



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»  
(ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

---

Журавлева Л.А.  
Карпов М.В.

# **КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

Москва 2022

УДК 614.8  
ББК 68.9  
К 65

К 65        **Конструирование и расчет наземных транспортно-технологических машин** : учебное пособие / Сост.: Л.А. Журавлева, М.В. Карпов // РГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева – М.; Саратов: Амирит, 2022. – 217 с.

ISBN 978-5-00140-986-1

Учебное пособие содержит теоретический материал в области конструирования современной техники наземных транспортно-технологических машин. Направлен на формирование у студентов знаний по основам конструирования, овладение инженерными методами решения задач, расчета, выбора и использования машин и оборудования.

УДК 614.8  
ББК 68.9

© ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022

ISBN 978-5-00140-986-1

## Введение

Решение задачи достижения наивысшего уровня науки, техники, экономики и производства будет способствовать увеличению производительности общественного труда и уменьшению удельного расхода энергии и сырья на единицу произведенной продукции. Основной задачей машиностроения является обеспечение быстрорастущего населения разного рода изделиями, необходимыми для удовлетворения самых разных его потребностей (в жилище, питании, работе, досуге, средствах обороны, здравоохранении, воспитании и образовании и др.).

Задача конструктора состоит в создании машин, полно отвечающих потребностям народного хозяйства, дающих наибольший экономический эффект и обладающих наиболее высокими технико-экономическими и эксплуатационными показателями, конкурентно-способными на внутреннем и внешнем рынках.

Главными показателями являются: высокая производительность, экономичность, прочность, надежность, малые масса и металлоемкость, габариты, энергоемкость, объем и стоимость ремонтных работ, расходы на оплату труда операторов, высокий технический ресурс и степень автоматизации, простота и безопасность обслуживания, удобство управления, сборки и разборки.

В конструкции машин необходимо соблюдать требования технической эстетики. Машины должны иметь красивый внешний вид, изящную, строгую отделку.

Значимость каждого из перечисленных факторов зависит от функционального назначения машины:

в машинах-генераторах и преобразователях энергии на первом плане стоит величина КПД, определяющего совершенство преобразования затрачиваемой энергии в полезную;

в машинах-орудиях - производительность, четкость и безотказность действия, степень автоматизации;

в металлорежущих станках - производительность, точность обработки, диапазон выполняемых операций;

в приборостроении - чувствительность, точность, стабильность показаний;

в транспортной технике, особенно в авиационной и ракетной, - малая масса конструкции, высокий КПД двигателя, обуславливающий малую массу бортового запаса топлива.

Проектируя машину, конструктор должен добиваться всемерного увеличения ее рентабельности и повышения экономического эффекта за весь период работы. Экономический эффект зависит от обширного комплекса технологических, организационно-производственных и эксплуатационных факторов. В данном курсе рассмотрены только те способы повышения экономичности, которые непосредственно связаны с конструированием и зависят от деятельности конструктора и используемых им средств конструирования.

Учебное пособие по дисциплине «Конструирование и расчет наземных транспортно-технологических машин» предназначен для студентов соответствующих направлений подготовки. Базовые знания, которыми должен обладать студент после изучения материала учебного пособия призваны способствовать освоению дисциплин, направленных на формирование профессиональных знаний и умений.

# 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАШИНАХ И МЕХАНИЗМАХ. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К МАШИНАМ И МЕХАНИЗМАМ

## Классификация машин

Современное производство немислимо без всевозможных высокоэффективных машин.

**Машина** – это механическое устройство, предназначенное для выполнения требуемой полезной работы, связанной с процессом производства или транспортирования или же с процессом преобразования энергии, движения или информации.

Благодаря их использованию повышается производительность труда, облегчается физический и умственный труд человека и т.д.

По характеру рабочего процесса и назначению машины подразделяются на следующие группы (классы):

1. Энергетические машины, в которых какой-либо вид энергии (электрической, тепловой и т. п.) преобразуется в механическую работу и наоборот. К этой группе относятся как машины-двигатели (электродвигатели, тепловые и ядерные двигатели и т. п.), так и машины-преобразователи (компрессоры, электрические генераторы и др.).

2. Технологические или рабочие машины, предназначенные для выполнения производственных процессов по изменению формы, свойств и положения объектов труда (отраслевые машины, например металлорежущие и ткацкие станки, сельскохозяйственные машины, полиграфические, швейные, горнодобывающие и другие машины, роботы и т.п.).

3. Транспортные машины, предназначенные для перемещения объектов труда.

4. Информационные (контрольно-управляющие) машины, в которых происходит преобразование вводимой информации для контроля, регулирования и управления технологическими процессами (вычислительные, кибернетические машины и др.).

В зависимости от способа управления различают машины ручного управления (на встроенном рабочем месте или дистанционно), полуавтоматического и автоматического действия.

Машина, в которой преобразование энергии (материалов и информации) происходит без непосредственного участия человека, называется машиной - автоматом. Совокупность машин-автоматов, соединенных между собой автоматическими транспортными устройствами, управляемых единой системой управления и предназначенных для выполнения определенного технологического процесса, образует автоматическую линию.

## Механизмы и их назначение

**Механизм** - часть машины, в которой рабочий процесс реализуется путем выполнении определенных механических движений.

Являясь носителем этих движений, механизм представляет собой совокупность (систему) взаимосвязанных тел, предназначенных для

преобразования движения одного или нескольких тел в требуемые движения других тел.

Механизм осуществляет: передачу энергии (движения), как правило, с преобразованием сил и характеристик закона движения от источника, например двигателя, к одному или нескольким рабочим органам машины; преобразование и регулирование механического движения; заданную компоновку машины.

Если в преобразовании движения участвуют как твердые, так и жидкие или газообразные тела, то механизм называется соответственно гидравлическим или пневматическим.

**Деталь** - изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марки материала без применения сборочных операций. К деталям можно отнести: валик из одного куска материала, литой корпус; пластину из биметаллического листа; печатную плату и т.д. Деталь может быть изготовлена с применением местных сварки, пайки, склеивания, сшивания и т.д. (трубка паянная или сваренная из одного куска листового материала, коробка склеенная из одного куска картона) и иметь защитное или декоративное покрытие.

**Кинематическое звено** – это деталь или несколько деталей связанных в работе между собой неподвижно или взаимно неподвижно. Выполнение звеньев не из одной, а из нескольких соединенных между собой деталей обеспечивает возможность:

- изготовления деталей из разных материалов, например, вкладышей подшипников из бронзы или другого антифрикционного материала, а корпуса подшипника из чугуна;

- удобной замены быстроизнашивающихся деталей;

- сборки (например, установка коленчатого вала в коренные подшипники двигателя выполняема лишь при съемных крышках) и облегчения сборки машины;

- облегчение изготовления деталей ввиду упрощения их формы и уменьшения размеров;

- большей нормализации, стандартизации и централизованного изготовления деталей.

**Кинематическая пара** – это соединение двух звеньев обеспечивающее их относительную подвижность (рычаг – стойка, толкатель – направляющая, щуп – направляющая).

По характеру движения кинематические пары делятся на:

- вращательные;

- поступательные.

По характеру соприкосновения звеньев кинематические пары делятся:

- низшие;

- высшие.

Низшими кинематическими парами называют такие кинематические пары, в которых соприкосновение звеньев происходит по поверхности.

Высшими кинематическими парами называют пары, в которых соприкосновение звеньев происходит по линии или точке.

**Изделием** называется любой предмет производства (или набор предметов), подлежащих изготовлению на предприятии.

Изделия в зависимости от их назначения делят на изделия основного производства и вспомогательного.

К изделиям основного производства относятся изделия, предназначенные для поставки (реализации), к изделиям вспомогательного производства – изделия, предназначенные только для собственных нужд предприятия.

Установлены следующие виды изделий:

- детали;
- сборочные единицы;
- комплексы;
- комплекты.

**Сборочная единица** – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, опрессовкой и т.д.), например, автомобиль, станок, редуктор, сварной корпус, маховичок из пластмассы с металлической арматурой и др.

**Комплекс** – два или более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии - изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций (автоматическая телефонная станция, бурильная установка; изделие, состоящее из метеорологической ракеты, пусковой установки и средств управления; корабль и т.п.).

**Комплект** – два или более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих собой набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (комплект запасных частей, комплект инструмента и принадлежностей, комплект измерительной аппаратуры, комплект упаковочной тары и т.д.).

### **Основные характеристики и требования, предъявляемые к машинам и механизмам**

Основными характеристиками машин являются: назначение и область применения, способ управления, мощность и производительность, коэффициент полезного действия, масса, габаритные размеры, стоимость и др.

Производительность машин измеряют в единицах, которые наиболее пригодны для данного оборудования. Например, производительность ткацких станков характеризуют количеством метров сотканной ткани, транспортера - массой транспортируемого груза в единицу времени и т.п.

Коэффициент полезного действия является характеристикой экономичности машин. Он показывает долю полезно реализуемой энергии и эффективность ее использования.

Массу и габаритные размеры необходимо знать для транспортирования машин и размещения их на производственных площадях.

Основные характеристики машин указывают в их техническом паспорте.

К машинам и механизмам предъявляют следующие основные требования: работоспособности; надежности; технологичности; экономичности; эргономичности.

**Работоспособность.** Работоспособностью называют состояние машин и механизмов, при котором они способны нормально выполнять заданные функции с параметрами, установленными нормативно-технической документацией (техническими условиями, стандартами и т. п.).

**Надежность.** Надежностью изделия называют свойство выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам в условиях использования, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

Надежность является общей проблемой для всех отраслей машиностроения, приборостроения и других отраслей. Любая современная машина или прибор, какими бы высокими характеристиками они ни обладали, будут обесценены при ненадежной работе.

Надежность изделия зависит от необходимой наработки, которая может исчисляться в часах работы станка, налета самолета и т. д., в километрах пробега автомобиля, гектарах обработанной земли для сельскохозяйственной машины и т. д. Надежность зависит от всех этапов создания и эксплуатации изделий. Ошибки проектирования, погрешности в производстве, упаковке, транспортировке и эксплуатации изделия сказываются на его надежности.

Надежность изделий обуславливается их безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью.

**Безотказность** – свойство сохранять работоспособность в течение заданной наработки без вынужденных перерывов. Это свойство особенно важно для машин, отказы которых связаны с опасностью для жизни людей (например, самолеты) или с перерывом в работе большого комплекса машин.

**Долговечность** – свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для ремонтов и технического обслуживания.

**Ремонтпригодность** – приспособленность изделия к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

**Сохраняемость** – свойство изделия сохранять требуемые эксплуатационные показатели после установленного срока хранения и транспортирования.

Надежность деталей машин сильно зависит от того, насколько близок режим работы деталей по напряжениям, скоростям и температурам к предельным, т.е. от запасов по основным критериям работоспособности.

Надежность в значительной степени определяется качеством изготовления, которое может изменять ресурс в несколько раз.

Надежность статически определимых механизмов при одинаковых номинальных напряжениях выше, чем статически неопределимых, что связано с меньшим влиянием технологических погрешностей, а также температурных и

силовых деформаций. Например, самоустанавливающиеся конструкции, как правило, более надежны, чем несамоустанавливающиеся.

Утрата работоспособности изделий (полная или частичная) называется **отказом**. Отказы по своей природе могут быть связаны с разрушением деталей или их поверхностей (поломки, выкрашивание, износ, коррозия) или не связаны с разрушением (засорение каналов, ослабление соединений). Отказы бывают полные и частичные; внезапные (например, поломки) и постепенные (изнашивание, коррозия и др.); опасные для жизни человека, тяжелые и легкие; устранимые и неустраиваемые. По времени возникновения отказы делятся на приработочные (возникающие в первый период эксплуатации и связанные с отсутствием приработки и с попаданием в сборку дефектных элементов); отказы при нормальной эксплуатации (до проявления износных отказов) и износные отказы, к которым в теории надежности относят также отказы по усталости и старению.

Основным показателем безотказности является вероятность безотказной работы в течение заданного времени или заданной наработки. Экспериментально этот показатель может быть оценен как отношение числа образцов, сохранивших работоспособность, к общему числу испытанных образцов, если последнее достаточно велико.

