-экономические показатели машин: мощность и производительность, степень автоматизации, надежность и долговечность. Анализ изменения по годам главных параметров машин (мощность, производительность, масса и т. д.) позволяет установить тенденцию конструктивных решений и прогнозировать параметры машин и их конструкции в перспективе.

Проектируемая машина должна удовлетворять своему функциональному назначению не только обладая высокими эксплуатационными показателями и быть простой и дешевой в изготовлении. Конструктору в связи с этим необходимо знать современную технологию машиностроения и конструкционные материалы. Наряду с рассмотренными выше принципами обеспечения технологичности конструкции стандартизацией, унификацией,

агрегатированием и другими конструктор должен соблюдать технологической преемственности.

Выбор конструкции должен основываться на факторах, определяющих экономическую эффективность машины, — высокая полезная отдача, малые энергопотребление, расходы на обслуживание и эксплуатацию и длительный срок применения. Основную конструктивную схему машины обычно выбирают путем параллельного анализа нескольких вариантов. Сравнительная оценка делается по конструктивной целесообразности, степени совершенства кинематической и силовой схем, стоимости изготовления, энергоемкости, расходам на рабочую силу, надежности работы, габаритам, металлоемкости и массе, технологичности, удобству обслуживания, сборки-разборки, осмотра, наладки, регулирования.

Разработка вариантов — закономерный метод конструирования, позволяющий найти наиболее правильное решение путем сравнительного анализа вариантов.

Окончательный выбор варианта зависит от условий его применения и важнейших достоинств конструкции в этих условиях. Одним из основных методов при разработке вариантов является метод инверсии.

Метод инверсии — обращение функций, форм и расположения деталей часто позволяющий легко решать сложные задачи конструирования.

Например, поменять детали долями: ведущую сделать ведомой, направляющую-направляемой, неподвижную-подвижной, наружный конус заменить внутренним, выпуклую поверхность — вогнутой и т. п. При этом каждая конструкция приобретает новые свойства. Конструктор, рассматривая преимущества и недостатки исходного и инверсированного вариантов с точки зрения прочности, технологичности и удобства эксплуатации, выбирает лучший из них. Метод инверсии часто значительно облегчает поиск решений, приводящих к рациональной конструкции.

4.2 Компоновка конструкции

Основные правила. В конструкторской практике после выбора принципиальной схемы машины (агрегата, сборочной единицы) и основных показателей выполняют компоновочные работы, состоящее из двух этапов: эскизного и рабочего. В *эскизной компоновке* разрабатывают основную схему и общую конструкцию агрегата (сборочной единицы). По результатам эскизной компоновки составляют *рабочую компоновку*, уточняющую конструкцию агрегата и служащую основанием для дальнейшего проектирования.

При компоновке рекомендуется следовать нескольким общим правилам, которые вытекают из опыта создания машин:

- выделить главное из второстепенного и установить правильную последовательность разработки конструкции, избегая механического нанизывания конструктивных элементов и узлов;
- решить главные вопросы — выбор рациональных кинематической и силовой схем, правильных размеров и формы деталей, определения наиболее целесообразного взаимного их расположения;
- идти от общего к частному, а не наоборот, избегая подробностей конструкции на данном этапе, так как это отвлекает конструктора от основных задач при компоновке и сбивает логический ход разработки;
- разработать варианты, проанализировать и выбрать рациональный вариант для данных условий. На этом этапе полная разработка варианта необязательна, но должна быть достаточной, чтобы убедиться в целесообразности продолжения работы над выбранным вариантом;
- в процессе компоновки необходимо проводить расчеты хотя бы ориентировочно, 1е и приближенные;
- постоянно иметь в виду вопросы изготовления деталей и придавать им

- технологически целесообразные формы;
- соблюдать нормальные размеры (диаметры посадочных поверхностей, диаметры резьбы и т. д.);
 - последовательно добиваться максимальной унификации и нормализация конструктивных элементов во всех частях конструкций;
 - учитывать все условия, определяющие работоспособность агрегата — системы смазки, охлаждения, сборки-разборки, крепления агрегата и присоединения к нему смежных деталей;
 - предусматривать условия удобного обслуживания, осмотра и регулирования механизмов;
 - выбрать материалы для основных деталей и предусматривать способы повышения долговечности, увеличения износостойкости трущихся поверхностей, защиты от коррозии;
 - исследовать возможность формирования агрегата и определить его границы;
 - не исключать возможность возвращения к ранее забракованным схемам и решениям или разработки новых;
 - учитывать беспристрастное мнение посторонних людей, указания старших по должности, придирчивую критику;
 - *не жалеть* времени и усилий на проработку проекта, так как стоимость проектных работ составляет незначительную долю стоимости выпуска машин (за исключением единичного и мелкосерийного производства).

4.3 Выбор силовой схемы

Обоснованный выбор рациональной силовой схемы позволяет существенно повысить эффективность изделия за счет упрощения конструкции опор и снижения действующих нагрузок на несущие элементы. Рациональные конструктивные схемы имеют также большие возможности уменьшения массы машины. Основные направления создания таких схем — это создание конструкций с наименьшим числом деталей и наиболее выгодным распределением силового потока. И тот и другой случай приводят к созданию компактных конструкций и рациональному использованию габаритных размеров.

Масса изделия во многом зависит от *силовой схемы*, т. е. от способа восприятия и замыкания главных действующих в конструкции нагрузок. Силовая схема рациональна, если силы замыкаются на коротком участке элементами, работающими предпочтительно на растяжение или сжатие. Целесообразно использовать имеющиеся элементы конструкции, так как введение специальных элементов увеличивает массу. Эффективность совершенствования силовых схем рассмотрим на примерах.

Лекция 5 Конструирование сборочных единиц

5.1 Технологичность конструкций сборочных единиц

5.2 Технологичность конструкций машин

В процессе конструирования машины конструктор преобразует полученные решения в реальные чертежи машины, в которых заложены сборочные единицы и виды сборки. Само название «сборочная единица» предполагает, что часть машины получается в результате последовательного соединения деталей, узлов и агрегатов в функциональное целое. При этом конструктор, помимо технических показателей, обязан обеспечить ряд показателей, характеризующих технологичность конструкции: взаимозаменяемость собираемых изделий, регулируемость, контролепригодность, инструментальную доступность.

Взаимозаменяемость составной части изделия дает возможность ее применения в машине вместо другой, одноименной, без дополнительной обработки с сохранением заданного качества изделия. Регулируемость обеспечивает удобство регулирования конструкции при сборке, техническом обслуживании и ремонте для достижения или

поддержания ее работоспособности. Контролепригодность конструкции предполагает возможность, удобство и надежность ее контроля при изготовлении, испытании и ремонте. Инструментальная доступность позволяет получить свободный доступ инструмента к поверхностям конструкции изделия при изготовлении, контроле, испытании техническом обслуживании и ремонте.

Методы сборки. Требуемая точность взаимного расположения деталей в механизме достигается различными *методами сборки*: полной, неполной (частичной) и групповой взаимозаменяемости; подбора; пригонки по месту (с неподвижным компенсатором); регулировки (с подвижным компенсатором или набором прокладок). Первые два метода относятся к методам взаимозаменяемости, последние — к методам технологической компенсации.

При сборке по методу полной взаимозаменяемости все детали или узлы при их установке в машину не требуют никакой механической обработки и регулировки. Замена любой детали не вызывает изменения качества работы машины. Точность замыкающего звена размерной цепи достигается в любом случае. Такая сборка проста и экономична, но требует высокой точности изготовления деталей. Она окупается при массовом производстве, создавая для автоматизации сборки.

Не полная (частичная) взаимозаменяемость заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена достигается не во всех размерных цепях, а у подавляющего их большинства. Это позволяет устанавливать большинство по значению допуска на составляющие звенья. Такой метод достижения точности сборки называется *методом неполной взаимозаменяемости*.

Он осуществляется так же, как и метод полной взаимозаменяемости, но допускает некоторый небольшой процент риска выхода размера замыкающего звена за пределы допуска.

Метод групповой взаимозаменяемости предполагает перед сборкой сортировать детали по группам в соответствии с определенными правилами (селективная сборка). Этот метод применяется в условиях массового и крупносерийного производства, но только когда невозможно технически и технологически обеспечить условия полной и неполной взаимозаменяемости. Он позволяет существенно снизить требования к деталям, однако имеет организационные трудности.

Метод подбора заключается в том, что сборщик согласно измеренным размерам подбирает детали так, чтобы выполнялось условие.

В продовольственном машиностроении преобладает мелкосерийный тип производства с большим объемом ручных работ, пригоночных операций и регулировок. Трудоемкость сборочных работ при этом составляет 30...35% общей трудоемкости производства машин.

Для технологического процесса сборки машин в продовольственном машиностроении характерны следующие основные этапы:

- соединение деталей в сборочные единицы (узловая сборка);
- уравновешивание (балансировка) деталей и сборочных единиц;
 - общая сборка изделия;
 - обкатка и испытание машины (гидроиспытания, проверка плавности хода, контроль прилегания зубьев, контроль выходных параметров и др)

В собственно сборочные операции входят:

- координирование и сопряжение деталей — соединения;
- *регулирование* узлов механизмов и сборочных единиц в процессе сборки;
- промежуточная сборка для совместной обработки деталей и *определения* размеров компенсатора.

5.1 Технологическая конструкция сборочных единиц

Однако из основных требований технологичности заключается в том, чтобы машина состояла из ряда сборочных единиц (узлов, подузлов, комплектов) и отдельных

деталей. Такое деление изделий машиностроения на сборочные единицы необходимо для облегчения сборки и позволяет создавать машины по агрегатному принципу, например из набора унифицированных сборочных единиц, стандартизированных узлов и серийно выпускаемых узлов, покупных изделий. Появляется возможность сократить число специальных сборочных единиц и тем самым сократить затраты на производство. Членение машины на отдельные сборочные единицы позволяет осуществить их независимо одна от другой и, следовательно, сократить сроки изготовления всей машины. В свою очередь технологичность сборочной единицы прежде всего заключается в том, чтобы она содержала как можно меньшее число деталей. Их сокращение достигается путем объединения в одной детали функций нескольких. Это уменьшает объем сборочных операций либо полностью исключает их. Например, винт с буртом выполняет функции винта и шайбы; закладная крышка подшипникового узла освобождает от применения нескольких винтов, резьбовых отверстий в корпусе, обработки торцовых поверхностей под крышку, завинчивания и затягивания винтов. Применение упругих элементов обеспечивает соединение и закрепление деталей разборных изделий, автоматическое обеспечение требуемых зазоров или натягов при сборке и в эксплуатации изделий.