В связи с тем, что отказ и безотказная работа взаимно противоположные события,

$$P(t)+Q(t)=I,$$

где  $Q(t)=\int_0^t f(t)dt$  - вероятность отказа за время  $t$ ;  $f(t)$  - плотность вероятности отказов.

Основные показатели долговечности деталей: а) средний ресурс, т.е. средняя наработка до предельного состояния, и б) ресурс, который обеспечивается у заданного числа ( $\gamma$ ) процентов (например, 90%) изделий, так называемый гамма – процентный ресурс.

Вероятность безотказной работы системы равна по теореме умножения вероятностей безотказной работы элементов

$$P_{CT}(t)=P_1(t)P_2(t)\dots P_n(t).$$

Если  $P_1(t)=P_2(t)=\dots=P_n(t)$ , то  $P_{CT}(t)=P_1^n(t)$ .

Поэтому надежность сложных систем получается низкой, например, при числе элементов  $n = 10$  с одинаковой вероятностью безотказной работы 0,9 общая вероятность  $0,9^{10}=0,35$ .

В период нормальной эксплуатации машин износные отказы еще не проявляются и надежность характеризуется внезапными отказами. Эти отказы называются неблагоприятным стечением многих обстоятельств и имеют постоянную интенсивность, не зависящую от продолжительности предшествующей эксплуатации изделия.

**Технологичность.** Под технологичностью понимают совокупность признаков, обеспечивающих наиболее экономичное, быстрое производительное изготовление машин применением прогрессивных методов обработки при одновременном повышении качества, точности и взаимозаменяемости частей.

В понятие технологичности следует ввести также признаки, обеспечивающие наиболее производительную сборку изделия (технологичность сборки) и наиболее удобный и экономичный ремонт (технологичность ремонта).

Технологичность зависит от масштаба и типа производства. Единичное и мелкосерийное производство предъявляют к технологичности одни требования, крупносерийное и массовое - другие. Признаки технологичности специфичны для деталей различных групп изготовления.

В массовом производстве штампованные «крышка» и «шквив» будут при всех других равных условиях, более предпочтительны, т.к. себестоимость изготовления единицы продукции будет меньше, чем при получении деталей литьем с последующей механической обработкой. При единичном и серийном производствах оборудование и технологическая оснастка для штамповки не окупится.

**Экономичность.** При оценке экономичности учитывают затраты на проектирование, изготовление, эксплуатацию и ремонт.

Экономичность машин достигается за счет снижения материалоемкости, энергоемкости и трудоёмкости производства, за счет максимального коэффициента полезного действия в эксплуатации при высокой надежности; высокой специализацией производства и т. д.

**Эргономичность.** Совершенство и красота внешних форм машины и удобство обслуживания существенно влияют на отношение к ней со стороны обслуживающего персонала и потребителей.

Красивый внешний вид деталям, узлам и машине придают форма и внешняя отделка конструкции (декоративная полировка, окраска, нанесение гальванических покрытий и оксидных пленок и т. д.). Существенное значение имеет и влияние машин на окружающую среду.

Выполнение указанных требований обеспечивается в результате создания и совершенствования машин в процессе эксплуатации, в котором участвуют не только инженеры-конструкторы, но и инженеры-технологи, инженеры по эксплуатации и ремонту, инженеры-экономисты и другие специалисты, а также техники и рабочие, занятые в технологических процессах.

Вот почему для понимания принципа действия используемых на производстве машин, и в особенности для их совершенствования (например, с целью форсирования режимов работы, переналадки и т. п.), необходимо иметь представление о построении машин, распространенных в технике механизмах, методах их анализа и оценки надежности.

## **2 ТИПАЖ, ТИПОРАЗМЕРНЫЕ РЯДЫ МАШИН**

### **Параметрические ряды машин**

Сокращение номенклатуры объектов производства на основе рационального выбора их типажа повышает серийность выпуска, расширяет возможности механизации и автоматизации производства и внедрения прогрессивных методов изготовления с соответствующими увеличением

производительности, уменьшением стоимости продукции и повышением ее качества. Устраняется распыливание средств на выпуск машин малыми сериями, облегчается эксплуатация, ремонт и снабжение запасными частями, создаются предпосылки рентабельного изготовления запасных частей.

Задача сокращения номенклатуры и числа объектов производства решается тремя основными способами:

- созданием параметрических рядов машин с рационально выбранными интервалами между каждой из них;
- увеличением универсальности машин, т. е. расширением круга выполняемых ими операций;
- заложением в конструкцию резервов развития и последовательным использованием этих резервов по мере роста потребностей народного хозяйства.

Все эти способы можно сочетать как один с другим, так и со способами унификации. Например, возможно параллельное создание унифицированных и параметрических рядов поршневых двигателей: унифицированные ряды состоят из двигателей с одинаковыми цилиндрами, но с различным числом и расположением их; параметрические ряды — из двигателей с тем же числом и расположением цилиндров, но с другим диаметром последних.

**Параметрическими рядами называют ряды машин одинакового назначения с регламентированной конструкцией, показателями и градациями показателей.**

Во многих случаях целесообразно положить в основу ряда единый тип машины, получая необходимые градации изменением ее размеров при сохранении геометрического подобия модификаций ряда. Такие ряды называют размерно-подобными или просто размерными.

В других случаях целесообразно установить для каждой градации свой тип машин со своими размерами. Такие ряды называют типоразмерными.

Примером могут служить судовые двигатели. При малых мощностях целесообразно применять четырехтактные двигатели внутреннего сгорания, при средних и больших мощностях — двухтактные, обладающие при равной мощности меньшими габаритами и весом, или газотурбинные, способные к еще большей концентрации мощности.

Применяют и смешанные ряды: одни модификации ряда делают однотипными и геометрически подобными, другие создают на основе иных типов. Применение разных типов (случай типоразмерных и смешанных рядов) не снижает эффективности метода параметрических рядов, т. к. экономический эффект параметрических рядов обусловлен сокращением числа моделей. Технологическим выигрышем является централизованное, а следовательно, производительное изготовление машин, обусловленное увеличением масштаба выпуска каждой модели.

Метод параметрических рядов дает наибольший эффект в случае машин массового применения, имеющих большой диапазон изменения показателей (двигатели внутреннего сгорания, электродвигатели, металлорежущие станки, насосы, компрессоры, редукторы и др.).

Наибольшее значение при проектировании параметрических рядов имеет правильный выбор типа машин, числа членов ряда и интервалов между ними. При решении этих вопросов необходимо учитывать степень применимости различных членов ряда, вероятные в эксплуатации режимы работы, степень гибкости и приспособляемости машин данного класса (возможность варьирования эксплуатационных показателей), возможности их модификации, способность образовывать дополнительные производные машины.

В диапазоне наиболее часто применяемых параметров целесообразно увеличивать число членов ряда; в диапазоне редко применяемых — расширять интервалы между членами ряда.

Одним из главных условий реализации экономического эффекта параметрических рядов является длительность их применения. Поэтому при проектировании параметрического ряда надо учитывать не только современное состояние, но и перспективы развития тех отраслей народного хозяйства, для которых он предназначен.

**Параметрические (типоразмерные) ряды** - ряды машин одного вида, различающиеся значением главного параметра, устанавливаются для сокращения выпуска типоразмеров машин, возможности унификации, создания модификаций на базовых машинах, упрощения их эксплуатации. Ряды машин строятся на основе предпочтительных чисел, рядов главных параметров.

Стандарты машин. Все строительные машины разрабатываются и изготавливаются в полном соответствии со стандартами.

По сфере действия различают: *стандарты государственные* (ГОСТ); *стандарты отраслевые* (ОСТ); *стандарты предприятий и объединений* (СТП); *международные стандарты*.

Основным типом ГОСТ являются «*Технические условия*». На отдельные машины сохранились стандарты «*Основные параметры*» и «*Технические требования*».

Помимо указанных типов действуют стандарты «*Общие технические требования*» (ОТТ), являющиеся перспективными научно-техническими документами.

Типовой состав ГОСТ «*Технические условия*» следующий: область его распространения, основные параметры, технические требования безопасности, комплектность поставки, правила приемки, методы испытаний, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение, указания по эксплуатации, гарантии изготовителя.

В ГОСТе «*Общие технические требования*» приведено ограниченное число основных параметров и показателей.

Для каждой группы строительных машин предусмотрены показатели их технического уровня и качества, дифференцированные по двум ступеням, которые различаются началом срока действия стандарта с момента выпуска машин.

Каждой системой охватывается различное количество стандартов. В свою очередь, каждый стандарт объединяет группу строительных машин. Как

правило, стандарт действует в течение 5 лет, при этом указываются даты начала и окончания его применения.

Помимо стандартов на строительную технику существуют стандарты, регламентирующие отдельно показатели и положения, связанные с работой машин.

### **Основные направления развития конструкций машин**

Направления развития техники зависят как от области ее применения, так и от общих тенденций научно-технического прогресса в машиностроении. К наиболее характерным направлениям развития строительного и дорожного машиностроения относятся:

1) повышение в экономически оправданных пределах единичной мощности машин и оборудования;

2) гидрофикация машин путем замены механических приводов гидромеханическими и гидрообъемными приводами;

3) автоматизация систем управления, контроля и обеспечения безопасности работы машин на основе применения микропроцессорной техники и роботов;

4) снижение материало- и энергоемкости машин, повышение их ресурса и надежности на основе совершенствования методов расчета и конструирования и применения новых материалов с лучшими физико-механическими свойствами и характеристиками;

5) повышение требований к эргономике и технической эстетике машин и оборудования на основе более полного учета физических и функциональных возможностей человека-оператора, управляющего машиной;

6) создание приводов с форсированными режимными характеристиками, обеспечивающих сокращение времени разгона машин и соответственно увеличение их производительности;

7) повышение скоростей движения, главным образом транспортных скоростей, что также позволяет увеличить производительность машин;

8) конструирование машин и оборудования из унифицированных блоков-модулей, что позволяет ускорить процесс создания машины и сократить время ее простоев в ремонтах;

9) широкая унификация и стандартизация техники с целью увеличения темпов ее производства, сокращения простоев, связанных с ремонтом и техническим обслуживанием, а также улучшения качества изготовления узлов и деталей машин;

10) увеличение номенклатуры сменных рабочих органов для расширения области применения машин данного типа;

11) создание мобильных машин на короткобазных шасси, позволяющих улучшить их маневренность, что имеет большое значение при выполнении строительно-монтажных работ в стесненных условиях.

Все большее внимание при проектировании и создании новой техники уделяется вопросам снижения материалоемкости конструкций. Эта задача решается как конструкторскими, так и технологическими средствами путем применения легких и вместе с тем прочных материалов, использования

прогрессивной технологии для изготовления сборочных единиц и деталей машины, выбора рациональных форм профилей для несущих конструкций, применения активных рабочих органов, действие которых основано, например, на использовании вибрационного, виброударного или взрывного эффектов.

### **3 КОНСТРУИРОВАНИЕ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ**

#### **Унификация конструктивных элементов и деталей**

Элементы, выявляющиеся в процессе компонования, следует многократно использовать для всей конструкции, средняя расчетные параметры и добиваясь максимального сокращения их номенклатуры.

Унификации в первую очередь подлежат посадочные соединения (по номинальным размерам, типу посадок и качеству), резьбы (по диаметру, шагу и качеству), шлицевые и шпоночные соединения, крепежные детали и т. д. Целесообразно сокращать номенклатуру материалов, виды отделочных операций, гальванических покрытий, типы сварки, форму сварных швов и др.

Следует добиваться максимальной унификации оригинальных деталей. Особенно это важно для трудоемких и многократно повторяющихся деталей.

#### **Технологическое формирование показателей качества деталей машин**

Среди параметров и показателей, характеризующих любой техникой объект, всегда имеются такие, которые на протяжении длительного времени имеют тенденцию монотонного изменения или тенденцию поддержания на определенном уровне при достижении своего предела. Эти показатели всеми осознаются как мера совершенства и прогрессивности, и они оказывают сильное влияние на развитие отдельных классов технических объектов и техники в целом.