Деталь наибольших габаритных размеров в изделии должна по возможности быть базовой и при сборке исполнять функции приспособления. Требуется, чтобы она была жесткой, ее положение было устойчивым и неизменным. Присоединяемые детали должны свободно устанавливаться на базовую сверху прямолинейными движениями рабочего инструмента. Всем деталям собираемых изделий необходимо придать конфигурацию, облегчающую процесс соединения (заходные фаски, направляющие элементы). Отверстия под крепежные детали в базовой детали должны располагаться равномерно с заданной точностью. Желательна замена шпоночных и шлицевых соединений цилиндрическими или коническими сопряжениями с гарантированным натягом. В этом случае предпочтительнее конические соединения, позволяющие осевой затяжкой обеспечить требуемый натяг и передачу требуемого крутящего момента.

Для облегчения транспортирования, ориентации и базирования присоединяемых деталей при сборке они должны отвечать требованиям приспособлений оборудования, используемых при сборке. Поэтому, уже при конструировании изделий и деталей нужно учитывать весь комплекс движений, которые придется выполнять при сборке. Отработка конструкции изделия на технологичность предусматривает сокращение затрат времени и средств на технологическую подготовку производства и процессы его изготовления. Ответственным за технологичность конструкции является конструктор. Основное требование к технологичности конструкции — ее соответствие технологическим требованиям производства, заданной серийности и степени автоматизации сборки, технического обслуживания и ремонта. Порядок и правила отработки конструкции сборочной единицы на технологичность регламентируются отраслевыми стандартами и ГОСТ 14.201-83.

В процессе разработки **технического задания** окончательно уточняется изделие-аналог, которое вносится в задание. Уточнение делается путем группирования всех изделий как отечественного, так и зарубежного производства в специальную матрицу показателей технологичности изделий-аналогов. Знание показателей, тенденции развития науки и техники в данной области позволяют выбрать изделия-аналоги и по ним определить границы использования стандартных, унифицированных, заимствованных и покупных деталей и сборочных единиц. На стадии разработки технического задания путем функционально-стоимостного *анализа окончательно* принимается технологическая схема работы изделия и определяются нормативные (базовые) показатели технологичности.

При разработке **рабочей конструкторской документации** принимаются

окончательные решения по всем **без** исключения задачам, стоящим перед конструктором *при разработке* технической документации. Производится окончательная отработка конструкции изделия на технологичность и дается *оценка* соответствия требованиям процессов изготовления и соответствия материалов деталей номенклатуре, ограничивающей список применяемых материалов.

5.2 Технологичность конструкций машин

В комплекс работ по технологической подготовке производства входит обеспечение технологичности конструкции изделий. Одну из главных задач комплекса — обеспечение технологичности сборки — решают путем конструктивно-технологического анализа, руководствуясь основными требованиями технологичности. Номенклатура показателей технологичности для однотипных изделий с учетом их конструктивных особенностей, как было отмечено ранее, устанавливается отраслевыми стандартами. Если стандарты отсутствуют, то при оценке технологичности конструкции за основу могут быть взяты общие требования, которые охватывают минимальное количество показателей и не обязательно учитывают специфику отрасли.

Технологичность конструкции характеризует один из основных показателей качества — экономичность. В связи с этим критерием технологичности конструкции является ее экономическая целесообразность при заданном качестве и принятых условиях производства, эксплуатации и ремонте на протяжении всего жизненного цикла машины. К условиям изготовления и ремонта изделия относятся тип, специализация и организация производства, годовая программа и повторяемость выпуска, а также применяемые технологические процессы. Таким образом, основной задачей отработки конструкции на технологичность является повышение производительности труда при оптимальном снижении затрат на производство и эксплуатацию машины.

Основные требования технологичности. По качественной оценке технологичность конструкций сборочных единиц должна соответствовать следующим признакам:

- простота компоновочной схемы машины или механизма в целом и отдельных составных частей;
- унификация составных частей и элементов конструкций;
- членение изделия на самостоятельные составные части, допускающие независимую и параллельную сборку, контроль и испытание;
- конструктивные сборочные единицы, самостоятельные и функциональные должны также быть и технологическими сборочными единицами;
- возможность последовательной установки собираемых деталей при неизменном положении базовой детали;
- наличие в конструкции сборочных баз и фиксирующих элементов, **выполненных** при механической обработке деталей, которые определяют требуемое положение деталей в узле, агрегате и в машине;
- отсутствие необходимости предварительной, иногда многократной сборки узлов, промеров, проверок работы и последующих разборок для внесения исправлений;
- обеспечение независимой разборки;
- обеспечение беспригоночной сборки, так как пригонка лишает конструкцию взаимозаменяемости и снижает качество сборки;
- обоснованная система простановки размеров.

Лекция 6 Общие сведения

6.1 Тенденции развития

Общие сведения. Преимущественное распространение в большинстве

технологических машин получили электроприводы, состоящие из электродвигателя, комплекса аппаратуры для управления двигателем и передаточного механизма для преобразования параметров механического движения и передачи его от двигателя к рабочему органу машины.

Основными механизмами и элементами приводов машин являются электродвигатели, промежуточные механические передачи, приводные элементы, звездочки, блоки), тормоза (или остановы), ограничители крутящего момента и муфты. Приводы часто конструктивно оформляются в виде станций, в которых перечисленные механизмы и элементы обычно устанавливаются на общем основании — раме, станине, фундаменте. Требования к приводу машин: компактность и простота конструкции; эксплуатационная надежность; технологичность изготовления и монтажа; экономичность; плавность пуска, снижение динамических нагрузок в период неустановившегося движения; точность движения; наличие устройств, останавливающих машину при нарушении технологического процесса; безопасность работы.

Промежуточные механические передачи в электроприводах могут быть выполнены набранными из открытых передач (устаревшее схемное решение), полностью из редуктора (наилучшая конструкция), комбинированными с редуктором и дополнительными открытыми клиноременной, зубчатой или цепной передачами (например, мотор-барабаны).

В приводах технологических машин все большее распространение получают системы управления, позволяющие осуществлять ступенчатое и бесступенчатое регулирование частоты вращения и плавный пуск. Электроприводы, в том числе и мотор-редукторы, укомплектовываются многоскоростными электродвигателями, преобразователями частоты различных модификаций и устройствами плавного пуска, которые используются совместно с трёхфазными асинхронными электродвигателями. Возможность бесступенчатого регулирования частоты вращения выходного вала привода в широком диапазоне с сохранением вращающего момента и мощности в ряде случаев позволяет отказаться от применения привода с дорогостоящими электродвигателями постоянного тока.

Системы управления приводами технологических машин, позволяющие осуществлять бесступенчатое регулирование частоты вращения и плавный пуск, оснащаются прогрессивными, экономичными и многофункциональными преобразователями частоты (ПЧ) и устройствами плавного пуска и защиты электродвигателей.

6.2 Компоновочные решения приводов

Приводы технологических машин в зависимости от их сложности включают различные типы передач, редукторы, вариаторы, муфты, подшипниковые опоры. В простейшем случае привод рабочего органа может состоять только из двигателя. Анализ конструкций показывает, что большинство технологических машин имеют горизонтальное и вертикальное расположенное рабочих органов или исполнительных механизмов (реже — наклонное), достаточно сложную пространственную компоновку составных частей, различные характер и скорость движения рабочего органа (РО) ($n_{PO} = 0,06...3000 \text{ мин}^{-1}$) и потребляемые мощности ($N_{PO} = 0,2...100 \text{ кВт}$). В связи с этим технологические машины пищевых производств отличаются большим разнообразием структурных и кинематических схем.

На рисунке показана взаимосвязанность пространственного положения РО машины и взаимного расположения валов двигателя и РО или исполнительного механизма (ИМ), приведены типы передач и передаточных механизмов, обеспечивающих кинематическую и силовую связь между валами.

Основными передающими и преобразующими составными частями привода технологических машин являются клиноременные, цепные и зубчатые открытые

передачи, одно- и многоступенчатые редукторы (цилиндрические, конические, планетарные, червячные), регулирующие устройства.

При проектировании приводов машин используется их классификация по следующим признакам: назначение, количество двигателей, тип двигателя, возможность изменения направления движения, тип передаточного механизма, тип передач, конструкция передаточного механизма, расположение выходного вала.

Технологические машины пищевых производств преимущественно работают в стационарных условиях с переменными внешними нагрузками Z имеют установившийся характер движения РО. Система управления и регулирования приводов достаточно проста и может содержать устройства электрические (электродвигатели многоскоростные, с встроенным электромагнитным тормозом, пусковым устройством), электронные, осуществляющие частотное регулирование скорости, и механические в виде вариаторов.

Поскольку технологические и транспортирующие машины пищевых производств обычно входят в состав технологической линии, то всякий вынужденный простой машины ведет к остановке всей линии и, как следствие, невосполнимым потерям. Поэтому при проектировании привода необходимо свести до минимума его техническое обслуживание и ремонт путем конструкции, обладающей высокой надежностью и долговечностью. С этой целью применяют передачи и передаточные механизмы, не требующие периодического смазывания и ремонта.

Проектирование и расчет привода начинаются на стадии разработки эскизного проекта технологической или транспортирующей машины, *когда разработана технологическая, кинематическая и компоновочная схемы, спроектированы рабочие органы и выбрана схема членения машины.* Исходными для проектирования *привода являются:* кинематические и мощностные параметры рабочих органов; компоновочные параметры РО и единиц машины (размеры, масса, расположение); условия эксплуатации; срок службы машины. Проектирование привода состоит в общем из следующих этапов: разработка кинематической схемы; расчет мощностей и сил, действующих в составных частях привода; выбор перечисленных механизмов; муфт, опор; проверочные расчеты; разработка схем и выполнение чертежей привода.

Для разработки *кинематической схемы* требуется знать общее передаточное отношение привода и диапазоны регулирования. Передаточное отношение характеризуется отношением частот вращения (угловых, окружных скоростей) ведущего звена (двигателя) и ведомого (РО, ИМ). Его следует отличать от передаточного числа, которое характеризуется отношением соответствующих параметров большего и меньшего звена и всегда больше или равно единице. По общему передаточному отношению привода определяют передаточные отношения выбранных передач и передаточных механизмов. Типы передач, передаточных механизмов и муфт выбирают в зависимости *от пространственного* расположения вала РО и взаимного расположения осей валов РО и двигателя, геометрических и кинематических показателей с учетом преимущественного использования унифицированных и стандартных сборочных единиц и деталей. Потребная мощность двигателя определяется в зависимости от мощности РО, КПД исполнительного механизма (ИМ) и КПД привода.

При проектировании привода нужно знать не только номинальную мощность, частоту вращения двигателя и передаточное отношение привода, но и пусковой момент, число пусков в час, время работы за день, коэффициенты динамичности приводимой в движение машины и двигателя, а в критических случаях и частоту собственных крутильных колебаний системы.