Такие параметры и показатели называют критериями развития технических объектов. Об их важности можно судить по тому факту, что технический прогресс в области любых технических объектов обычно заключается в улучшении одних критериев без ухудшения (во всяком случае, без значительного ухудшения) других.

Оценка технического уровня и качества изделия осуществляется путем сопоставительного (сравнительного) анализа в следующем порядке:

- выбирается базовое изделие (идеальный вариант, аналог или прототип);
- выявляются численные значения основных технико-экологических показателей оцениваемого и базового изделий;
- рассчитываются уровни относительных показателей технического уровня и качества;
- рассчитывается величина обобщенных показателей технического уровня и качества изделий.

В качестве базового изделия для сопоставления выбирают наилучший, реальный образец данного вида и типоразмера изделий, имеющийся в мировой практике. Он может быть как отечественным, так и зарубежным и именуется

аналогом. Иногда при решении задач по модернизации изделий данного вида в качестве базового изделия принимают изделие - прототип которого совершенствуется путем устранения имеющихся недостатков.

При оценке технического уровня и качества изделий значения основного размерного параметра (производительность, рабочая поверхность, полезный объем и т.д.) не должны отличаться от такового для базового изделия более чем на 20%.

### **Показатели технического уровня и качества технических объектов, применяемые в машиностроении**

#### *Группа 1 Показатели назначения.*

Производительность машины, аппарата (кг/час, т/сут., т/год, м<sup>3</sup>/ч и т.д.).

Полный или рабочий объем - для аппаратов, назначение которых определяется их объемом (м<sup>3</sup>).

Установленная мощность (кВт).

Давление, напор (МПа, м вод. ст. и т.д.).

Скорость обработки объекта, давления, вращения и т.д. (м/сек, об/сек).

Масса технического объекта (кг).

Габаритные размеры технического объекта (м).

Площадь, занимаемая техническим объектом (м<sup>2</sup>).

Площадь рабочей поверхности технического объекта: площадь теплообмена, площадь фильтрации (м<sup>2</sup>).

Выход готового продукта (за вычетом потерь),%.

Показатели первой группы, критериями развития не являются и имеют тройное назначение:

*во-первых*, они являются исходными характеристиками, на основе которых производится расчет критериев развития, предусмотренных в последующих группах показателей;

*во-вторых*, они позволяют судить о степени соответствия данного технического объекта по своим характеристикам требованиям конкретного потребителя;

*в-третьих*, учитывая, что по мере исторического развития технических объектов наблюдается стойкая тенденция к росту. Следовательно, сопоставляя соответствующие характеристики с лучшими мировыми достижениями, можно косвенно судить о техническом совершенстве машины или аппарата.

#### *Группа 2 Показатели надежности.*

Наработка на отказ (ч).

Установленный ресурс или срок службы до капитального ремонта (ч, мес., лет).

Срок службы до списания (ч, мес., лет).

Срок службы до списания является нормируемым показателем надежности, определяемым проектантом по формуле:

$$T_{\text{сп}} = \frac{T_p(n_k + 1)}{24 \cdot \Pi \cdot K_n},$$

где  $T_{\text{сп}}$  - ресурс до капитального ремонта (ч);

$n_k$  - целесообразное количество капитальных ремонтов технического объекта за весь период его эксплуатации;

$\Pi$  - количество рабочих дней в году (т.е. без праздничных дней);

$K_{\text{и}}$  - коэффициент использования оборудования. Для непрерывного режима эксплуатации  $K_{\text{и}} = 1$ .

Назначенный ресурс между операциями восстановления:

а) между операциями технического обслуживания;

б) между текущими ремонтами (ч).

Суммарная трудоемкость технического обслуживания за время эксплуатации технического объекта (ч).

Суммарная продолжительность плановых ремонтов (ч):

$$t_{\text{п}} = T_{\text{пт}} \cdot n_{\text{т}} + T_{\text{пк}} \cdot n_{\text{к}},$$

где  $T_{\text{пк}}$  - средняя продолжительность одного капитального ремонта;

$T_{\text{пт}}$  - средняя продолжительность одного текущего ремонта;

$n_{\text{т}}$  - количество текущих ремонтов, планируемых за срок службы технического объекта.

Коэффициент технического использования:

$$K_{\text{ти}} = \frac{t_{\text{п}}}{t_{\text{п}} + t_{\text{п}} + t_{\text{то}}},$$

где  $t_{\text{п}}$  - наработка за весь планируемый срок службы машины, аппарата;

$t_{\text{то}}$  - суммарная продолжительность операций технического обслуживания помимо продолжительности плановых текущих и капитальных ремонтов  $t_{\text{п}}$ .

Коэффициент технического использования является критерием развития, позволяющим судить о техническом совершенстве машины, аппарата.

Гарантийный срок работы (ч).

Гарантийный срок работы, как правило, указывается в паспорте технического объекта и выбирается в пределах между минимальным сроком, обеспечивающим конкурентоспособность технического объекта, и наработкой на отказ.

*Группа 3 Показатели экономического использования сырья, материалов, топлива, энергии и других ресурсов.*

Удельный расход в эксплуатации:

а) пара (кг/ед. главного параметра);

б) воды (м<sup>2</sup>/ед. главного параметра);

в) сжатого воздуха (м<sup>3</sup>/ед. главного параметра);

г) тепловой энергии (кВт-ч. /ед. главного параметра);

д) электроэнергии (кВт-ч. /ед. главного параметра);

е) топлива (кг/ед. главного параметра).

Удельная площадь, занимаемая техническим объектом (м<sup>2</sup>/ед. главного параметра).

Производительность в расчете на единицу занимаемой площади или съём продукции с кв. метра площади, занимаемой техническим объектом (кг/ч/м<sup>2</sup>; шт/ч/м<sup>2</sup>).

КПД является важнейшим критерием развития технических объектов, осуществляющих механические, гидромеханические, аэродинамические процессы, и характеризует эффективность использования энергии.

Коэффициент автоматизации - численно равен отношению количества управляющих операций, выполняемых непосредственно только техническим объектом, к общему числу управляющих операций, выполняемых суммарно техническим объектом и человеком.

Коэффициент механизации.

Показатель определяется как отношение числа механизированных технологических операций по изготовлению продукции с помощью оцениваемой технической системы к суммарному числу механизированных и ручных операций.

Интегральный экономический показатель качества.

$$U = \frac{\mathcal{E}}{z_n + z_s},$$

где  $\mathcal{E}$  - экономический эффект;

$z_n$  - затраты на производство технического объекта;

$z_s$  - затраты на эксплуатацию.

*Группа 4 Эргономические показатели.*

Гигиенические:

а) степень соответствия температуры на рабочем месте нормальным условиям (балл);

б) степень соответствия давления на рабочем месте нормальным условиям (балл);

в) степень соответствия влажности на рабочем месте нормальным условиям (балл).

Антропометрические:

а) соответствие изделия требованиям к рабочей позе, зонам достигаемости, физическим усилиям (балл);

б) соответствие изделия требованиям к объёму, скорости и точности рабочих движений человека (балл).

Физиологические:

а) соответствие изделия зрительным возможностям человека (балл);

б) соответствие изделия осязательным возможностям человека (балл);

в) соответствие изделия слуховым возможностям человека (балл).

Психологические:

а) соответствие изделия возможностям человека к восприятию и переработке информации (балл);

б) соответствие изделия требованиям к формированию навыков по эксплуатации технического объекта (балл).

Значения эргономических показателей определяются методом экспертных оценок.

*Группа 5 Эстетические показатели.*

Информационная выразительность (балл).

Рациональность формы (балл).

Рациональность цветового решения (балл).

Степень соответствия моде, стилю, традициям (балл).

Совершенство производственного исполнения и стабильность товарного вида (балл).

Показатели определяются методом экспертных оценок.

*Группа 6 Показатели технологичности.*

Удельная масса изделия (кг/ед. главного параметра).

Коэффициент использования материалов

$$K_{\text{и.м.}} = \frac{G_{\text{изд}}}{G_{\text{мет}}},$$

где  $G_{\text{изд}}$  - масса изделия;

$G_{\text{мет}}$  - масса израсходованных материалов.

Это критерий, которому свойственно монотонное возрастание по мере технического прогресса в области технологии машиностроения, стремление к предельному значению

$$K_{\text{и.м.}} = 1.$$

Удельная трудоемкость изготовления (норма ч/ед. главного параметра)

$$K_{\text{т}} = T_{\text{с}}/Q,$$

где  $T_{\text{с}}$  - суммарная трудоемкость проектирования, изготовления изделия;

$Q$  - главный параметр изделия.

Удельная энергоемкость изготовления (квт-ч/ед. главного параметра).

*Группа 7 Показатели стандартизации и унификации.*

Коэффициент применяемости (%):

$$K_{\text{прим}} = \frac{n - n_0}{n} \cdot 100 \%,$$

где  $n$  - количество типоразмеров деталей в изделии;

$n_0$  - количество наименований (позиций в спецификации) оригинальных деталей в изделии.

Коэффициент повторяемости:

$$K_{\text{повт}} = \frac{N}{n},$$

где  $N$  - количество деталей в изделии.

При расчете коэффициентов применяемости и повторяемости количество крепежных деталей в изделии (болты, гайки, шайбы, шпильки, шпильки и т.д.) не учитывается.

Коэффициент унификации:

$$F_{\text{ун}} = \frac{n_{\text{с}} + n_{\text{п}} + n_{\text{з}}}{N},$$

где  $n_c$  - количество стандартных деталей в изделии;

$n_n$  - количество покупных деталей (узлов) в изделии;

$n_3$  - количество деталей (узлов), заимствованных из других изделий.

#### *Группа 8 Патентно-правовые показатели.*

Показатель патентной защиты - показатель характеризует наличие в изделии составных частей, защищенных патентами. Показатель определяется количеством охранных документов, выданных на изделие и его элементы.

Показатель патентной чистоты.

Этот показатель характеризует возможность беспрепятственной реализации изделия за счет отсутствия в нем составных частей, подпадающих под действие охранных документов в стране предполагаемого сбыта.

#### *Группа 9 Показатели безопасности*

Уровни звуковой мощности в октавных полосах частот или звукового давления в октавных полосах частот (ДБ).

Корректированный уровень звуковой мощности или эквивалентный уровень звука (ДБА).

Уровень шумовых характеристик по отношению к допустимым предельным значениям.

Логарифмические уровни вибростойкости в октавных полосах частот (ДБ).

Уровень вибрационных характеристик по отношению к допустимым предельным значениям.

Категория взрывобезопасности, диктуемая условиями эксплуатации технического объекта.

#### *Группа 10 Показатели транспортабельности.*

Степень соответствия массы изделия нормативной грузоподъемности транспортных средств.

Степень соответствия массы изделия нормативной грузоподъемности транспортных средств.

Трудоемкость подготовки изделия к транспортировке (н-ч).

Трудоемкость послетранспортной подготовки изделия к монтажу и эксплуатации (н-ч).

#### *Группа 11 Экологические показатели*

Удельный выброс отходов в атмосферу (кг/ч/ед. главного параметра).

Удельный выброс отходов в гидросферу (кг/ч/ед. главного параметра).

Удельный выброс отходов в литосферу (кг/ч/ед. главного параметра).

#### 4 СЛУЖЕБНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ. СТАДИИ И ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Особую значимость в формировании качества проектируемого оборудования имеет точность формулирования его служебного назначения.

Под служебным назначением оборудования понимается максимально уточненная и четко сформулированная технологическая задача, для решения которой оно предназначается.

Служебное назначение технологического оборудования должно отражать, *в первую очередь*, производственную необходимость для удовлетворения которой оно создается.

Оно должно учитывать уровень и состояние научно-технических разработок в данной конкретной области.

Ошибку на любом этапе жизненного цикла оборудования можно исправить, ошибку в формулировании служебного назначения исправить нельзя. Качество создаваемого оборудования зависит, прежде всего, от качества описания служебного назначения.

Общая формулировка служебного назначения должна выражать общую технологическую задачу, для решения которой создается оборудование, например: "токарный станок предназначен для обработки деталей типа тел вращения резанием". Но общая формулировка не раскрывает конкретного назначения оборудования и ее специфических особенностей. Формулировка служебного назначения должна выражать не только общую задачу, для решения которой создается оборудование, но и все дополнительные условия и требования, которые эту задачу максимально уточняют и конкретизируют.