По результатам расчета потребной мощности и принятой частоте вращения двигателя по техническим характеристикам, приведенным в каталогах или справочниках, подбирают тип и типоразмер двигателя. Далее уточняются наиболее рациональные типы передаточных механизмов (редукторов, вариаторов), открытых передач, муфт, подшипниковых опор. Иногда ввиду особенностей компоновки машины, специфики

расположения и работы РО невозможно применить унифицированные или стандартные редукторы, передачи, муфты, промежуточные опоры. В таком случае используют специальные неунифицированные передачи, муфты, опоры, которые требуют от дельного проектирования и расчетов на прочность и долговечность.

6.3 Разработка структурной и кинематической схем приводов

Структурная схема привода определяет основные функциональные части привода, их назначение и взаимосвязи. Она разрабатывается при проектировании машины или другого оборудования на стадии, предшествующей кинематической схеме, и дает общее представление о приводе и с рабочим органом.

Кинематическая схема привода отображает совокупность источника механического движения (двигателя), кинематических элементов в виде передач точных механизмов и соединений и их связи. Графически кинематические схемы представляются в виде условных обозначений в соответствии с правилами, установленными ГОСТ 2.770-68.

Выбор и обоснование структурной и кинематической схем является первым конструированием привода и зависит в первую очередь от назначения и условий работы технологической машины. Назначение привода — сообщить рабочему органу (РО) или исполнительному механизму (ИМ) машины механическое движение определенного характера, траектории, скорости, крутящего момента. Рабочие органы машины разделяются по форме траектории движения на вращательные, возвратно-поступательные, с качательными и сложным движением, а по характеру движения — с монотонным, разнообразным и циклическим движением. Двигатели технологических и транспортирующих машин могут быть с вращательным и возвратно-поступательным движением. В связи с этим передачи, устанавливаемые между двигателем и РО или ИМ, призваны выполнять целый ряд функций, главными из которых являются:

- понижение или повышение скорости РО (ИМ);
- повышение или понижение крутящего момента;
- *изменение траектории или характера движения;*
- изменение направления движения (реверсирование);
- изменение плоскостей движения;
- суммирование или разделение движений и моментов от двигателей;
- регулирование скорости;
- предохранение двигателей и сборочных единиц машины от поломок перегрузках.

В машинах с монотонным движением рабочего органа (насосы, вентиляторы, конвейеры и т. п.) скорость постоянна и направлена в одну сторону. В приводах таких машин двигатель непосредственно соединяется с РО или между ними устанавливается какой-либо передаточный механизм, содержащий зубчатую, цепную, ременную передачи или их сочетания. Машины с разнообразным движением характеризуются переменным силовым и скоростным режимом, которые задаются вручную или автоматически. В машинах этой группы движение РО происходит по установленному циклу, соответствующему условиям работы и характеру технологического процесса. В приводах таких машин обычно включаются механизмы или устройства, позволяющие задавать и регулировать параметры работы машины, и механизмы, задающие требуемые законы движения РО (кулачковые, рычажные кулисные, мальтийские и т. д.), которые в технологических машинах часто относят к исполнительным механизмам.

6.4 Разработка компоновочной схемы привода

КПД привода может определяться на основе данных для отдельных передаточных механизмов (редукторов), отдельных передач и элементов, входящих в состав привода, В таблице 5.10 приведены расчетные значения параметров механических передач и КПД: относительный габарит G_0 ; относительные массы передачи и двигателя G_0 , $G_{то}$; относительная стоимость передачи $G_{то}$

Таблица -1 Значения КПД элементов привода

Значения КПД отдельных элементов привода	
Подшипники качения	0,99...0,995
Подшипники скольжения	0,98...0,995
Муфты:	
с промежуточным элементом	0,97...0,99
шарнирные	0,97...0,99
зубчатые	0,99
упругие втулочно-пальцевые	0,99...0,995
фрикционные	0,85...0,95
Блоки, барабаны:	
на подшипниках качения	0,98
на подшипниках скольжения	0,96
Вариаторы	0,92...0,95

Общий КПД привода η определяется:

- при последовательном расположении в нем отдельных передаточных механизмов и элементов произведением частных значений КПД:

- при параллельном расположении для двух случаев:

1) от одного двигателя приводится в движение несколько РО:

$$\eta_0 = \frac{P_{PO1} + P_{PO2} + \dots + P_{POn}}{\frac{P_{PO1}}{\eta_1} + \frac{P_{PO2}}{\eta_2} + \dots + \frac{P_{POn}}{\eta_n}}$$

где $P_{PO1}, P_{PO2}, P_{POn}$ — мощности соответствующих рабочих органов, лВт;

2) один рабочий орган приводится в движение одновременно несколькими двигателями:

$$\eta_0 = \frac{P_1 \eta_1 + P_2 \eta_2 + \dots + P_n \eta_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n},$$

где $P_1 + P_2 + \dots + P_n$ — расчетная мощности двигателей, кВт;

- при комбинированном расположении сочетанием формул .

Расчетная уточненная мощность приводного двигателя, кВт, определяется в зависимости от расположения передач в приводе, заданных параметров движения РО и общего КПД:

- при последовательном расположении по формулам

$$P_1 = \frac{P_{PO}}{\eta_0};$$

$$P_1 = 10^{-3} \frac{T_{PO} n_{PO}}{9,55 \eta_0};$$

$$P_1 = 10^{-3} \frac{F_{PO} v_{PO}}{\eta_0};$$

- при параллельном расположении для двух случаев:

1) от одного двигателя приводится в движение несколько РО:

$$P_1 = \frac{1}{\eta_0} P_{PO1} + P_{PO2} + \dots + P_{POn} ;$$

$$P_1 = \frac{10^{-3}}{9,55} T_{PO1}n_{PO1} + T_{PO2}n_{PO2} + \dots + T_{POn}n_{POn} ;$$

$$P_1 = \frac{10^{-3}}{\eta_0} F_{PO1}v_{PO1} + F_{PO2}v_{PO2} + \dots + F_{POn}v_{POn} ;$$

2) один рабочий орган приводится в движение одновременно несколькими двигателями:

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = \frac{P_p}{\eta_0} ;$$

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = \frac{T_{PO}\eta_{PO}}{9,55\eta_0} \cdot 10^{-3} ;$$

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = \frac{F_{PO}v_{PO}}{\eta_0} \cdot 10^{-3} .$$

В многоскоростных приводах потребная мощность двигателя определяется по максимальной скорости РО.

Если в приводе может быть использован лишь один редуктор или одна одноступенчатая передача типа (ременная, цепная и т.д.), тогда возможные варианты выбора оцениваются путем сопоставления их между собой по коэффициентам качества

$$K_{\text{кач}} = \frac{1}{\eta} G_0 C_{\text{то}} G_d C_{\text{тд}} .$$

Лекция 7 Конструирование приводов роторных машин.

Структура и принципы компоновки РМ различного технологического назначения во многом аналогичны. В общем случае РМ из технологического ротора с исполнительными органами и приводом их движения; транспортных роторов, подающих штучные объекты непосредственно в технологический ротор и принимающих их из ротора; привода вращательного (транспортного) движения роторов, а также устройств для загрузки штучных объектов в РМ и их выгрузки из нее.

7.1 Компоновка и производительность роторных машин

Следует отметить, что надежность передачи штучных объектов (буты- шок, флаконов, флажков и т. п.) пазовыми роторами с использованием неподвижного направляющего охвата зависит и от геометрических размеров передаваемых объектов: соотношения высоты к их поперечному размеру и положения центра масс по высоте, которые должны обеспечивать устойчивое перемещение штучных объектов на донной части.

Цикловая штучная производительность $\Pi_{\text{ц}}$, шт./мин:

$$\Pi_{\text{ц}} = 60 \frac{v_{\text{тр}}}{h} = 30 \frac{\omega u}{\pi} = \text{шт.},$$

где $v_{\text{тр}} = \omega D/2$ — транспортная скорость технологического ротора, измеряемая по окружности центров его рабочих позиций, на которых размещены функциональные устройства, м/с; D — начальный диаметр технологического ротора, измеряемый по окружности центров рабочих позиций, ω — угловая скорость технологического ротора, рад/с; h — шаг рабочих ротора, м; u — число рабочих позиций (функциональных устройств) n — частота вращения ротора, мин⁻¹.

Число рабочих позиций технологического ротора определяется длительностью кинематического цикла T_k , с:

$$u = \frac{\Pi_{ц} T_{к}}{60}.$$

Длительность кинематического цикла технологического ротора равна сумме длительностей соответствующих фаз (операций):

$$T_{к} = \sum_{i=1}^k t_i = \frac{\sum_{i=1}^k \varphi_i}{\omega},$$

где $t_i = \frac{\varphi_i}{\omega}$ — длительность фазы кинематического цикла, с; φ_i — угол поворота на котором совершается соответствующая фаза кинематического k — число фаз кинематического цикла ротора.

Для рассматриваемой схемы роторной машины розлива жидких продуктов кинематического цикла равно шести (см. рис. 6.3):

- 1) подача пустых бутылок из транспортного ротора в технологический ротор на позиции разлива — $\varphi_{п}$;
- 2) подъем бутылок к дозатору — $\varphi_{под}$;
- 3) наполнение бутылок жидкостью — $\varphi_{т}$;
- 4) опускание наполненных бутылок — $\varphi_{оп}$;
- 5) выдача наполненных бутылок из технологического ротора в транспортный ротор — $\varphi_{в}$
- 6) выполнение вспомогательных операций (наполнение дозаторов жидкостью, переключение золотников и т.п.) — $\varphi_{всп}$

Величины углов поворота технологического ротора $\varphi_{п}$ и $\varphi_{в}$, на которых выполняются соответственно подача бутылок в ротор и выдача их из него, выбирают, исходя из следующих конструктивных соображений: передача бутылок из ротора в ротор должна происходить на дуге окружности, равной одному-двум шагам рабочих позиций роторов, т. е.:

$$\frac{2h}{D} \leq \varphi_{п в} \leq \frac{4h}{D}.$$

Меньшие значения углов передачи по формуле (6.4) следует принимать при значениях шага рабочих позиций ротора больше 0,2 м, большие — для значений шага меньше 0,2 м.

Шаг рабочих позиций технологического ротора h выбирают из условий рациональной компоновки функциональных устройств.

Величина шага рабочих позиций роторов прессования таблетоформирующих РМ определяется типом привода рабочих движений и поперечными размерами волнительных и рабочих органов, зависящими от требуемого давления прессования (см. п. 6.2.1).

Величины углов поворота технологического ротора $\varphi_{под}$ и $\varphi_{оп}$, на которых происходит соответственно подъем и опускание столиков (для роторов розлива жидкостей) или других исполнительных и рабочих органов (например, ползунов с прессующими пуансонами таблетоформирующих машин), определяют исходя из типа привода исполнительных органов и параметров выбранного закона их движения (см. п. 6.2.1).