Поэтому, формулируя служебное назначение токарного станка, необходимо уточнить размеры валов, для обработки которых станок предназначается.

Другое уточнение служебного назначения токарного станка может быть связано с его производительностью. Если станок предназначен для изготовления изделий широкой номенклатуры, выпускаемых в небольших количествах, то его конструкция должна быть *универсальной*; если для массового выпуска одинаковых изделий – то *специальной*.

Следующее уточнение служебного назначения может быть связано с требованиями к точности деталей, которые должны будут обрабатываться на станке, – точности размеров, относительного поворота, формы и чисто ты поверхностей.

К числу параметров, уточняющих служебное назначение токарного станка, необходимо отнести режимы обработки деталей, тип заготовок, их материал, условия, в которых предстоит работать станку: возможные колебания температуры окружающей среды, влажность и запыленность воздуха и т. д.

Любое оборудование создается для выполнения определенного технологического (рабочего) процесса. Поэтому определение служебного назначения оборудования надо начинать с изучения и описания, т.е. анализа этого процесса.

Под технологическим процессом, реализуемым оборудованием или с его помощью, понимают совокупность последовательных действий, направленных на достижение определенного результата. Такой процесс практически всегда развивается в непрерывно изменяющихся условиях. Во времени не остаются постоянными качество исходного продукта и количество сообщаемой энергии, колеблются внешние параметры и состояние оборудования.

Качественное изучение технологического процесса включает четыре основных аспекта:

- вид исходного продукта и существо нестабильности его качества;
- вид энергии и ее количественные параметры;
- факторы, изменяющие внешнюю среду, в которой предстоит работать оборудованию;
- сущность изменений состояния оборудования.

Основной источник исходных данных для проектирования оборудования – как правило, описание технологического процесса. Это может быть аналогичный процесс какому-то уже существующему, если необходимо создать оборудование, имеющее аналог. Это может быть новый процесс, проектирование которого обычно предшествует проектированию оборудования.

Выполнение любого технологического процесса сопровождается всевозможными случайными отклонениями его параметров от установленных. Это характерно для следующих факторов:

- качества исходного продукта (предметов производства);
- вида и пределов изменения количества подводимой энергии;
- изменений внешних условий (температуры, влажности, запыленности воздуха и т. д.).

При проектировании оборудования нет смысла устанавливать в каждом конкретном случае конкретную причину того или иного отклонения. Все случайности, нестабильности технологического процесса называют его стохастической неопределенностью.

В большинстве практических задач стохастическую неопределенность технологического процесса можно описать с помощью случайных величин, или случайных функций.

Причем в одних случаях достаточно использовать только математические ожидания (средние значения) случайных величин. В других случаях необходимо использовать характеристики случайного разброса (например, дисперсию или коэффициент вариации). В третьих случаях необходимо оперировать законом распределения вероятностей, который является исчерпывающей характеристикой случайной величины.

Для того чтобы оборудование нормально выполняло свои функции в соответствии со своим служебным назначением, необходимо установить границы варьирования случайностей, сопровождающих выполнение процесса.

Для установления допусков на параметры, подверженные случайному разбросу, целесообразно оперировать категорией риска.

Под риском понимают возможность наступления неблагоприятного исхода (события).

Существуют измерители риска. Один из них – вероятностная мера риска, равная вероятности наступления неблагоприятного исхода. Другой измеритель риска – экономическая мера риска, являющаяся функцией от вероятности наступления неблагоприятного исхода и размера экономического ущерба, вызванного неблагоприятным исходом.

Вероятностная мера риска раскрывает сущность взаимосвязи между объемом дополнительных ресурсов, привлекаемых для осуществления какого либо процесса, и опасностью наступления неблагоприятного события. То есть хочешь снизить риск, привлекай дополнительные ресурсы. Если же сэкономишь, то рискуй.

Риск может быть обусловлен не только стохастической неопределенностью, но также эпистемологической и лингвистической неопределенностями.

Эпистемологическая неопределенность обусловлена субъективностью оценок, суждений и поведения разработчиков проектных решений. Например, установление запаса прочности конструкции в условиях отсутствия методик расчета.

Лингвистическая неопределенность обусловлена, как правило, ограниченностью искусственного языка, используемого для описания реальных объектов и процессов. Например, двумерные проекции не полностью раскрывают объемные представления о конструкции детали. Ограниченность руководства по эксплуатации может вызвать опасность выхода из строя оборудования из-за неправильной его эксплуатации.

Формулировка служебного назначения оборудования должна, прежде всего, содержать исчерпывающие данные о продукции, которую на нем надлежит производить: вид, размеры, качество, количество.

Другую группу данных могут составить показатели производительности. Они определяются при разработке технологии изготовления продукции и соответствующих технико-экономических расчетах. Сюда же можно отнести требования долговечности и надежности машины.

В формулировку служебного назначения оборудования следует включать и условия, в которых ему предстоит работать и производить продукцию требуемого качества в необходимых количествах. Условия работы берутся из описания технологического процесса. В них входят показатели (с допустимыми отклонениями), характеризующие качество исходного продукта, подаваемой энергии, режимы работы оборудования и состояние окружающей среды и др.

Формулировка служебного назначения оборудования может содержать ряд дополнительных сведений, таких, как требования к внешнему виду,

безопасности работы, удобству и простоте обслуживания и управления, уровню шума, коэффициенту полезного действия, степени механизации и автоматизации и т. п.

Чем глубже и правильнее определены задачи, которые должны быть решены с помощью проектируемого оборудования, чем четче будут установлены требования к нему, тем вероятнее и полнее успех применения этого оборудования в производстве.

### **Содержание технических условий на оборудование**

Важнейший документ, отражающий служебное назначение изделия – это технические условия (ТУ). Технические условия – неотъемлемая часть технической документации на оборудование. Они должны содержать все требования к оборудованию, к его изготовлению, контролю, приемке, поставке, а также те, которые целесообразно указывать в конструкторской или другой технической документации.

ТУ является системным документом, так как любые ТУ, т.е. ТУ на любое изделие, должны содержать следующие разделы (кроме, разумеется, вводной части):

- технические требования;
- правила приемки;
- методы контроля (испытаний, анализа, измерений);
- транспортирование и хранение;
- указания по эксплуатации (применению);
- гарантии поставщика.

ТУ тесно увязаны со служебным назначением изделий. Существует ГОСТ на ТУ. Это нормативный документ, обобщающий, унифицирующий и узаконивающий всю практику их разработки на самые разные изделия.

Во вводной части ТУ указывают характеристику объекта, в котором используют данную продукцию, общую характеристику или условное обозначение области применения и условий эксплуатации продукции (на открытом воздухе, в условиях влажного тропического климата, в среде осушенного трансформаторного масла и т. п.).

В разделе *"Технические требования"* указывают требования, *"определяющие показатели качества и эксплуатационные характеристики изделия"*. Показатели и свойства продукции (изделий) обязательно приводятся применительно к условиям и режимам эксплуатации, а также к условиям и режимам испытаний.

Некоторые требования невозможно установить заранее, так как соответствующие показатели не могут быть выражены непосредственно, а лишь установлены при условии однозначного соблюдения каких-либо других требований (к организации производства, гигиенические требования к производственным помещениям и исполнителям, использование определенных элементов технологического процесса, материалов, покрытий, специального технологического оборудования или оснастки, длительная тренировка, обкатка,

приработка, выдержка готовых изделий или материалов, рецептура и т. д.). В этом случае все эти требования должны быть также приведены в разделе "Технические требования".

В зависимости от характера и служебного назначения изделия в соответствующих ТУ должны быть предусмотрены требования к качеству, которым изделие должно соответствовать.

Термин "качество" неоднозначен. Чаще всего под качеством понимают степень соответствия заданным требованиям. Кроме того, качество это еще и совокупность разнообразных свойств, непосредственно вытекающих из специфики конкретного изделия, и им реализуемых, в нем "объединяемых". Первое качество реализуется через второе. Но это разные понятия, их не следует смешивать. В ТУ требования к "качеству" устанавливаются именно во втором смысле.

Требования к качеству устанавливаются в зависимости от служебного назначения. Они должны и могут учитывать следующие факторы:

- физико-химические, механические и другие свойства, такие, как прочность, твердость, структура, шероховатость поверхности, химический состав, предельное содержание примесей, теплостойкость, термостойкость, износоустойчивость, чувствительность, точность и т. п.;

- эксплуатационные показатели: производительность, скорость, коэффициент полезного действия, расход электроэнергии, топлива и масла и т. д.;

- группа свойств "надежности", т.е. собственно надежность, а также долговечность, безотказность, сохраняемость и т. д.

- требования к конструкции, эргономические, художественно-эстетические, органолептические, биологические, санитарно-гигиенические и другие показатели этого рода (скажем, безопасность в эксплуатации, уровень шума, помехозащищенность, усилия, требуемые для управления и обслуживания, запасы регулировки органов управления, время готовности после включения, запах, вкус, токсичность, маркировочные, защитные и другие виды покрытий и т. п.);

- стабильность параметров при воздействии факторов внешней среды (климатических, механических, циклических изменений температуры, агрессивных сред и др.;

- устойчивость к моющим средствам, средствам дезинфекции, средствам и условиям стерилизации, топливу, маслам; радиационная стойкость и т. д.);

- особые требования, такие, как к условиям и мерам предосторожности при транспортировании, хранении, употреблении, к огне- и взрывоопасное, к срокам периодического осмотра, контроля, переконсервации и т. п.

### **Организация процесса проектирования-конструирования и освоения технологического оборудования**

Освоению нового технологического оборудования как правило предшествует большая предварительная работа, включающая научные исследования, научное прогнозирование, патентный поиск, технико-

экономические исследования, оценку технологических возможностей предприятия, учет конъюнктуры рынка как внутри страны, так и за рубежом и др.

К *новой технике* относятся впервые реализуемые в народном хозяйстве результаты научных исследований и прикладных разработок, содержащие изобретения и научно-технические достижения, а также новые, более совершенные технологические процессы, орудия и предметы труда (новые модели станков, средств транспортировки-загрузки и др.), обеспечивающие повышение технико-экономических показателей производства.

**Опытно-конструкторская работа (ОКР)** представляет собой, как правило, сложный процесс разработки одного или нескольких исполнений изделия, сочетающий собственно конструкторские разработки с большим объемом расчетно-экспериментальных исследований, изготовлением опытных образцов оборудования и их всесторонней экспериментальной проверкой и отработкой в процессе освоения промышленного производства.

Содержание ОКР обусловлено видом и назначением проектируемого оборудования, сложностью и новизной его конструкции, способами изготовления и использования его в условиях эксплуатации.

**Основные фазы ОКР.** Обычно выделяют три четко выраженные фазы ОКР:

1-я фаза - формулирование цели (разработка технического задания) - процесс осмысления конструкции на основе сопоставления и анализа данных производственного опыта и результатов *научно-исследовательских работ* с потребностями потребителей и формирования предварительных (возможных и желательных) очертаний объекта разработки, его существенных признаков, т.е. качественных особенностей, и количественного выражения этих признаков с учетом данных *инженерного прогнозирования и параметрической оптимизации*;

2-я фаза - информационное моделирование изделия (разработка проектной конструкторской документации: *технического предложения, эскизного и технического проектов*) - процесс последовательного углубления идеализированных знаний об объекте разработки, осуществляемый исходя из данных технического задания и практического опыта путем выполнения следующих работ:

а) многократного (многовариантного) моделирования (прорисовки) объекта посредством отображения его в документации, последующего сопоставления и анализа различных конструкций, построенных на различных сочетаниях составляющих конструктивных элементов, и выделения наиболее желательного (оптимального) варианта т.е. разработки *технического предложения*;

б) проработки и изучения основных составляющих элементов оптимального варианта конструкции и принципов их взаимодействия посредством отображения конструкции проектируемого оборудования в конструкторской документации, т.е. разработки *эскизного проекта*;

в) всесторонней проработки и изучения конструкции, всех ее элементов и их взаимосвязей посредством отображения их в документации, позволяющего получить полное представление об устройстве и принципе работы объекта, т.е. разработки технического проекта;

3-я фаза - материальное воплощение конструкторского замысла (разработка *рабочей конструкторской документации* опытного образца или партии) - процесс эмпирического познания объекта, осуществляемый путем изготовления и экспериментального исследования натуральных образцов оборудования в период освоения его производства, сопоставления опытных данных с техническим заданием и документацией на него и внесения необходимых уточнений в эту документацию.

Важнейшая задача ОКР - обеспечение и поддержание *качества* проектируемого объекта на современном технико-экономическом уровне и максимально возможное сокращение сроков изготовления и освоения нового оборудования.

В результате проведения *предпроектных исследований* (поисковых, патентных и др.), *инженерного прогнозирования* и *параметрической оптимизации* объектов производства выявляются базовые *показатели качества* оборудования, которые служат ориентирами на всех этапах ОКР.

Использование в конструкторской практике эффективной *системы управления качеством* проектируемых изделий способствует повышению эффективности разработок, качества и конкурентоспособности изделий.

## **Стадии и этапы разработки конструкторской документации**

**Конструирование машин** - творческий процесс со свойственными ему закономерностями построения и развития. Основные особенности этого процесса состоят в многовариантности решения, необходимости согласования принимаемых решений с общими и специфическими требованиями, предъявляемыми к конструкциям, а также с требованиями соответствующих ГОСТов, регламентирующих термины, определения, условные обозначения, систему измерений, методы расчета и т. п.

Детали, узлы, машины изготавливают по чертежам, выполненным на основе проектов - совокупности расчетов, графических материалов и пояснений к ним, предназначенных для обоснования и определения параметров конструкции (кинематических, динамических, геометрических и др.), ее производительности, экономической эффективности. Для особо ответственных конструкций проект дополняют макетом или действующей моделью.

Согласно ГОСТ 2.102 к конструкторским документам относятся графические и текстовые документы, которые в отдельности или в совокупности определяют состав и устройство изделия, содержат необходимые данные его разработки или изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта.

В зависимости от стадии разработки конструкторские документы подразделяются на *проектные* (техническое предложение, эскизный проект и технический проект) и *рабочие* (рабочая документация).

Номенклатуру конструкторских документов, разрабатываемых на изделие, определяют в совокупности два фактора:

- вид изделия по ГОСТ 2.101-68 (деталь, сборочная единица, комплекс, комплект);
- стадия разработки конструкторской документации (технического предложения, эскизного проекта, технического проекта, рабочей документации)

Стадии разработки конструкторской документации и этапы работ установлены стандартом. Он обобщает опыт, накопленный в передовых странах по проектированию машин, приборов и аппаратов.

Первая стадия – **разработка технического задания** - документа, содержащего наименование, основное назначение, технические требования, показатели качества, экономические показатели и специальные требования заказчика к изделию.

Техническое задание разрабатывают на основе требований заказчика с учетом достижений и технического уровня отечественных и зарубежных конструкций, патентного поиска, а также результатов научно-исследовательских работ и научного прогноза.

Вторая стадия. **Разработка технического предложения** предполагает создание конструкторских документов, которые содержат технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки нового оборудования на основании анализа технического задания заказчика и различных вариантов конструкции, сравнительной оценки проектных решений с учетом конструкторских и эксплуатационных особенностей проектируемого и существующего оборудования, а также патентных материалов.

Техническое предложение разрабатывается с целью выявления дополнительных или уточненных требований к изделию, его технических характеристик, показателей качества, которые не могли быть указаны в техническом задании, если это целесообразно сделать на основе предварительной проработки и анализа различных вариантов конструкции изделия.

Наиболее характерные виды работ, выполняемых при разработке технического предложения:

- выявление и проработка возможных проектных решений, определение особенностей этих вариантов по составу, структуре, принципу действия и т.п.;
- проверка вариантов на патентную чистоту и конкурентоспособность с последующим оформлением при необходимости заявок на изобретения;
- проверка соответствия вариантов требованиям техники безопасности и производственной санитарии;
- сравнительная оценка вариантов технических решений по всей совокупности выявленных свойств и показателей, конструктивным и эксплуатационным особенностям проектируемого и существующего оборудования;

- выбор оптимального варианта конструкции и установление требований к последующей стадии разработки.

*Особое внимание* уделяется изучению тенденций и перспектив развития отечественной и зарубежной техники в соответствующей области.

В техническое предложение включают конструкторские документы в соответствии с ГОСТ 2.102.

В общем случае в него может входить чертеж общего вида, габаритный чертеж, схемы, таблицы, расчеты, патентный формуляр, ведомость технического предложения. В состав технического предложения целесообразно включать данные обзора и анализа аналогичных конструкций, имеющихся в отечественной и зарубежной практике, данные сравнения характеристик разрабатываемого изделия с характеристиками аналогов, общий вид изделия в оптимальном варианте и описание его устройства, компоновки и принципа действия.

Техническое предложение после его рассмотрения и согласования служит основанием для выполнения эскизного или технического проекта.

Третья стадия. **Разработка эскизного проекта** заключается в разработке комплекта документов, содержащих *принципиальные решения* и дающие более полное по сравнению с предыдущей стадией общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также технические данные, определяемые его назначением, основные параметры и размеры.

Эскизный проект разрабатывается с целью установления принципиальных технических решений, дающих общее представление об устройстве и принципе работы проектируемого оборудования, если такая разработка признается целесообразной до разработки технического проекта или рабочей конструкторской документации.

В эскизный проект включаются конструкторские документы по ГОСТ 2.102, к которым в общем случае, в зависимости от специфики проектируемого оборудования, его новизны и сложности, могут быть отнесены чертеж общего вида, теоретический чертеж, габаритный чертеж, монтажный чертеж, схемы, ведомости покупных изделий и согласования их применения, программа и методика испытаний, таблицы, расчеты, патентный формуляр, ведомость эскизного проекта и пояснительная записка к нему.

В пояснительной записке к эскизному проекту приводят результаты конструкторской проработки, в том числе описание конструкции изделия, принципа его действия, технико-экономические показатели, а также предложения по дальнейшим конструкторским и экспериментальным работам.

Эскизные проект после его рассмотрения и согласования служит основанием для разработки технического проекта или рабочей документации.

Четвертая стадия. **Разработка технического проекта** включает работы по разработке комплекта конструкторских документов, содержащих *окончательные* технические решения и дающие *полное* представление об устройстве и принципе работы изделия, а также исходные данные для разработки рабочей конструкторской документации.

Технический проект разрабатывают с целью подготовки необходимых для последующих работ технических данных как по изделию в целом, так и по его составным частям и основным материалам.

При разработке технического проекта в общем случае выполняются следующие основные работы:

- разработка конструкции изделия и его составных частей, принципиальных схем, схем соединений и других схемных документов;

- выполнение технико-экономических расчетов, подтверждающих соответствие предполагаемых решений техническому заданию и условиям производства изделия;

- оценка эксплуатационных данных изделия (транспортабельности, взаимозаменяемости, удобства обслуживания, ремонтпригодности, контролепригодности и т.п.), а также его эстетичности и экономичности, соответствия принимаемых решений требованиям безопасности и производственной санитарии, промышленной аэрологии и охраны окружающей среды;

- проведение экспериментальных работ (с разработкой, при необходимости, макетов и стендовых установок) для контроля показателей исходных материалов и составных (комплектующих) частей изделия;

- окончательное оформление заявок на разработку и изготовление комплектующих изделий и материалов, применяемых в проектируемом изделии;

- разработка рабочей конструкторской документации на составные части (сборочные единицы и детали), если это вызывается необходимостью ускорения выдачи задания на разработку специализированного оборудования для их изготовления;

- определение работ, которые следует провести при разработке рабочей конструкторской документации в дополнение к работам, предусмотренным техническим заданием и выполненной ранее проектной документацией.

Состав конструкторских документов, входящих в технический проект, определяется с учетом сложности и новизны проектируемого оборудования в соответствии с ГОСТ 2.102. В общем случае в комплект конструкторских документов технического проекта могут войти чертеж общего вида изделия и чертежи отдельных его (наиболее ответственных, принципиальных и др.) деталей, теоретический и габаритный чертежи изделия, схемы, таблицы и расчеты, ведомости покупных изделий и согласования их применения, технические условия, патентный формуляр, ведомость технического проекта и пояснительная записка к нему.

В пояснительной записке к техническому проекту, наряду с подробным описанием конструкции и принципа действия изделия, приводят:

- обоснование применяемых материалов;
- требования к точности изготовления и сборки изделия;
- описание всех систем, входящих в состав изделия;
- окончательные технико-экономические расчеты.

Технический проект после его согласования и утверждения служит основанием для разработки рабочей конструкторской документации.

Пятая стадия. **Разработка рабочей конструкторской документации** выполняется с целью формирования комплекта конструкторских документов, необходимых для технологической подготовки производства и организации процессов изготовления изделия в заданных объемах.

Основной целью ОКР на стадии разработки конструкторской документации для установившегося серийного или массового производства является поэтапное доведение конструкции изделия по результатам его изготовления, опытной проверки и технологической подготовки производства до соответствия требованиям технического задания и условиям установившегося выпуска изделий со стабильными показателями качества.

Комплект рабочих конструкторских документов, выполняемых на изделие, формируется по ГОСТ 2.102 в зависимости от его вида и стадии разработки. В него в общем случае входят следующие документы:

- основные конструкторские документы (чертеж детали - для деталей; спецификация - для сборочных единиц, комплектов и комплексов), являющиеся для указанных видов изделий обязательными;

- другие конструкторские документы, в том числе сборочный чертеж (для сборочных единиц обязателен), теоретический, габаритный и монтажный чертежи, схемы, таблицы, расчеты, ведомости (спецификаций, ссылочных документов, покупных изделий и согласования их применения, держателей подлинников), программа и методика испытаний, технические условия, патентный формуляр.

Широкое использование ЭВМ на всех стадиях проектирования необходимо, чтобы избавить конструктора от выполнения трудоемких расчетов, многофакторного анализа и большого объема графических работ.

## **5 ТИПЫ, ВИДЫ И КОМПЛЕКТНОСТЬ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ НА ПРОЕКТИРУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ОБОЗНАЧЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ. КЛАССИФИКАТОР ЕСКД**

Описание конструкции проектируемого оборудования содержится в конструкторских документах.

Конструкторский документ (КД) в зависимости от его назначения отдельно или в совокупности с другими документами определяет состав и устройство изделия и содержит необходимые данные для разработки, изготовления, контроля, приемки, поставки, эксплуатации и ремонта изделия.

Виды конструкторских документов и характер содержащейся в них информации определяются видом изделия и стадиями разработки конструкторской документации.

В зависимости от содержания конструкторские документы подразделяются на два типа:

графические КД - документы, содержащие графическое изображение изделия и (или) его составных частей, устройства и принципа работы, внутренних и внешних связей его функциональных частей;

текстовые КД - документы, содержащие в основном текст — сплошной или разбитый на графы. Текстовые КД могут в виде иллюстраций содержать графический материал.

В зависимости от того, о скольких изделиях приведены сведения в конструкторском документе, они делятся на следующие:

единичный КД - документ, содержащий сведения об одном изделии;

групповой КД - документ, содержащий сведения об исполнениях нескольких изделий.

В зависимости от стадий разработки конструкторские документы подразделяются на проектные и рабочие.

Проектные документы разрабатываются при конструкторской проработке вариантов изделия с целью определения оптимального варианта технического решения и не предназначены для производства продукции.

Рабочие конструкторские документы предназначены для изготовления контроля, приемки, поставки изделия и использования его по прямому назначению в условиях эксплуатации и восстановления свойств при ремонте. В связи с этим рабочие конструкторские документы делятся на производственные, эксплуатационные и ремонтные.