Угол поворота технологического ротора $\varphi_{р}$, на котором производится собственно технологическая операция, определяется ее длительностью и рассчитывается по известным формулам, исходя из заданных *технологических* параметров. Например, время наполнения тары жидкостью рассчитывается от способа налива, типа фасовочного устройства, параметров мой тары и характеристик разливаемой жидкости. Величина угла поворота технологического ротор, на котором производятся вспомогательные операции, определяется их конкретным технологическим назначением (например, заполнение фасовочных устройств жидкостью дозировании по объему, переключение золотников, возврат исполнительных органов в исходное

положение и т. п.) и длительностью операций, рассчитываемой по соответствующим формулам.

Минимальная величина угла $\varphi_{всп}$, к которой необходимо стремиться при компоновки технологического и транспортных роторов в РМ, определяется

Их начальными диаметрами, поперечными размерами наполняемой тары и минимальной допустимой шириной неподвижного охвата между транспортными роторами, выбираемой, исходя из конструкции охвата, схемы его крепления и необходимой жесткости.

Угол $\varphi_{всп}$ можно определить из треугольника ABC, стороны которого образованы диаметрными размерами технологического и транспортных роторов и минимально допустимой шириной неподвижного охвата между ними.

7.2 Приводы транспортных роторов

Одними из важнейших функциональных систем РМ, в значительной степени определяющих технологические возможности и надежность их работы, являются системы приводов, которые разделяют на две группы:

- приводы транспортного движения, которые обеспечивают вращательное движение технологических и транспортных роторов;
- приводы рабочих движений, которые обеспечивают движения исполнительных и рабочих органов функциональных устройств и механизмов в технологических роторах.

Требования к приводам транспортного движения. Выполнение технологических операций в процессе непрерывного транспортирования штучных продуктов, компоновка нескольких технологических и транспортных роторов, являющихся источниками периодических возмущений, приводят к тому, что система привода транспортного движения РМ должна удовлетворять ряду специфических требований, совокупность которых отличает ее от систем приводов технологических машин других классов.

1. Необходимость синхронного движения всех роторов.

Нарушение относительного положения соседних роторов в РМ приводит к нарушению процессов транспортирования и передачи штучных продуктов. Поэтому система привода транспортного движения должна обеспечивать точную синхронность движения всех роторов и возможность регулировки их относительного положения в период наладки.

2. Наличие группы потребителей энергии.

В состав РМ входит несколько роторов при общей тенденции к увеличению числа технологических и транспортных роторов в РМ и соответственно ее протяжности. Это приводит к удлинению кинематических цепей в системе привода и снижению точности его работы. Следовательно, структурная схема привода должна обеспечивать возможность передачи мощности к потребителям короткими ими кинематическими цепями независимо от протяженности машины.

3. *Многопозиционность технологических роторов.* Технологические роторы могут содержать до нескольких десятков рабочих позиций с рабочими и исполнительными органами, последовательно вступающими в работу, что может привести к росту колебаний в механической системе машины.
4. *Необходимость точной взаимной синхронизации* транспортного (вращательного) движения технологических роторов и рабочих движений недельных и рабочих органов.

Это требование непосредственно обусловлено особенностью технологических роторов РМ, в которых выполнение технологических операций происходит в процессе непрерывного транспортирования штучных продуктов совместно с исполнительными и рабочими органами роторов.

5. *Необходимость нескольких скоростных режимов.*

Рост производительности РМ привел к увеличению транспортных скоростей вращения роторов, что потребовало от системы привода обеспечения возможности их работы в нескольких скоростных режимах для проведения пуско-наладочных работ, а также ступенчатого запуска с целью уменьшения динамических нагрузок в переходных режимах.

5. *Жесткие требования к равномерности движения технологических роторов и величине отклонений реального закона движения исполнительных органов от заданного (теоретического) закона.*

Это положение обусловлено тем, что колебания в РМ могут привести к нарушению нормального процесса транспортирования штучных продуктов и появлению значительных динамических нагрузок. Отклонения от заданного закона движения исполнительных органов могут вызвать нарушение стабильности выполнения технологических операций.

7. *Необходимость защиты элементов РМ от перегрузок при аварийной остановке машины.*

Мгновенная аварийная остановка РМ приводит к суммированию значительной кинетической энергии роторов и мощности двигателя в очаге аварии, что вызывает существенное увеличение нагрузок во всех элементах привода и может привести к разрушению его деталей.

7.3 Кулачковый привод ротора

В качестве приводов рабочих движений преимущественное распространение получили механические приводы. Они характеризуются наличием жесткой кинематической связи между рабочими и транспортными движениями, поскольку преобразуют вращательное (транспортное) движение технологических в возвратно-поступательное рабочее движение исполнительных посредством различных механизмов. Механические приводы просты и имеют достаточно высокий КПД, достигающий значения 0,80...0,85.

Механические кулачковые приводы применяют в конструкциях технологических роторов РМ (моноблоках, триблоках) для фасовки и укупорки *жидких и сыпучих* продуктов, изготовления металлической и пластиковой тары, **а также в роторных таблетоформирующих машинах.**

Проектные силовые расчеты кулачкового привода. Проектирование кулачкового привода рабочих движений начинают с анализа силовой схемы механизма, т. е. схемы

расположения сил, действующих в системе «ползун — направляющие — ролик — кулачок», на основе которых проводят проектные расчеты и выбор основных конструктивных параметров элементов привода.

На рисунке 6.18 представлены схемы расположения сил, действующих при радиальном расположении ролика и кулачка. Сила взаимодействия кулачка и ролика ползуна P необходима для выбора допустимого угла подъема профиля кулачка и проверки элементов привода на прочность, осевая составляющая P_2 , направленная вдоль оси ползуна, необходима для оценки технологических возможностей ротора и выбора закона движения ползуна, радиальная составляющая P_x необходима для определения момента сопротивления ротора и потребляемой мощности.

В производстве с пазовым (радиальном) кулачком сила взаимодействия кулачка и ролика P и ее составляющие P_2 и P_x определяются по формулам

$$\begin{aligned} P &= K_p P_{п.с} \pm G \pm P_u \\ P_z &= K_{zp} P_{п.с} \pm G \pm P_u \\ P_x &= K_{xp} P_{п.с} \pm G \pm P_u \end{aligned}$$

где: $P_{п.с}$ — сила полезного (технологического) сопротивления; $G = mg$ — сила тяжести подвижных частей привода (ползуна, ролика и других исполнительных элементов); m — масса подвижных частей привода; $P_u = mj$ — сила движения ползуна частей привода; j — ускорение, определяемое законом ползуна; K_p, K_{zp}, K_{xp} — коэффициенты пропорциональности, учитывающие особенности конструктивного оформления ролика и направляющих в приводе с пазовым кулачком.

Знаки (\pm) перед величинами сил тяжести и инерции в формуле (6.17) определяются в зависимости от конструктивного расположения ползуна (в верхней или нижней части ротора) и направления его движения (вверх или вниз) в конкретной фазе кинематического цикла ротора.

Коэффициент K_p, K_{zp}, K_{xp} определяется по формулам

$$K_p = \frac{1}{\cos \beta} \frac{1 + f_{np}^2}{B}; \quad K_{zp} = \frac{1 - f_{np} \tan \beta}{B}; \quad K_{xp} = \frac{\tan \beta + f_{np}}{B}.$$

7.4 Роликовый привод роторов

Роликовый привод является разновидностью кулачкового привода с торцовым кулачком. Его применяют в роторных таблетоформирующих машинах для прессования (таблетирования) сыпучих продуктов, например для изготовления бульонных кубиков, таблетированной соли, пряностей и т. п. При небольших рабочих ходах инструмента (до 5 мм) и достаточно большой технологической силе (до 100 кН) роликовый привод обеспечивает возможности минимизации диаметральных размеров ползунков и упрощение их конструкции.

Кинематическая и динамические соотношения в роликовом приводе.

Расстояние до плоскости ползуна, относительное от горизонтальной плоскости ползуна, отсчитанное от горизонтальной плоскости, проходящей через ось прессующего ролика:

$$s = \sqrt{r^2 - R \sin \alpha + e}$$

Где $r = r_p + r_c$; r_p — радиус прессующего ролика; r_c — радиус сферической головки ползуна; e — эксцентриситет, характеризующий положение оси прессующего ролика;

$$\omega = \frac{v_{np}}{R} - \text{угловая скорость ротора.}$$

Вертикальное перемещение ползуна на участке разбега:

$$s = r - \sqrt{r^2 - R \sin \alpha + e^2};$$

скорость вертикального перемещения ползуна на участке разбега:

$$v_T = \frac{R \sin 2\alpha + 2e \cos \alpha}{2 r_2 - R \sin \alpha + e^2} v_{TP}$$

Ускорение:

$$a_T = \frac{R \cos 2\alpha + e \sin \alpha}{2 r^2 - R \sin \alpha + e^2} + \frac{1}{4} \frac{R \sin \alpha + 2e \cos \alpha}{r^2 - R \sin \alpha + e^2} \frac{2R}{R} \frac{v_{TP}^2}{R}$$

Величина скорости скольжения ползуна по прессующему ролику в направлении образующей последнего определяется из картины распределения скоростей.

$$v_{CK} = \omega_1 R \sin \alpha.$$

Угол передачи давления μ в рассматриваемом приводе:

$$\mu = \arccos \frac{R \sin \alpha + e \cos \alpha}{r^2 - R \sin \alpha + e^2 \sin^2 \alpha}.$$

При малых значениях угла $\alpha \leq 5^\circ$ можно использовать приближенную формулу

$$\mu = \arccos \frac{R\alpha + e}{r}.$$

Угол давления:

$$\gamma = 90^\circ - \mu \approx \arcsin \frac{R\alpha + e}{r}.$$

В том случае, когда ползуны имеют головки с плоскими скругленными торцами, для определения перемещений, скоростей и ускорений, а также углов давления можно использовать все приведенные выше формулы.

Ползуны с плоскими скругленными торцами позволяют осуществлять выстой пуансона под роликом при прессовании. Угол поворота ротора, соответствующий выстой ползуна, определится по формуле:

$$\alpha_{\text{выст}} = \arcsin \frac{r_0}{R}.$$

Силовые и прочностные расчеты роликового привода рабочих движений исполнительных органов РМ ведут по тем же формулам, что и для кулачкового привода.

Лекция 8 Конструирование приводов вибрационных машин.

8.1 Приводы ситовых сепарирующих машин

8.2 Приводы скальператорных машин

В зависимости от назначения сепарирующей машины форма колебаний рабочего органа может быть различной – прямолинейные колебания, круговые и эллиптические поступательные колебания в горизонтальной и вертикальной плоскости. Во многих машинах сепарирующие рабочие органы совершают прямолинейные колебания.

В зависимости от соотношения частот вынужденных и собственных колебаний динамическая система может находиться в следующих режимах: дорезонансом, резонансом, зарезонансом.

Амплитуда колебаний сепарирующих корпусов в машинах с таким приводом от соотношения частот вынужденных и собственных колебаний, массы сепарирующих корпусов и технологической нагрузки. При работе машин в зарезонансном режиме обеспечивается устойчивое движение системы, малочувствительное к изменению загрузки рабочего органа обрабатываемым продуктом.

8.1 Приводы ситовых сепарирующих машин

Рабочий орган массой m приводится в колебательное движение с помощью кривошипного механизма (рис. 6.28). Рабочий орган подвешен (или установлен) на

упругих подвесках длиной L .

Принятые обозначения: $AB = r$, $BC = l$, $\varphi = \omega t$.

Пунктиром показаны упругие подвески в положении статического равновесия машины ($x = 0$, S_0 — центр масс).

При переходе к динамической модели сделаны следующие допущения:

1. Вследствие малости $\frac{r}{L} \ll 1$ траектория центра масс S прямолинейна
2. Вследствие малости $\lambda = \frac{r}{l} \approx 0,02 \dots 0,1$ кривошипный механизм заменяем синусным.
3. Упругие подвески заменяем пружиной с линейной жесткостью c .
4. Сопротивление воздуха, внутреннее трение в подвесках и кинематических парах заменяем вязким сопротивлением демпфера и представляем линейной функцией скорости.
5. Массой звеньев привода пренебрегаем сравнительно с большей массой рабочего органа.

На рисунке 6.29 представлена динамическая схема машины.

На рабочий орган действуют следующие силы:

P_{2-3} — реакция привода на рабочий орган ($P_{2-3} = -P_{3-2}$ определяет динамические реакции в кинематических парах A , B и C);

$P_{и} = -ma_y = mr\omega^2 \cos \omega t$ ($x = r \cos \omega t$; $x = -r\omega \sin \omega t$; $x = -r\omega^2 \cos \omega t$) — сила инерции рабочего органа;

$P_{п} = -cx = -cr \cos \omega t$ реакция пружины;

$P_{т} = -\beta \dot{x} = \beta r \omega \sin \omega t$ — реакция демпфера.

Условие динамического равновесия рабочего органа с учетом того, что все силы действуют по одной оси, может быть записано в виде алгебраической суммы:

$$P_{2-3} + P_{и} + P_{п} + P_{т} = 0.$$

Выразим из уравнения реакции P_{2-3} :

$$P_{2-3} = -mr\omega^2 \cos \omega t + cr \cos \omega t - \beta r \omega \sin \omega t.$$

После преобразований имеем

$$P_{2-3} = mr \frac{c}{m} - \omega^2 \cos \omega t - \beta r \omega \sin \omega t.$$

Обозначим

$$k = \frac{c}{m},$$

где k — частота вращения колебаний массы m при отсоединенном приводе.

После подстановки уравнения в уравнение и преобразований получим

$$P_{2-3} = mr k^2 - \omega^2 \cos \omega t - \frac{\beta \omega}{m k^2 - \omega^2} \sin \omega t.$$

Обозначим

$$2n = \frac{\beta}{m};$$

$$tg \varepsilon = \frac{\beta \omega}{m k^2 - \omega^2} = \frac{2n \omega}{k^2 - \omega^2}.$$

После подстановки уравнений в уравнение и преобразований имеем

$$P_{2-3} = \frac{mr k^2 - \omega^2}{\cos \varepsilon} \cos \omega t + \varepsilon.$$

Выразим $\cos \varepsilon$ через $tg \varepsilon$

$$\cos \varepsilon = \frac{1}{1 + tg^2 \varepsilon} = \frac{1}{1 + \frac{4n^2 \omega^2}{k^2 - \omega^2}} = \frac{k^2 - \omega^2}{k^2 - \omega^2 + 4n^2 \omega^2}$$

Поставим уравнение, получим

$$P_{2-3} = mr \frac{k^2 - \omega^2}{k^2 - \omega^2 + 4n^2 \omega^2} \cos \omega t + \varepsilon.$$

Реакция P_{2-3} привода на рабочий орган принимает максимальное значение при $\cos \omega t + \varepsilon = 1$:

$$P_{2-3 \max} = mr \sqrt{k^2 - \omega^2 + 4n^2\omega^2}.$$

При $\omega = 0$:

$$P_{2-3 \max} = mrk^2 = \frac{mrc}{m} = rc.$$

Для определения минимального значения $P_{2-3 \max}$ исследуем уравнения на экстремум. Для этого обозначим

$$u(\omega) = (k^2 - \omega^2)^2 + 4n^2\omega^2.$$

Производная функция $u(\omega)$ имеет вид

$$\frac{du}{d\omega} = 2(k^2 - \omega^2) \cdot -2\omega + 4n^2 \cdot 2\omega = -4\omega(k^2 - \omega^2 - 2n^2).$$

Производная становится равной нулю в том случае, если равно нулю выражение в круглых скобках:

$$k^2 - \omega^2 - 2n^2 = 0.$$

Уравнение имеет решение, если $k^2 - 2n^2 > 0$ или $n < \frac{k}{\sqrt{2}}$. При этом частота колебания рабочего органа, при которой функция имеет экстремум, равна

$$\omega^* = \sqrt{k^2 - 2n^2}.$$

Заметим, что $\omega^* < k$. Исследование производной в окрестности критической точки функции свидетельствуют, что в этой точке функция имеет минимум. Таким образом, сила $P_{2-3 \max}$ имеет минимальное значение, если $k^2 - 2n^2 > 0$ или $n < \frac{k}{\sqrt{2}}$, при этом $\omega^* < k$.

Для определения минимального значения силы $P_{2-3 \max}$ подставим значение ω^* из уравнение в уравнение:

$$P_{2-3 \max \min} = 2nmr \sqrt{k^2 - n^2}.$$

8.2 Приводы скальператорных машин

Зерно, поступающее на зерноперерабатывающие предприятия, соде не только зерно основной культуры, но и различные примеси. Удаление примесей необходимо для создания условий, способствующих сохранности зерна и получению из него муки и крупы высокого качества.

Очистку зерна перед хранением и переработкой начинают с извлечения грубой и крупной примесей и выполняют это либо на плоских колеблющихся ситах, либо на цилиндрических ситах, равномерно вращающихся вокруг ой горизонтальной оси.

Основными недостатками первого способа являются необходимость очистки сит, значительные габариты и материалоемкость конструкции; второго – невысокая технологическая эффективность, вследствие малой подвижности проходových частиц на поверхности ситового цилиндра (ротора), из-за чего частицы, попавшие на грубые и крупные примеси, на перемычки между отверстиями сита или образующие над ними своды, не просеиваются и попадают всход — грубые и крупные примеси. Это заставляет увеличивать размеры отверстия сита, т. е. увеличивать диапазон крупности примесей, остающихся в извлекаемом проходе зерне.

В последнем случае особо проявляются достоинства скальператоров — машин с цилиндрическими решетными (ситовыми) барабанами, вращающимися горизонтальной оси: высокая производительность, простота конструкции, надежность, малые габариты и материалоемкость, удобство очистки. Невысокая их технологическая эффективность может быть существенно повышена путем сообщения вибраций решетному цилиндру. Сообщение цилиндру поступательных колебаний требует уравновешивания сил инерции колеблющихся масс, а конструкции приводного механизма и машины в целом сложны и материалоемкости. Более рациональным является сообщение цилиндру вращательных колебаний относительно оси вращения. В случае наложения вращательных колебаний

вокруг геометрической оси центра масс вращающихся деталей остаются неподвижными, и легко обеспечивается уравновешивание сил инерции деталей привод.

Лекция 9 Конструирование исполнительных механизмов

9.1 Кулисный механизм

Кулисный механизм предназначен для передачи и преобразования вращательного движения кривошипа в качательное или вращательное движения кулисы, а также наоборот — движения кулисы во вращение кривошипа. Механизм с качающейся кулисой применяют для преобразования вращательного движения кривошипа в возвратно-вращательное движение кулисы с различными скоростями холостого и рабочего ходов. В пищевых машинах механизмы с качающейся кулисой применяют для привода различного рода выталкивателей, салазок и т. п. Механизм с вращающейся кулисой лежит в основе работы лопастных насосов с выдвигающимися лопастями.

В процессах переработки зерновых смесей на мукомольных, *крупяных* и комбикормовых заводах широкое применение получили вибрационные технологические и транспортирующие машины с рабочими органами, совершающими прямолинейные и круговые поступательные колебания. В последние годы получены высокие показатели эффективности процессов сепарирования зерновых смесей на горизонтальных рабочих органах кольцевой формы, совершающих вращательные колебания вокруг центральной вертикальной оси, и на рабочих органах цилиндрической формы (скальператор, цилиндрический триер), совершающих неравномерное вращательное движения. Во всех случаях рабочий орган должен обладать ускорением, достаточным для сообщения частицам сепарируемой зерносмеси движения относительно его опорной поверхности. В этих случаях для сообщения рабочим органом движения с требуемыми параметрами представляет интерес кулисный механизм. Кулисный механизм состоит из звеньев: кривошипа – звено 1; ползун (кулисный камень) – звено 2; кулиса – звено 3; стойка (наподвижное звено) – 4. В механизме приняты следующие обозначения: длина кривошипа $AB=r$; расстояние между осями вращения ведущего $\omega = const$; угол поворота ведущего звена $\varphi = \omega t$; угол поворота ведомого звена α . Кулисный механизм имеет два варианта конструктивного исполнения: первый вариант – кулиса совершает возвратно- вращательное движение; второй вариант – кулиса совершает вращательное движение – вращается с переменной угловой скоростью. В соответствии с принятыми обозначениями в первом варианте конструктивного исполнения механизма должно выполняться условие $AB=r < AC = l$, во втором варианте исполнения – условие $AB=r > AC = l$. С точки зрения использования кулисного механизма в качестве исполнительного механизма для сообщения рабочим органом машин указанных видов движения особой интерес представляет определение законов движения ведомого звена при равномерном вращении ведущего.

Следует заметить, что в первом варианте исполнения кулисного механизма частота колебаний кулисы, а во втором варианте — ее средняя угловая скорость равны частоте вращения (угловой скорости) кривошипа.

При исследовании механизма применим аналитический метод, с помощью которого определение кинематических параметров может быть выполнено с высокой степенью точности. Кроме того, аналитические зависимости выявляют зависимость кинематических параметров механизма от его геометрических параметров, т. е. размеров звеньев. Роль аналитических методов кинематического анализа механизмов особенно возросла в последние годы в связи с развитием вычислительной техники. Имея аналитические выражения, связывающие между собой кинематические и

структурные параметры механизма, всегда можно составить программу и получить все необходимые зависимости. Механизм имеет одну степень свободы. Следовательно, механизм имеет одно ведущее (входное) звено, положение которого однозначно определяет я всех остальных звеньев. Это означает, что в механизме для определения положений звеньев достаточно задать одну обобщенную координату.

9.2 Синусный механизм

Синусный механизм является одной из разновидностей кулисного механизма и предназначен для преобразования равномерного вращательного движения кривошипа I (рис. 7.12) в поступательное движение кулисы 3 по гармоническому закону.