В зависимости от способа выполнения и характера использования КД бывают следующие:

оригиналы - документы, выполненные на любом материале, предназначенные для изготовления по ним подлинников КД;

подлинники - документы, выполненные на любом материале, пригодном для многократного снятия с них копий, и оформленные подлинными установленными подписями. Если в качестве подлинника используется репрографическая копия, то подлинные подписи должны быть помещены на ней;

дубликаты - документы идентичные с подлинником, выполненные на любом материале, пригодном для многократного снятия с них копий, и заверенные подписью лица, ответственного за выпуск документов;

копии - документы идентичные с подлинником или дубликатом, предназначенные для использования при разработке, изготовлении, эксплуатации и ремонте изделия.

Номенклатура видов конструкторских документов, разрабатываемых на изделие в зависимости от стадии разработки и видов изделий, и их коды приведены в ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.601-68, ГОСТ 2.602-68 и ГОСТ 2.701-84.

При определении комплектности конструкторских документов на изделие следует различать:

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

Основной конструкторский документ в отдельности или в совокупности с другими записанными в нем конструкторскими документами полностью и однозначно определяет данное изделие и его состав. Основными конструкторскими документами являются:

чертеж детали - для деталей,

спецификация - для специфицированных изделий (комплексов, сборочных единиц, комплектов).

Изделие, примененное по конструкторским документам, записывается в документы других изделий, составной частью которых оно является, за обозначением своего основного конструкторского документа. Считается, что такое изделие применено по своему основному конструкторскому документу.

Обязательными для организации производства рабочими конструкторскими документами являются:

чертеж детали - для деталей;

спецификация - для комплексов и комплектов;

спецификация и сборочный чертеж - для сборочных единиц.

**Основной комплект** конструкторских документов изделия объединяет конструкторские документы, относящиеся ко всему изделию в целом. Таким образом, в основной комплект конструкторских документов могут входить не только оригинальные документы, т.е. впервые разработанные на данное изделие, но также заимствованные и групповые документы, распространяющиеся на данное изделие. Конструкторские документы составных частей в основной комплект конструкторских документов изделия не входят.

Сведения о документах основного комплекта приводятся:

для специфицированных изделий - в спецификации изделия в разделе "Документация",

для деталей - в технических требованиях чертежа детали и в разделе "Документация" спецификации изделия, составными частями которого они являются.

**Полный комплект** конструкторских документов изделия в общем случае составляется из документов основного комплекта КД на данное изделие и основных комплектов КД на все составные части данного изделия, примененные по своим основным КД, сведения о которых приведены в разделах "Сборочные единицы" и "Детали" спецификации данного изделия.

### **Обозначение изделий конструкторских документов. Классификатор ЕСКД**

Обозначения изделий конструкторских документов играют чрезвычайно важную роль при оперативной обработке технико-экономической информации. Он составляют неотъемлемую часть языка описания производственного процесса. Особенно актуальна задача корректного обозначения конструкторских документов в условиях широкого использования электронно-вычислительной техники. Для эффективного использования электронно-вычислительной техники необходим единый формализованный

информационно-поисковый язык, создаваемый на основе использования Единой системы классификации и кодирования технико-экономической информации (ЕСКК).

Одним из элементов ЕСКК является система обозначения изделий и конструкторских документов машино- и приборостроения. Однако в действовавшем до последнего времени в промышленности стандарте (ГОСТ 5294—60 "Система чертежного хозяйства. Обозначение чертежей и других технических документов изделий основного производства") отсутствовало единство в обозначении изделий. Он допускал использование двух систем обозначения: предметной и обезличенной.

В предметной системе в обозначении содержится только информация о входимости составных частей изделия, к которой затем привязывается простая порядковая нумерация составных частей (сборочных единиц и деталей).

В обезличенной системе в обозначении отсутствует информация о входимости одной составной части изделия в другое и, в итоге, в законченное изделие. Здесь основным компонентом является классификационная характеристика, содержащая информацию о наиболее существенных характеристиках изделия (признаки классификации).

Отсутствие единства, а также распространение ГОСТ 5294-60 только на изделия основного производства привело к разработке множества локальных отраслевых, заводских и других классификаторов изделий, используемых в системах обозначений.

В таких условиях предприятия даже одной отрасли промышленности не могли эффективно пользоваться конструкторской документацией других предприятий без изменения ее обозначений, что вызывало дополнительные затраты.

Кроме того, отсутствие единой классификации не позволяло присваивать одинаковые классификационные характеристики однородным изделиям и осуществлять широкое заимствование, унификацию и стандартизацию, сокращение номенклатуры проектируемых и изготавливаемых изделий и их составных частей. Наличие различных систем классификации и структур обозначения нарушало единство информационного языка, ослабляло обмен информацией, снижало эффективность функционирования АСУ и взаимодействие отдельных звеньев народного хозяйства. При отсутствии единства обозначений не обеспечивался ожидаемый экономический эффект и от ЕСКД, внедренной в сферах разработки, производства, эксплуатации и ремонта изделий.

При решении основных конструкторских задач приходится иметь дело с поиском и заимствованием конструкторских документов по их обозначениям, что может быть успешно достигнуто при наличии, лишь единой системы обозначения изделий и документов и единого классификатора изделий.

Для исправления сложившегося положения Госстандарт совместно с промышленными министерствами и ведомствами разработал государственный стандарт на обезличенную классификационную систему обозначения изделий и конструкторских документов и Классификатор ЕСКД.

За основу разработки этих документов были приняты следующие принципиальные положения:

полный отказ от предметной системы, не обеспечивающей единства обозначения, ограничивающей возможности тематического поиска документов и изделий и препятствующей унификации, стандартизации и заимствованию изделий;

распространение единой системы обозначения на изделия основного и вспомогательного производства всех отраслей промышленности.

Разработанные ГОСТ 2.201—80 "ЕСКД. Обозначение изделий и конструкторских документов" и Классификатор ЕСКД обеспечивают:

- установление единой обезличенной классификационной системы обозначения изделий и конструкторских документов, позволяющей введение во всех отраслях промышленности единого порядка построения, оформления, учета, хранения и обращения этих документов;

- возможность использования организациями и предприятиями при разработке, производстве, эксплуатации и ремонте изделий конструкторской документации, разработанной другими организациями и предприятиями, без ее переоформления;

- внедрение в производство автоматизированного и облегчение ручного поиска изделий и конструкторских документов, разработку вторичных конструкторских и технологических документов с применением ЭВМ, внедрение систем автоматизированного проектирования (САПР) и подготовки производства;

- использование классификационных группировок для выявления объектов и определения направлений стандартизации унификации изделий.

Решение этих задач даст возможность сократить сроки и трудоемкость разработки, освоения в производстве и изготовления изделий, сократить сроки и трудоемкость технологической подготовки производства, сократить номенклатуру изделий и запасных частей к ним, увеличить серийность их производства, внедрить вычислительную технику в сферу проектирования и управления производством, повысить мобилизационную готовность промышленности.

### **Система обозначения конструкторских документов. Образование производных машин на базе унификации и стандартизации**

Каждому изделию в соответствии с ГОСТ 2.101-68 должно быть присвоено обозначение. Обозначение изделия является одновременно обозначением его основного конструкторского документа (чертежа детали или спецификации).

Обозначения изделиям присваиваются централизованно или децентрализованно.

Централизованное присвоение обозначений осуществляется организациями, которым это поручено министерством, ведомством, в пределах объединения, отрасли.

Децентрализованное присвоение обозначений осуществляют организации-разработчики.

Обозначения изделий и конструкторских документов записываются в другие документы без сокращений, за исключением, случаев, предусмотренных ГОСТ 2.113—75. Деталям, на которые не выпущены чертежи в соответствии с ГОСТ 2.109—73, присваиваются самостоятельные обозначения по общим правилам.

ГОСТ 2.201—80 устанавливает следующую структуру обозначения изделия и его основного конструкторского документа:

	XXXX.	XXXXX	XXX
		X.	
Код организации-разработчика			
Код классификационной характеристики			
Порядковый регистрационный номер			

Четырехзначный символьный код организации-разработчика назначается по кодификатору организаций-разработчиков. При централизованном присвоении обозначения вместо кода организации-разработчика указывается код, выделенный для централизованного присвоения обозначения.

Код классификационной характеристики присваивается изделию и конструкторскому документу по Классификатору ЕСКД.

Порядковый регистрационный номер присваивается по классификационной характеристике от 001 до 999 в пределах кода организации-разработчика при децентрализованном присвоении обозначений, при централизованном — в пределах кода организации, выделенного для централизованного присвоения.

Обозначение неосновного конструкторского документа состоит из обозначения изделия и кода документа:

XXXX.XXXXXX.XXX XXX	
Обозначение изделия	
Код классификационной характеристики	

Код документа от обозначения изделия точкой не отделяется и должен содержать не более четырех знаков, включая номер части документа (при ее наличии). Структура кода документов установлена ГОСТ 2.102—68, ГОСТ 2.105—70, ГОСТ 2.601—68, ГОСТ 2.602—68 и ГОСТ 2.701—84. Например:

АБВГ.XXXXXX.002СБ — сборочный чертеж;

АБВГ.XXXXXX.002ТО10—техническое описание, 11-я часть;

АБВГ.XXXXXX.002ЭЗ — схема электрическая принципиальная;

АБВГ.XXXXXX.002ПЭЗ — перечень элементов к схеме электрической принципиальной;

АБВГ.ХХХХХХ.002Э4.2 — схема электрическая соединений блока питания, 3-я схема, выпущенная в виде самостоятельного документа схемы соединений.

### **Образование производных машин на базе унификации и стандартизации**

Унификация представляет собой эффективный и экономичный способ создания на базе исходной модели ряда производных машин одинакового назначения, но с различными показателями мощности, производительности т. д. или машин различного назначения, выполняющих качественно другие операции, также рассчитанных на выпуск другой продукции.

**Унификация.** Унификация состоит в многократном применении в конструкции одних и тех же элементов, что способствует сокращению номенклатуры деталей и уменьшению стоимости изготовления, упрощению эксплуатации и ремонта машин.

Унификация конструктивных элементов позволяет сократить номенклатуру обрабатывающего, мерительного и монтажного инструмента. Унификации подвергают посадочные сопряжения (по посадочным диаметрам, посадками точности размеров), резьбовые соединения (по диаметрам, типам резьб, посадкам и точности размеров, размерам под ключ), шпоночные и шлицевые соединения (по диаметрам, формам шпонок и шлицев, посадкам и точности размеров), зубчатые зацепления (по модулям, типам зубьев и точности размеров), фаски и галтели (по размерам и типам) и т. д.

Унификация оригинальных деталей и узлов может быть внутренней (в пределах данного изделия) и внешней (заимствование деталей с иных машин данного или смежного завода).

Наибольший экономический эффект дает заимствование деталей серийно изготавливаемых машин, когда детали можно получить в готовом виде. Заимствование деталей машин единичного производства, машин, снятых или подлежащих снятию с производства, а также находящихся в производстве на предприятиях других ведомств, когда получение деталей невозможно или затруднительно, имеет только одну положительную сторону: проверенность деталей опытом эксплуатации. Во многих случаях и это оправдывает унификацию.

Унификация марок и сортамента материалов, электродов, типоразмеров крепежных деталей, подшипников качения и других стандартных деталей облегчает снабжение завода-изготовителя и ремонтных предприятий материалами, стандартными покупными изделиями.

Степень унификации оценивают коэффициентом унификации  $K_{ун}$ , который представляют как отношение:

$$K_{ун} = Z_{ун} / Z \cdot 100\% ,$$

где  $Z$  – общее число деталей изделия;  $Z_{ун}$  – число унифицированных деталей.

**Стандартизация.** Стандартизация есть регламентирование конструкции и типоразмеров широко применяемых машиностроительных деталей, узлов и агрегатов.

Почти в каждой специализированной проектной организации стандартизируют типовые для данной отрасли машиностроения детали и узлы. Стандартизация ускоряет проектирование, облегчает изготовление, эксплуатацию и ремонт машин и при целесообразной конструкции стандартных деталей способствует увеличению надежности машин.

Стандартизация дает наибольший эффект при сокращении числа применяемых типоразмеров стандартов, т. е. при их унификации. В практике проектных организаций эта задача решается выпуском ограничителей, содержащих минимум стандартов, удовлетворяющих потребностям проектируемого класса машин.