Синусный механизм содержит следующие звенья: стойка (неподвижное звено) — звено 0 ; кривошип — звено 1 ; ползун — звено 2 ; кулиса — звено 3 .

Из рисунка 7.12 видно, что перемещение S звена может быть определено по формуле

$$S = AB \sin \varphi = r \sin \varphi,$$

где $AB=r$ — длина кривошипа.

Для определения скорости звена 3 , дифференцируем уравнения по времени:

$$V = \frac{dS}{dt} = r\omega \cos \varphi.$$

Ускорение звена 3 получим, дифференцируя уравнение по времени:

$$\alpha = \frac{dV}{dt} = -r\omega^2 \sin \varphi.$$

Как видно из уравнение звено 3 совершает простое гармоническое движение.

Синусный механизм нашел применение в машинах для сообщения рабочим органам прямолинейных возвратно-поступательных гармонических колебаний, т. е. таких колебаний, при которых зависимости: перемещения $S = S(t)$, скорости $V = V(t)$ и ускорения $a = a(t)$ подчиняются гармоническим законам. При этом, как видно из уравнений (7.64)...(7.66), амплитуда да колебаний равна длине кривошипа $AB = r$, частота колебаний равна частоте вращения кривошипа, амплитудное значение скорости определяется произведением ωr , а амплитудное ускорение — $\omega^2 r$.

При поступательном движении рабочего органа могут развиваться значительные силы инерции, которые передаются на станину машины и перекрытия здания. Эти силы являются источниками дополнительных сил трения в кинематических парах, вибраций в звеньях механизма, фундаменте машины и перекрытиях здания, а также дополнительных напряжении отдельных элементах конструкции. Поэтому при конструировании т машин должна быть поставлена задача уравнивания сил инерции чего органа.

Силу инерции рабочего органа определяем по формуле

$$P_{и} = -Ma = Mr\omega^2 \sin \varphi,$$

Где M — масса рабочего органа.

Лекция 10 Конструирование кривошипно ползунного механизма

10.1 Кинематический анализ

Смещение линии движения ползуна $x-x$ от оси вращения кривошипа обозначим e . В случае, когда $e = 0$, механизм называют центральным. Данный механизм применяется главным образом для преобразования равномерного вращательного движения кривошипа в неравномерное возвратно-поступательное движение ползуна. Кинематика изучает законы движения звеньев без учета сил, действующих механизм. Задачи кинематического анализа состоят в:

- определении положений звеньев и построении траекторий характерных точек;
- определении линейных скоростей точек и угловых скоростей звеньев;
- определении линейных ускорений точек и угловых ускорений звеньев. Для решения этих задач используют аналитический, графо-аналитический экспериментальный методы. Аналитический метод позволяет применять компьютерную технику. В связи с этим рассмотрим аналитическую кинематику изучаемого механизма.

Вывод уравнений перемещений, скоростей и ускорений выходного звена (ползуна) поясним на примере (рис. 7.14).

Дано: размеры всех звеньев ($AB = r$; $BC = l$; дезаксиал — e) и закон движения входного звена $\omega_1 = \text{const}$. Определим перемещение (путь) центра ползуна (точки C), приняв за начало отсчета правое крайнее положение (точка C_0) которое получим, когда кривошип и шатун будут расположены на одной прямой (положение AC_0).

Перемещение S_c определим как

$$S_c = A_x C_0 - A_x C.$$

Из геометрических расчетов имеем

$$S_c = \sqrt{l + r^2 - e^2} - r \cos \varphi - l \cos \gamma$$

Угол φ зависит от ω_1 , т.е. $\varphi = \omega_1 t$. Угол γ неизвестен.

Для определения величины $\cos \gamma$, сделаем следующее.

$$\sin \gamma = \frac{BB_x}{l} = \frac{r \sin \varphi + e}{l};$$

$$\cos \gamma = 1 - \sin^2 \gamma$$

Последнее выражение разложим в ряд по биному Ньютона, ограничившись первыми двумя членами:

$$\cos \gamma = 1 - \frac{1}{2} \sin^2 \gamma.$$

Подставим в выражение и $\sin \gamma$, получим

$$S_c = \sqrt{l + r^2 - e^2} - r \cos \varphi - l + \frac{l}{2} \frac{r \sin \varphi + e}{l}$$

Определим скорость ползуна в любой момент времени, продифференцировав и проведя некоторые преобразования, введя обозначения: $r/l = \lambda, e/l = \text{tg} \delta$:

$$V_c = \frac{dS_c}{dt}; V_c = r \omega_1 \frac{\sin \varphi + \delta}{\cos \delta} + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi.$$

Определим ускорение ползуна, продифференцировав:

$$a_c = r \omega_1^2 \frac{\cos \varphi + \delta}{\cos \delta} + \lambda \cos 2\varphi.$$

Заметим, что значения S_c , V_c и a_c не идеально точные, поскольку при получении значения $\cos \gamma$ введено ограничение, но их точность вполне достаточна для инженерных расчетов.

Для центрального кривошипно-ползунного механизма, когда $e = 0, \text{tg} \delta = 0$ и $\delta = 0$, выражения для V_c и a_c примут вид

$$V_c = r \omega_1 \sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi;$$

$$a_c = r \omega_1^2 \cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi.$$

10.2 Синтез кривошипно-ползунного механизма

При синтезе механизмов исходным является закон движения выходного звена, обусловленный функциональным назначением механизма. На начальной стадии синтеза выбирают схему механизма, затем определяют его метрические, кинематические и динамические параметры. В большинстве случаев при этом

решают следующие задачи:

- обеспечить условие существования кривошипа;
- обеспечить заданную величину перемещения выходного звена;
- реализовать некоторые заданные положения входного и выходного звеньев;
- обеспечить благоприятные условия передачи сил между звеньями;
- выполнить эксплуатационный критерий, характеризующий отношение времени рабочего хода к времени холостого хода выходного звена.

10.3 Уравновешивание сил инерции поступательно движущих масс

В некоторых отраслях пищевой промышленности (например, в мукомольной, элеваторной и- складской) кривошипно-ползунные исполнительные механизмы используют для приведения в возвратно-поступательное движение масс значительной величины. С такой ситуацией сталкиваемся при конструировании просеивающих машин, когда на рабочем органе располагается

большая масса продукта, например зерна, иногда в несколько раз превышающая массу самого звена. При высокой частоте вращения входного звена возникают большие знакопеременные ускорения звена 3 и, как следствие, силы инерции, определяющие величину реакций в кинематических парах. Эти усилия передаются через кинематическую цепь на привод, на станину и перекрытия производственных зданий. С целью снижения всех перечисленных нагрузок необходимо уравновесить возникающие силы инерции.

Рассмотрим расчетную схему кривошипно-ползунного механизма, представленную на рисунке 7.20. Звено 1 (кривошип) вращается с постоянной скоростью. Возникающую силу инерции, часто называемую центробежной силой, легко уравновесить установкой противовеса, жестко соединенного со звеном 1.

Звено 2 (шатун) совершает сложное движение. Воспользуемся известным методом приближенного замещения распределенной массы звена массами, сосредоточенными в конкретных точках, в нашем случае в точках B и C, что добавит дополнительные массы звеньям 1 и 3. Массу в точке B можно уравновесить противовесом как вращающуюся. Тогда единственно неуравновешенной останется сила инерции звена 3.

С точки C будет сосредоточена масса m_c , равная

$$m_c = m_3 + m_2 \frac{BS_2}{CS_2},$$

где m_3 — суммарная масса ползуна и продукта, на нем расположенного; m_2 — масса звена 2; BS_2 — расстояние от шарнира B до центра масс звена 2 (точка S_2 — положение центра масс звена 2).

Из аналитической кинематики известно, что ускорение a_c , направление которого определяется положением кривошипа 1, по величине равно

$$a_c = \omega^2 r \frac{\cos \varphi + \delta}{\cos \delta} + \lambda \cos 2\varphi .$$

Сила инерции звена 3 равна

$$P_c = -m_c a_c = \omega^2 m_c r \frac{\cos \varphi + \delta}{\cos \delta} + \lambda \omega^2 m_c r \cos 2\varphi$$

Обозначим первое слагаемое $P_{п}$, второе $P_{в}$, т.е.

$$P_c = P_{\pi} + P_{\nu},$$

где P_{π} — сила инерции первого порядка; P_{ν} — сила инерции второго порядка.
Преобразуем выражение, определяющее P_{π} :

$$P_{\pi} = \omega^2 m_c \frac{r}{\cos \delta} \cos \varphi + \delta = \omega^2 m_c r_{\text{пр}} \cos \varphi_{\text{пр}}$$

Где $\varphi_{\text{пр}} = \varphi + \delta$; $r_{\text{пр}} = \frac{r}{\cos \delta}$.

Введя понятие $r_{\text{пр}}$ и $\varphi_{\text{пр}}$, исходя механизм со смещением e можно рассматривать как центральный.

Для уравнивания силы инерции P_c жестко с кривошипом установим

Противовес массой m на радиусе r . Возникающую центробежную силу P_c жестко с кривошипом установим противовес массой m на радиусе r . Возникающей центробежную силу P_{π} разложим на составляющие по осям: x — $P_{\text{пх}}$, по y — $P_{\text{пу}}$.

$$P_{\text{пх}} = \omega^2 m r_{\text{ц}} \cos \varphi_{\text{пр}}.$$

Для уравнивания P_{π} необходимо, чтобы $P_{\text{пх}} = P_{\pi}$.

Приравняем правые части и получим

$$m r_{\text{п}} = m_c r_{\text{пр}}.$$

Однако при таком уравнивании неподвижное звено будет действовать сила $P_{\text{пу}} = m r_{\text{п}} \omega^2 \sin \varphi_{\text{пр}}$

Учитывая создавшуюся ситуацию, в инженерной практике используют *уравнивание сил инерции I порядка*. Условие неполного уравнивания запишется в виде

$$m r_{\text{ц}} = 0,35 \dots 0,5 m_c r_{\text{пр}}$$

Для полного уравнивания сил инерции I порядка сделаем следующее . Соединим жестко с кривошипом зубчатое колесо с числом Z_1 - которое входит в зацепление с аналогичным колесом Z_2 , при Z_1 - К колесу Z_2 прикрепим груз массой m на расстоянии r , аналогично тому как крепим к колесу Z_1 (на колеса Z_3 и Z_4 не обращаем внимания, они понадобятся далее).

Как видно из рисунка, составляющие $P_{\text{иу}}$, расположенные на колесах Z_1 Z_2 , равны по модулю, но противоположно направлены, что приводит к их уравниванию. Составляющие $P_{\text{пх}}$, равные по модулю и одинаково направленные , складываются.

С учетом изложенного условие уравнивания силы P_{π} запишем

$$2P_{\text{пх}} = P_{\pi}$$

Или

$$2\omega^2 (m r)_{\text{п}} \cos \varphi_{\text{пр}}.$$

Лекция 11 Конструирование деталей машин

11.1 Базирующие поверхности деталей

Взаимное положение поверхностей определяется *расстояниями* и *поворотами* каждой детали, участвующей в сборке, имеются *сопрягающиеся* и *несопрягающиеся* поверхности. Первые при сборке с другими деталями образует *сопряжения*. Поверхности, посредством которых выполняются рабочие функции, называются *функциональными*, например поверхность резьбы в винтовых механизмах; поверхности шкива, сопрягающиеся с ремнем; :поверхностей воздействующие на продукт в технологической машине, и т. д. е поверхности называются *свободными*. Поверхности, относительно которых определяется положение других поверхностей, называются *базирующими* или *базами*. Последние в свою очередь на основные и вспомогательные. Основные базы — поверхности деталей, которые служат для присоединения этих деталей к другим деталям. Они определяют положение данной детали в изделии или в

сборочной единице. Вспомогательные базы при сборке служат для опирания на них основных баз других деталей, Они определяют положение присоединяемых деталей относительно данной. Например, привалочная поверхность станины гомогенизатора является вспомогательной базой, соответствующая ответная поверхность корпуса кривошипно-шатунного механизма является основной базой. Обе поверхности сопрягающиеся.

При разработке конструкции детали вначале нужно создать поверхности, принимаемые за базы. Все остальные должны занять то положение относительно них, которое требуется по функциональному назначению. Для детали представляющей собой пространственное тело, нужно предусмотреть три поверхности или их сочетания, образующие собой систему координат детали. Логично основные базы детали, определяющие ее положение относительно других деталей, с которыми она связана при работе, принимать координатные и по отношению к ним располагать все остальные — все остальные базы, исполнительные и свободные поверхности.

Соединение деталей в сборочных единицах осуществляется приведением в соприкосновение основной базы присоединяемой детали с вспомогательной базой детали, к которой она присоединяется. Соединение двух деталей— это совмещение двух координат систем, принадлежащих этим деталям. Такое совмещение может быть только в случае, если сопрягаемые поверхности основных и вспомогательных баз соединяемых деталей будут иметь геометрически правильные формы (плоскость, цилиндр и т.д.) и требуемую шероховатость и качества поверхностного слоя материала. Поэтому исполнительные поверхности и поверхности баз, как правило, обрабатываются.

Свободные поверхности, как правило, не обрабатываются.

В общем случае базой называются поверхность, линия или точка детали, по отношению к которой ориентируются другие детали изделия или другие поверхности при их конструировании, сборке, механической обработке или измерении. По своему назначению и области применения в машиностроении базы подразделяются на конструкторские, измерительные и технологические. Каждая из этих баз может быть основой или вспомогательной.

Конструкторская база— это база, предусматриваемая конструктором для задания определенного положения детали в сборочной единице или сборочной единице в изделии.

Измерительная база— поверхность, линия или точка, от которых производится отсчет назначаемых или выполняемых размеров при конструировании, обработке или измерении детали, проверке взаимного расположения поверхностной деталей или элементов изделия (параллельность, перпендикулярность, соосность и т. д.)

Технологическая база— это база, используемая для придания определенного положения заготовке или изделию в процессе изготовления и ремонта. От правильности назначения технологических баз при проектировании технологического процесса обработки зависят фактическая точность линейных размеров, заданных конструктором; правильность взаимного положения поверхностей детали; степень сложности технологической оснастки и измерительных инструментов; общая производительность и стоимость обработки. Выбор технологических баз делается в самом начале проектирование технологического процесса на основании рабочего чертежа детали. Одновременно решается вопрос последовательности и видов обработки отдельных поверхностей заготовки.

Сначала выбирается технологическая база для первой операции— черновая технологическая база. Она используется как база для получения (обработки) чистовых баз и должна иметь достаточные размеры и точность, чтобы обеспечить точность базирования и надежность закрепления заготовки на станке. Черновая база используется только один раз, а все последующие операции выполняются только с

обработанных (чистовых) баз. Этим принципиально обеспечивается требуемое взаимное расположение обработанных и необработанных поверхностей детали, которое обязательно задается при конструировании системой размеров.

В дальнейшей обработке для достижения требуемой точности в качестве технологических баз принимаются поверхности, которые используются как конструкторские и измерительные базы детали, а также базы, используемые при сборке. В этом случае обработка ведется непосредственно по размерам рабочего чертежа с использованием всего поля допуска на размер, указанный конструктором. В противном случае технолог вынужден производить замену конструктивных размеров, указанных на рабочих чертежах от конструкторских и измерительных баз, более удобными для обработки *технологическими размерами от технологических баз*. При этом удлиняются соответствующие технологические размерные цепи заготовки. *Поля допусков на исходные размеры* распределяются между большим числом вновь введенных промежуточных размеров, которые связывают технологические базы с конструкторскими и обрабатываемыми поверхностями. В результате появляется необходимость ужесточения допусков на размеры, выдерживаемые при обработке, и, как следствие, снижается производительность и повышается стоимость обработки.

При проектировании технологического процесса стремятся к использованию одной и той же технологической базы для обработки всех либо *кш* можно большего количества поверхностей. Объясняется это тем, что *замена базы всегда связана с нежелательной заменой в размерных цепях одного из звеньев двумя новыми*, т. е. с увеличением числа *звеньев и внесением z грешностей* взаимного расположения самих технологических баз, от которых производится обработка

11.2 Этапы достижения точности. В машиностроении изготовление деталей заключается в превращении выбранной заготовки в готовую деталь, удовлетворяющую заданным техническим требованиям, в том числе требованиям точности размеров, формы и расположения ее поверхностей. Для обеспечения заданной точности требуется выбрать соответствующую заготовку, придать ей форму и размеры, близкие к будущей детали, обеспечить отклонения в пределах допусков на готовую деталь.

Для достижения установленной точности желательно найти такую технологическую систему, которая обеспечила бы ее сразу по всем показателям. Но так как такую систему подобрать сложно, то заготовка проходит через ряд промежуточных, каждая из которых обеспечивает достижение точности по определенным показателям. Технологическая система (ТС) в общем случае состоит из станка, технологического приспособления, режущего инструмента и заготовки (детали). Требуемая точность, например, вала достигается обработкой на токарных шлифовальных станках, фрезерных и станках для суперфиниширования поверхностей. Все станки оснащаются соответствующими приспособлениями и инструментами. Первые дают постепенное уточнение размеров и формы валов, последние обеспечивают получение требуемой шероховатости вала.

Заготовка в процессе обработки участвует своими размерами в размерных цепях ТС, в которые получаемые размеры детали включаются в качестве замыкающих звеньев. Для достижения *точности размера* обрабатываемой детали, т. е. замыкающего звена в размерной цепи ТС, в большинстве случаев используется метод регулирования. Поэтому в ТС встраивают различные компенсационные устройства для изменения относительного расположения режущих кромок инструмента и обрабатываемой детали. Эти изменения вносятся в процессе обработки изделия непрерывно или между проходами. Для достижения *точности взаимного расположения* поверхностей (поворотов) детали используется метод неполной взаимозаменяемости либо регулирования, ремонта ТС. Таким образом, видим, что методы достижения *ости* размеров и методы достижения точности взаимного расположения поверхностей

различны.

При включении размеров заготовки в размерные и кинематические цепи необходимо, чтобы она заняла требуемое положение относительно баз приспособления или рабочего места. Для этого заготовка устанавливается на столе станка или в приспособлении ТС и *координируется* своими технологическими базами относительно ее координатной системы (рабочая плоскость, направляющие). После координирования на станке положение детали должно быть *зафиксировано* и сохранено в течение всего времени операции. Для этого деталь *закрепляют*.

11.3 Технологические требования к деталям

Наиболее распространенными деталями в машинах, в том числе в **машинах** пищевых производств, являются детали, подвергающиеся механической обработке. Технологические требования, предъявляемые к конструкциям таких деталей, направлены на снижение трудоемкости обработки, обеспечение заданной точности, стабильности геометрических размеров, шероховатости поверхностей.

Рассмотрим основные факторы, которые определяют технологичность деталей машин.

Обрабатываемость материалов резанием.

При выборе материалов в процессе проектирования следует учитывать различие в их обрабатываемости *зависящей* от механических *свойств*, *химического* состава и структуры. К трудно обрабатываемым материалам относятся высокопрочные, жаростойкие и нержавеющие стали, высокопрочные чугуны, сплавы титана, молибдена и др. Обрабатываемость резанием снижается при повышении содержания легирующих элементов в стали. Лучше обрабатываются низколегированные стали после высокотемпературной нормализации. Высокая вязкость стали приводит к ухудшению обрабатываемости и шероховатости поверхности. Высокоуглеродистые стали хорошо обрабатываются после отжига.

Понижение ударной вязкости способствует улучшению отделения стружки. Практика показывает, что в большинстве случаев вязкие, пластичные материалы дают после механической обработки повышенную шероховатость. Пониженная твердость улучшает шероховатость при некотором повышении сопротивления резания.

Хорошо обрабатываются латуни, алюминиевые и магниевые сплавы. Хуже обрабатываются бронзы, особенно марганцовистые, фосфористые хромистые. *Конструктивные формы деталей. Трудоемкость* механической обработки тем выше, чем *большее число* поверхностей *подвергается обработке*, чем *сложнее эти* поверхности по геометрической *форме*, больше их протяженность и выше требования по *точности и шероховатости*. Поэтому при конструкциями детали *следует предусматривать* возможно большее количество необрабатываемых поверхностей, а обрабатываемые делать с минимальными размерами

по возможности должны быть образованы простыми поверхностями плоскостями, наружными и внутренними цилиндрическими и винтовыми поверхностями. Эти поверхности наиболее производительны и точно обрабатываются простыми движениями заготовки и инструмента: прямолинейными поступательными и вращательными. Фасонные поверхности требуют сложной кинематики станков, повышенной их жесткости. Обработка при этом, как правило, менее производительна.

Конструктивных форм детали, зависит стабильности размеров и качества поверхности. Поэтому к конструкциям и обрабатываемой заготовки предъявляются следующие общие требования:

возможная простота конструкции, наличие поверхностей, удобных для базирования и закрепления при установке на станках на всех операциях,

возможность сокращения числа установок при обработке; возможность использования рациональных методов получения заготовок отсутствие сложных разъемов и внутренних полостей для заготовок, получаемых ковкой; доступность всех поверхностей деталей для обработки на станках и непосредственно измерения, отсутствие сложных контуров обрабатываемых поверхностей;

унификация размеров с целью сокращения номенклатуры инструмента и

возможного исключения специальных инструментов;

возможность использования типовых технологических процессов и групповой обработки;

отсутствие большой разностенности и незамкнутых контуров, вызывающих деформацию при термообработке;

отсутствие мест резких изменений формы, острых краев, буртиков,

являющихся концентраторами напряжений, доступность обрабатываемых остей под термообработку ТВЧ;

достаточная жесткость для применения высокопроизводительных методов механической обработки;

обеспечение нормальных условий врезания и выхода инструмента;

технологическая увязка точности размеров, величины шероховатости, взаимного расположения поверхностей, их соответствие возможности базирования деталей при обработке на станках и геометрической точности станков;

отсутствие специфических требований (допуски по массе, неуравновешенности и др.), особенно для массового и крупносерийного производства;

совмещение конструкторских, измерительных и технологических баз.