Преимущества стандартизации реализуются в полной мере при централизованном изготовлении стандартных изделий на специализированных заводах. Это разгружает машиностроительные заводы от трудоемкой работы изготовления стандартных изделий и упрощает снабжение ремонтных предприятий запасными частями.

Степень стандартизации оценивают коэффициентом:

$$K_{\text{ст}} = N_{\text{ст}} / N \cdot 100\% ,$$

где  $N_{\text{ст}}$  - число стандартных деталей;  $N$  общее число деталей в изделии.

Нельзя согласиться с распространенным среди конструкторов (особенно конструкторов творческого склада) пренебрежительным отношением к стандартам. Стандартизация является существенным фактором снижения себестоимости машин и ускорения проектирования. Однако непременным условием является высокое качество стандартов, непрерывное их совершенствование.

Кроме того, применение стандартов не должно стеснять творческую инициативу конструктора и препятствовать поискам новых, более рациональных конструктивных решений. При конструировании машин не следует останавливаться перед применением новых решений в областях, охватываемых стандартами, если эти решения имеют явное преимущество.

## **6 ОБЩИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА МАШИН**

### **Системный подход к анализу и расчету машин**

В зависимости от того, какие параметры машины или ее составных частей необходимо определить, различают три основных вида расчета: кинематический, силовой и прочностной. Наряду с этим может выполняться расчет параметров надежности узлов и деталей машины, параметров и характеристик гидравлических устройств, электрической аппаратуры или тепловой расчет машин, работающих в условиях высоких температур и т. п.

Задачей кинематического расчета является определение перемещений или траекторий движения, скоростей и ускорений рабочего оборудования, элементов привода, исполнительных механизмов машины. При силовом расчете вычисляют силы, действующие на те или иные части машины, а при прочностном определяют прочность деталей машин.

При проведении каждого из этих расчетов можно решать прямую и обратную задачи. Например, по известным размерам звеньев рабочего оборудования и его кинематической схеме можно определить траекторию движения рабочего органа при взаимодействии его с разрабатываемым материалом или при холостом ходе. Но можно по заданной траектории движения рабочего органа найти необходимые размеры и определить характер движений связанных между собой звеньев рабочего оборудования.

При силовом расчете какого-либо механизма по заданным внешним нагрузкам, действующим на его исполнительный орган, или по сопротивлению движению его ведомого звена определяют движущее усилие на ведущем звене механизма. Но можно решить и обратную задачу — по известному движущему усилию определить внешние нагрузки или сопротивления, допускаемые для данного механизма или машины.

В результате прочностного расчета находят напряжения в деталях и элементах машины, которые возникают при действии на них заданных сил. При расчетах на прочность, проводимых на стадии проектирования машины, по заданным силам и принятым допускаемым напряжениям определяют размеры деталей, а также выбирают их форму и материал, удовлетворяющие требованиям прочности.

### **Общие понятия системы. Классификация систем**

Понятия «система», «системный подход», «системный анализ» применяют в самых различных областях при решении научных, инженерных, экономических задач, которые относятся к объектам различного уровня, например к машине или отдельным ее частям, к предприятиям или их подразделениям, к отдельным отраслям народного хозяйства или к народному хозяйству в целом.

Понятия «системный подход», «системный анализ» характеризуют определенные методологические принципы решения задач, основанные на рассмотрении и анализе составных частей объекта или явления в их взаимосвязи и взаимозависимости. При этом исходят из основного положения: свойства объекта зависят от свойств составляющих его частей, а свойства последних - от характеристик объекта в целом.

При системном подходе необходимо решать задачи как анализа (разобрать, разложить по «полочкам»), так и синтеза (воссоединить разрозненные, казалось бы, факторы и собрать их в единое целое, объяснить множество частных одной общей причиной).

Такой подход помогает в процессе исследования выявить наиболее существенные факторы, определяющие характер функционирования системы, исключив из рассмотрения все малозначащие факторы (что особенно важно при исследовании сложных систем), а при изменении условий работы (окружающей среды) или состояния системы — найти, какие изменения должны быть внесены в составляющие ее элементы, чтобы действие системы по-прежнему оставалось эффективным.

Различают следующие основные классы систем.

**Искусственные и естественные системы.** К первым относятся системы, созданные человеком, в частности, различного рода механические системы, с которыми имеют дело конструкторы машин и оборудования. Ко вторым относятся системы, созданные природой, например окружающая среда, с которой постоянно взаимодействуют искусственные системы. Специалисты, создающие машины, должны быть хорошо знакомы с основными свойствами среды, в которой работают машины.

**Статические и динамические системы.** Первые включают системы, свойства которых не изменяются со временем, а вторые - системы, изменяющие во времени свое состояние или положение. Различают следующие три вида движения: равновесное, когда ни одна координата системы не изменяется; периодическое, когда система через равные промежутки времени приходит в одно и то же состояние; переходное, когда система из некоторого начального состояния переходит к равновесному или периодическому движению.

**Управляемые системы.** Особенностью этих систем является их способность изменять свое движение, переходить из одного состояния в другое под влиянием различных управляющих воздействий. Из этого определения следует, что все управляемые системы одновременно являются и динамическими, так как они рассматриваются в движении и развитии.

Управляющие воздействия в отличие от возмущающих, оказываемых на динамическую систему окружающей средой (например неровностями поверхности качения, порывами ветра и т. п.) могут по желанию оператора или системой автоматического управления машиной принудительно изменяться, при этом машине задаются наиболее предпочтительные в данных условиях движения.

**Детерминированные и вероятностные системы.** К детерминированным относятся системы, поведение которых можно предсказать, если известно, в каком состоянии они находились в предыдущий момент времени (т.е., если известны начальные условия), например машины и механизмы, движение которых подчиняется строгим законам механики. К детерминированным можно также отнести систему размещения станков в цехе, исходя из условия движения деталей по определенным маршрутам, или электронно-вычислительную машину (ЭВМ), выполняющую только те операции, которые ей предписаны.

Вероятностными являются системы, состояние которых характеризуется значительной неопределенностью из-за случайного характера начальных условий или факторов, определяющих их поведение. К вероятностной относится, например, система массового обслуживания, включающая оборудование, предназначенное для обслуживания какого-либо производственного процесса (технического обслуживания машин, абонентов телефонной станции и т. п.), а также персонал, работающий на этом оборудовании и управляющий процессом. Случайными факторами для такой системы могут быть момент начала обслуживания, продолжительность обслуживания, число отказов и длительность простоев оборудования в ремонте,

что не позволяет однозначно определить состояние и основные показатели системы.

**Реальные и абстрактные системы.** В отличие от реальных систем, обладающих определенными физическими свойствами, такими, как масса, связанность или упругость, свойства абстрактных систем не имеют физической природы, они существуют только в уме исследователя и представляются в виде некоторых символов и количественных значений. Примером абстрактных систем являются математические модели, записанные, например, в форме алгебраических или дифференциальных уравнений. Такие модели с разной степенью приближения могут отражать свойства реальных систем.

### **Построение расчетных схем статических систем**

Реальные конструктивные или кинематические схемы машин (механизмов), воспроизводящие в пространстве или на плоскости все его звенья и кинематические пары, являются для расчета настолько сложными, что в большинстве случаев их необходимо упрощать, заменяя расчетными. В последних не учитываются второстепенные элементы конструкции и выделяются лишь те, которые оказывают наибольшее влияние на исследуемые параметры или свойства объекта. Но так как различные свойства часто зависят от разных факторов, то для одного и того же объекта расчетные схемы могут быть разными в зависимости от того, какие свойства исследуются — прочностные свойства конструкции или тяговые свойства машины, ее устойчивость против опрокидывания или путевая устойчивость и т. п. Расчетные схемы должны, кроме того, учитывать требуемую точность расчетов, от чего зависит число учитываемых факторов и степень детализации схемы, а также используемые методы расчета и средства их выполнения. При построении расчетной схемы необходимо правильно выбрать положение исследуемого объекта.

Расчетными обычно являются такие положения объекта, которые соответствуют номинальным или максимальным нагрузкам; последними определяются опасные (критические) положения объекта и для них чаще всего проводят расчеты на прочность и устойчивость. Если расчетные положения объекта не очевидны и отсутствуют необходимые экспериментальные данные, обязательным условием достоверности расчетов является рассмотрение достаточно большого числа возможных его положений с использованием методов математического моделирования и ЭВМ.

Важной частью построения расчетных схем является выбор системы координат или, системы отсчета, относительно которой рассматривается равновесие данного объекта.

## 7 МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УНИФИЦИРОВАННЫХ МАШИН

### Методы создания производственных унифицированных машин

В настоящее время существует несколько направлений решения этой задачи унификации. Не все они являются универсальными. В большинстве случаев каждый метод применим только к определенным категориям машин, причем их экономический эффект различен.

Приведенная ниже классификация методов создания производственных унифицированных машин является условной. Некоторые из этих методов тесно взаимосвязаны; провести строгую границу между ними затруднительно. Возможно сочетание и параллельное применение двух или нескольких методов.

**Секционирование.** Метод секционирования заключается в разделении машины на одинаковые секции и образовании производных машин набором унифицированных секций.

Секционированию хорошо поддаются многие виды подъемно-транспортных устройств (ленточные, скребковые, цепные конвейеры). Секционирование в данном случае сводится к построению каркаса машин из секций и составлению машин различной длины с новым несущим полотном. Особенно просто секционируются машины со звеньевым несущим полотном (ковшовые элеваторы, пластинчатые конвейеры с полотном на основе втулочных роликовых цепей), у которых длину полотна можно изменять изъятием или добавлением звеньев.

Экономичность образования машин этим способом мало страдает от введения отдельных нестандартных секций, которые могут понадобиться для приспособления длины машины к местным условиям.

Секционированию поддаются также дисковые фильтры, пластинчатые теплообменники, центробежные, вихревые и аксиальные гидравлические насосы. В последнем случае набором секций можно получить ряд многоступенчатых насосов различного напора, унифицированных по основным рабочим органам.

**Метод изменения линейных размеров.** При этом методе с целью получения различной производительности машин и агрегатов изменяют их длину, сохраняя форму поперечного сечения. Метод применим к ограниченному классу машин (главным образом роторных), производительность которых пропорциональна длине ротора (шестеренные и центробежные насосы, компрессоры, мешалки, вальцовочные машины и т.д.).

Степень унификации при этом методе невелика. Унифицируются только торцовые крышки корпусов и вспомогательные детали. Главный экономический выигрыш дает сохранение основного технологического оборудования для обработки роторов и внутренних полостей корпусов. Частным случаем применения данного метода является повышение нагрузочной способности зубчатых передач за счет увеличения длины зубьев колес с сохранением их модуля.

**Метод базового агрегата.** В основе этого метода лежит применение базового агрегата, превращаемого в машины различного назначения присоединением к нему специального оборудования. Наибольшее применение метод имеет при создании дорожных машин, самоходных кранов, погрузчиков, укладчиков, а также сельскохозяйственных машин.

Базовым агрегатом в данном случае обычно является тракторное или автомобильное шасси, выпускаемое серийно. Монтируя на шасси дополнительное оборудование, получают серию машин различного назначения.

Присоединение специального оборудования требует разработки дополнительных механизмов и агрегатов - коробок отбора мощности, подъемных и поворотных механизмов, лебедок, реверсов, тормозов, механизмов управления, кабин, которые, в свою очередь, можно в значительной мере унифицировать.

**Конвертирование.** При методе конвертирования базовую машину или основные ее элементы используют для создания агрегатов различного назначения, иногда близких, а иногда различных по рабочему процессу. Примером конвертирования может служить перевод поршневых двигателей внутреннего сгорания с одного вида топлива на другой, с одного вида теплового процесса на другой (с цикла искрового зажигания на цикл с воспламенением от сжатия).

Бензиновые карбюраторные двигатели легко конвертируются в газовые. Для этого достаточна замена карбюратора смесителем и изменение степени сжатия (достигаемое проще всего изменением высоты поршней) и некоторые второстепенные конструктивные переделки. В целом двигатель остается таким же.