Эксплуатационные качества машин, их надежность, долговечность и экономичность изготовления непосредственно связаны с точностью размеров, и взаимного расположения поверхностей деталей и их шероховатостей. Допуски на основные конструктивные размеры и размеры, определяющие технологические базы, конструктор назначает, исходя из функциональной, технологической и экономической целесообразности. При назначении допусков учитывают реальные возможности получения точности, достигаемой обработке поверхностей различными технологическими методами, точность в машиностроении называется *экономической точностью*. В таблице приведены экономические точности наиболее распространенных методов механической обработки.

Очевидно, что чем точнее обработка, т. е. чем жестче допуски, тем она сложнее и дороже. Однако расширение полей допусков с целью упростить технологию и повысить производительность обработки не всегда оправдано и допустимо. В частности, допуски на сопрягаемые поверхности деталей определяются в первую очередь требованиями обеспечения точности сборки, второй зависят стабильность выходных параметров механизма и точность его регулировки. В практике конструирования машин допуски размеров относящиеся к поверхностям, принимаются в зависимости от их функционального назначения.

К наиболее ответственным поверхностям, требующим точной обработки, относятся:

- основные поверхности — конструкторские базы, определяющие эксплуатационные параметры механизма. Размеры этих ответственных поверхностей ограничиваются наиболее жесткими допусками, которые определяются условиями работы механизма. Следует стремиться к тому, чтобы «допуски соответствовали экономической точности. Для указанной группы поверхностей они обычно находятся в пределах 6...10 квалитетов ГГ 6...IT 10»;
- поверхности, используемые в процессе обработки детали как технологические базы и в связи с этим требующие более жестких допусков. Как правило, они назначаются, исходя из экономической точности. Точность размеров,

определяющих базовые поверхности, устанавливают в пределах 8...12 квалитетов (IT 8,..IT 12).

Лекция 12 Сборочные размерные цепи

12.1 Сборочные размеры цепи.

По ГОСТ 23887-79 под точностью сборки следует понимать свойство процесса сборки изделия обеспечивать соответствие значений параметров изделия заданном в конструкторской документации. Это означает, что в результате взаимное положение деталей в сборочной единице и сборочных единиц должно обеспечить взаимное положение или относительное движение исполнительных поверхностей машины в пределах допусков, установленных техническими требованиями. Причем эти требования должны выполнять не только в процессе сборки, но и в процессе эксплуатации и ремонта машин.

В общем случае расположенные последовательно по замкнутому контуру размеры (относительные повороты) принято называть *размерной цепью*. *Сборочной размерной цепью* называется замкнутый контур расположенных последовательно векторов, выражающих размеры сопрягаемых деталей или единиц, входящих в состав проектируемой (или проверяемой анализом) машины и оказывающих влияние на ее функционирование. Сборочная размерная цепь состоит из составляющих звеньев и замыкающего (исходного) звена. *Составляющие звенья* размерной цепи — это размеры (относительные повороты), принадлежащие элементам машины.

Замыкающее звено — это размер (угол относительного поворота), который принадлежит не элементу изделия, а изделию как сборочной единице в целом.

Указанный размер (угол относительного поворота) является основной геометрической метрической характеристикой машины или сборочной единицы, которая позволяет оценивать точность и надежность их работы. Замыкающими звеньями в рассмотренных цепях (рис. 9.1) являются A_d и p_d , составляющими A_Δ и β .

Из приведенного примера видно, что звеньями размерной цепи могут быть линейные и угловые размеры, следовательно, замкнутость размерного контура однозначно показывает зависимость по крайней мере одного из размеров от остальных. Как правило, этот размер является главным, он определяет качество изделия и чаще всего в процессе сборки получается последним. Исходя из допуска на этот размер, определяют предельные значения остальных размеров в цепи.

Если при решении задачи размер получается в размерной цепи последним, то его называют *замыкающим*. Если размер возникает в результате постановки задачи при проектировании, для решения которой используется размерная цепь, то размер называется *исходным*. Когда размер непосредственно связывает поверхности или оси, относительное расстояние: ворот которых необходимо обеспечить или определить в поставленной задаче размер в размерной цепи называется *исходным замыкающим*. Во всех случаях рассматриваемый размер обозначается индексом Δ , например A_Δ и β .

Таким образом, сборочная размерная цепь состоит из исходного замыкающего и составляющих размеров. К исходному замыкающему размер (относительному повороту) предъявляются основные требования точности. Отклонения составляющих размеров (относительных поворотов) вызывают изменение исходного замыкающего размера. Во всех видах технической документации, в том числе и в учебной литературе, используются общепринятые приведенные ниже термины, определения и обозначения размерных цепей.

Размерная цепь — это совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной. Все размерные цепи

обозначаются прописными буквами русского (А, В, Б... Я) или греческого ($\beta, \gamma, \dots, \psi$, кроме букв $a, \delta, \lambda, \xi, \omega$) алфавитов без индексов, например размерная цепь Б.

Звено размерной цепи — один из размеров, образующих размерную цепь. Все звенья размерных цепей обозначаются прописными буквами русского (А, Б, В, ..., Я) или греческого ($\beta, \gamma, \dots, \psi$, кроме букв $a, \delta, \lambda, \xi, \omega$) алфавит с индексами (1, 2, 3, ..., $\Delta, \kappa, \text{max}, \text{min}, b, h, g, u$).

Схема размерной цепи представляет собой графическое изображение размерной цепи.

База — *поверхность* или ось, относительно которой определяется положение других поверхностей или осей.

Составляющие звено — такое звено размерной цепи, изменение которого вызывая изменение исходного замыкающегося звена. Обозначается так же, как звено размерной цепи, но с индексом в виде порядкового номера.

Увеличивающее звено — такое звено размерной цепи, с увеличением которого увеличивается исходное замыкающее звено.

Уменьшающее звено — такое звено размерной цепи, с увеличением которого уменьшается исходное замыкающее звено.

Компенсирующее звено — предварительно выбранное звено размерной цепи, изменением размера которого достигается требуемая точность замыкающего звена. Обозначается так же, как звено размерной цепи, но с индексом «к» например, B_{5k} .

Основная размерная цепь — размерная цепь, все звенья которой непосредственно участвуют в решении поставленной задачи.

Конструкторская размерная цепь — размерная цепь, с помощью которой решается задача обеспечения точности при конструировании изделий,

Технологическая размерная цепь — размерная цепь, с помощью которой решается задача обеспечения точности при изготовлении и ремонте изделия.

Измерительная размерная цепь — размерная цепь, при помощи которой решается задача измерения величин, характеризующих точность изделия.

Линейная размерная цепь — размерная цепь, звеньями которой являются линейные размеры. Обозначается так же, как размерная цепь, прописными буквами русского алфавита.

Угловая размерная цепь — размерная цепь, звеньями которой являются угловые размеры. Обозначается так же, как размерная цепь, строчными буквами греческого алфавита.

Плоская размерная цепь — размерная цепь, звенья которой расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях.

Пространственная размерная цепь — размерная цепь, звенья которой расположены в непараллельных плоскостях.

12.2 Основы теории расчета сборочных цепей

Рассеивание размеров деталей. Погрешности оборудования, приспособлений, инструмента, заготовок, измерений и прочее, т.е. производственные причины, вызывают отклонения размеров деталей. Поскольку в большинстве случаев причины возникновения погрешностей проявляются случайно, то и отклонение размеров деталей представляют собой случайные величины.

то и отклонения размеров деталей представляют собой случайные вел Из теории вероятностей и математической статистики известно, что л случайную величину наиболее полно характеризует ее распределение, рое может быть выражено функцией распределения либо представлено в графической или табличной форме.

Точной характеристикой положения центра рассеивания случайной величины (размера) является математическое ожидание, определяемое и ралом

где $p(x)$ — плотность вероятностей случайной величины x .

Характеристикой или мерой теоретического рассеивания случайной чины (размера) около ее математического ожидания является дисперсия или среднеквадратическое отклонение $\sigma(x) = D(x)^{1/2}$:

$$m_x = \int xp(x)dx,$$

В машиностроении показатель точности изделия, являющийся случайной величиной, задают двумя предельными отклонениями: верхним es для вала (отверстия) и нижним ei (EI) соответственно. Условимся для удобства рассмотрения обозначать через es и ei отклонения всех размеров. 7 характеристики размера, как среднее отклонение размера, иначе к координата середины поля допуска eng , и допуск размера t определяются в выражениями:

$$em = 0.5 es + ei \quad t = es - ei$$

Математическое ожидание случайной величины, которой является мер, выражается формулой, понятной из рисунка 9.3а:

$$m_x = N + tm + at$$

где N — номинальное значение размера; at — величина асимметрии рассеивания размера; a — коэффициент асимметрии рассеивания размера. Согласно схеме на рисунке 9.3а

$$m_x = N + m(\Delta x)$$

где $m(\Delta x)$ — математическое ожидание отклонения случайной вел. Связь между D , a и t определяют соотношения, полученные Н. А.Бородачевым,

$$\sigma = \frac{1}{6} Kt; D = \frac{1}{36} K^2 t^2.$$

где K — коэффициент относительного рассеивания размера.

12.3 Размерные цепи типовых сборочных единиц.

Выявление сборочных размерных цепей. Каждая машина состоит из от- х сборочных единиц и деталей, служебное назначение которых под- но служебному назначению машины в целом. При проектировании изготовлении машины наряду с решением многочисленных функциональных и конструктивных задач требуется выбрать и обосновать методы достижения точности сборки. Выбор начинается с анализа конструкции и выявления исполнительных поверхностей. Затем определяется состав сборочных и деталей, их взаимосвязанность и взаимодействие. Далее формулируются задачи, которые необходимо решить в процессе обеспечения требуемой точности машины или сборочной единицы. Каждая задача касается точности одного из параметров размерной связи, поэтому для ее решения выделяется соответствующая размерная цепь.

В процессе решения задачи требуется выявить исходное замыкающее звено сражающее сущность решаемой задачи (расстояние или относительный поверхностей осей); выявить составляющие размеры размерной цепи расстояния, относительные повороты); выявить размерную цепь — идти от поверхностей (осей) деталей, образующих исходное замыкающее звено, к основным базам (осям) деталей, базирующих первые детали, отдельными и учитываются несовпадение основных и вспомогательных баз базирующей детали сборочной единицы и образования замкнутого контура.