Конвертирование бензинового или газового двигателя в дизель представляет более трудную задачу, главным образом ввиду присущих дизелю повышенных рабочих нагрузок, обусловленных высокой степенью сжатия и большим давлением вспышки. Следовательно, конвертируемый двигатель должен обладать значительными запасами прочности. Конвертирование в данном случае заключается в замене карбюратора топливным насосом и форсунками (или насос-форсунками), изменении степени сжатия (смена головок цилиндров, увеличение высоты поршней или изменение конфигурации их днищ).

Другим примером конвертирования является перевод работы поршневых воздушных компрессоров на другой газ (аммиак, фреон). В этом случае при переделке необходимо учитывать различие физических и химических свойств рабочих реагентов и соответственно выбирать материалы рабочих деталей.

Примером конвертирования агрегатов, сильно различающихся по рабочему процессу, может служить преобразование двигателя внутреннего сгорания в поршневой компрессор. Конвертирование в данном случае включает замену головок двигателя клапанными коробками с соответствующим изменением механизма распределения и требует значительных переделок.

**Компаундирование.** Метод компаундирования (параллельного соединения машин или агрегатов) применяют с целью увеличения общей

мощности или производительности установки. Спариваемые машины могут быть или установлены рядом как независимые агрегаты, или связаны друг с другом синхронизирующими, транспортными и другими подобными устройствами, или, наконец, конструктивно объединены в один агрегат.

Примером совмещения первого типа является парная установка судовых двигателей, работающих каждый на свой винт, а также установка двух или большего числа двигателей в крыльях самолета. Помимо повышения общей мощности (при затруднительности создания двигателя большой мощности) этот способ иногда позволяет удачно решать другие задачи. Так, параллельная установка судовых двигателей увеличивает маневренность судна, особенно на малом ходу. Установка нескольких двигателей на самолете облегчает виражирование и выруливание на земле, применение нескольких двигателей до известной степени увеличивает также надежность: при выходе из строя одного из двигателей можно продолжать рейс, хотя и с пониженной скоростью.

Примером совмещения второго типа является параллельная установка машин-орудий группами (по две-три). Ее применяют в автоматических линиях, когда производительность отдельной машины, входящей в поток, значительно уступает производительности всей линии. Такая установка требует разделения потока на два или больше потоков (соответственно числу параллельно устанавливаемых машин) с последующим соединением их в один.

Примером совмещения третьего типа является сдваивание или страивание линейных машин-орудий, т. е. объединение нескольких рабочих трактов на общей станине. В результате получается многолинейная параллельно-поточная машина с производительностью, повышенной соответственно числу трактов.

**Модифицирование.** Модифицированием называют переделку машины с целью приспособить ее к иным условиям работы, операциям и видам продукции без изменения основной конструкции.

Модифицирование машины для работы в различных климатических условиях сводится преимущественно к замене материалов. В машинах, работающих в условиях жаркого и влажного климата (машины тропического исполнения), применяют коррозионно-стойкие сплавы; в машинах, эксплуатируемых в областях с суровым климатом (машины арктического исполнения) — хладостойкие материалы; системы смазки приспособляют к работе при низких температурах.

Модифицирование стационарных машин для работы на морском транспорте (машины морского исполнения) заключается во всемерном облегчении машины путем замены тяжелых сплавов (чугуна) легкими (алюминиевыми) и введением материалов, устойчивых против коррозии во влажном морском воздухе и при соприкосновении с морской водой.

Сложнее модифицирование машин с целью их приспособления к различным операциям или изделиям. В этом случае метод модифицирования тесно связан с методом агрегатирования. Иногда в понятие модифицирования вкладывают смысл модернизации машин и улучшения их показателей.

**Агрегатирование.** Агрегатирование заключается в создании машин путем сочетания унифицированных агрегатов, представляющих собой автономные узлы, устанавливаемые в различном числе и комбинациях на общей станине.

Наиболее полное отражение этот принцип получил в конструкции агрегатных металлообрабатывающих станков. Такие станки создают на основе унифицированных блоков (основные блоки, механизмы синхронизации, поворотные столы, корпуса общего назначения, станины, тумбы, вспомогательные узлы, системы подачи смазочно-охлаждающих жидкостей).

Большая часть изделия в процессе обработки остается неподвижной. К нему с разных сторон подводят соответствующим образом настроенные блоки; операции обработки происходят одновременно, что ускоряет технологический процесс.

Основные преимущества агрегатирования: сокращение сроков и стоимости проектирования и изготовления машин, упрощение обслуживания и ремонта, возможность переналадки для обработки разнообразных деталей. Метод агрегатирования весьма перспективен. Помимо металлорежущих станков он применим для других машин-орудий.

Частичным агрегатированием является использование стандартизованных узлов и агрегатов из числа серийно выпускаемых промышленностью (редукторы, насосы, компрессоры), а также заимствование с серийно изготавливаемых изделий узлов и агрегатов (коробок скоростей, механизмов переключения муфт, фрикционных и т. д.).

**Комплексная стандартизация.** Близок к агрегатированию метод комплексной стандартизации, применяемый для агрегатов простейшего типа (отстойники, выпарные установки, смесеприготовительные установки). Простота конструктивных форм этих агрегатов позволяет стандартизировать все или почти все элементы их конструкции. Стандартизации по типоразмерам поддаются обечайки резервуаров, днища, крышки, лазы, люки, арматура, лапы крепления, стойки. Стандартизируют также узлы (теплообменники, приводы мешалок, дозирующие устройства) и т. д.

Особенностью аппаратов этого типа является широкое применение вспомогательного покупного оборудования (насосов, фильтров, приборов контроля и управления, средств автоматизации).

Из стандартных деталей, унифицированных узлов и покупного оборудования можно компоновать аппараты:

с одинаковым рабочим процессом, но с различными размерами и производительностью;

одинакового назначения, но с различными параметрами рабочего процесса (давление, вакуум, температура);

различного назначения и с разным рабочим процессом.

**Унифицированные ряды.** В некоторых случаях возможно образование ряда произвольных машин различной мощности или производительности путем изменения числа главных рабочих органов и их применения в различных сочетаниях. Такие ряды называют семейством, гаммой или серией машин. Этот

способ применим к машинам, мощность или производительность которых зависит от числа рабочих органов.

Метод обеспечивает следующие технологические и эксплуатационные преимущества:

- упрощение, ускорение и удешевление процессов проектирования и изготовления машин;
- возможность применения высокопроизводительных методов обработки унифицированных деталей;
- уменьшение сроков доводки и освоения опытных образцов (благодаря отработанности главных рабочих органов);
- облегчение эксплуатации;
- сокращение сроков подготовки обслуживающего технического персонала и сроков ремонта машин, а также упрощение снабжения запасными деталями.

Классическим примером образования унифицированных машин является создание рядов четырехтактных двигателей внутреннего сгорания на основе унифицированной цилиндровой группы и частично унифицированной шатунно-поршневой группы. Сочетание цилиндров ограничивается условием уравновешенности сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс и условием равномерного чередования вспышек. Так как мощность двигателя пропорциональна числу цилиндров, то представленный ряд двигателей позволяет теоретически получить семейство двигателей с очень широким диапазоном мощностей.

## **8 МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ**

Расчет и проектирование деталей начинаются с выбора материала и назначения режимов обработки его, которые определяются конструктивными (обеспечение надежности), технологическими (вид производства – единичное, серийное, массовое) и экономическими соображениями. Для изготовления деталей в машиностроении широко используют стали и чугуны, алюминиевые, магниевые, титановые и медные сплавы, а также различные неметаллические материалы.

Металлы и их сплавы являются важнейшими материалами, применяемыми для изготовления различных машин, станков, приборов, инструментов и сооружений.

Характерными признаками металлов является металлический блеск, высокая электропроводность и теплопроводность, а также пластичность, т.е. способность изменять свою форму при обработке давлением.

Технически чистые металлы имеют ограниченное применение в промышленности. Большинство наиболее распространенных металлов в технике применяется в виде металлических сплавов, которые обладают более ценными механическими, технологическими и другими свойствами, чем чистые металлы.

Свойства металлов подразделяются на физические, химические, механические и технологические.

**Физические свойства металлов.** К физическим свойствам относятся плотность, плавление (температура плавления), теплопроводность, тепловое расширение и др.

**Плотность** – количество вещества, содержащееся в единице объема.

**Плавление** – способность металла переходить из кристаллического (твердого) состояния в жидкое с поглощением теплоты.

**Теплопроводность** – способность металла с той или иной скоростью проводить тепло.

**Электропроводность** – способность металла проводить электрический ток.

**Тепловое расширение** – способность металла увеличивать свой объем при нагревании.

**Химические свойства металлов.** Химические свойства металлов характеризуют отношение их к химическим воздействиям различных активных сред. Основными химическими свойствами металлов являются окисляемость и коррозионная стойкость.

**Окисляемость** – способность металла вступать в реакцию с кислородом под воздействием окислителей.

**Коррозионная стойкость** – способность металла сопротивляться коррозии.

**Механические свойства металлов.** К механическим свойствам металлов относят твердость, прочность, вязкость, упругость и пластичность.

**Твердость** – способность металла сопротивляться проникновению в него более твердого тела.

**Прочность** – способность металла сопротивляться разрушению под действием внешних сил.

**Вязкость** - способность металла сопротивляться быстро возрастающим ударным нагрузкам.

**Упругость** - способность металла восстанавливать свою первоначальную форму и размеры после снятия действующей нагрузки.

**Пластичность** - способность металла, не разрушаясь, изменить свою форму под действием нагрузки и сохранять полученную форму после снятия нагрузки.

**Технологические свойства металлов.** Технологические свойства металлов определяют их способность подвергаться различным видам обработки. Основными технологическими свойствами металлов являются ковкость, свариваемость, жидкотекучесть, прокаливаемость, обработка резанием.

**Ковкость** – способность металла изменять свою форму в нагретом или холодном состоянии под действием внешних сил.

**Свариваемость** – способность двух частей металла при нагревании прочно соединяться друг с другом.

**Жидкотекучесть** – способность расплавленного металла легко растекаться и хорошо заполнять форму.

**Прокаливаемость** – способность металла закаливаться на ту или иную глубину.

**Обрабатываемость резанием** – способность металла подвергаться механической обработке режущим инструментом с определенной скоростью и усилием резания.

Металлы и сплавы делятся на черные и цветные. К черным относят железо и сплавы на его основе (сталь, чугун и т.д.), к цветным – все остальные металлы и сплавы.

Правильный выбор конструктором материалов для изготовления машины и отдельных ее частей определяет качество будущей разработки и оптимальные технико-экономические показатели.

### Черные металлы

К черным металлам относятся чугуны и стали, представляющие собой сплавы железа с углеродом, в состав которых входят еще и кремний, фосфор, марганец, сера и другие элементы.

**Чугун** – нековкий, железоуглеродистый сплав, в котором содержание углерода превышает 2%. В состав его также входят кремний, марганец, фосфор, сера.

Он обладает высокими литейными свойствами, определившими область его использования в качестве конструкционного материала. Хорошо обрабатывается резанием, образуя высококачественную поверхность для узлов трения и неподвижных соединений.

В чугуне углерод содержится в свободном состоянии в виде графита или в связанном состоянии в виде карбида или цементита. Чугуны в которых углерод находится в виде графита, имеют в изломе серый цвет и крупнозернистое строение. Они хорошо обрабатываются режущим инструментом, имеют высокие литейные качества, относительно невысокую температуру плавления (1100 – 1200<sup>0</sup>С), небольшую усадку (1%) и применяются для изготовления многих деталей машин и механизмов. Эти чугуны называются **серыми** или **литейными**.

Чугуны, в которых углерод содержится только в виде химического соединения с железом, имеют в изломе белый цвет. Они плохо обрабатываются резанием и обычно используются для получения стали. Эти чугуны называются **белыми** или **передельными**.

Кроме белого и серого чугунов для отливки деталей в тракторной, автомобильной и других отраслях промышленности употребляется еще и так называемый **ковкий** чугун, который получается из белого чугуна специальным отжигом (томлением) его в особых нагревательных печах при температуре 950 – 1000<sup>0</sup>С. При этом чрезмерная хрупкость и твердость, характерные для белого чугуна, намного снижаются. Ковкий чугун, как и серый, не куется, а название «ковкий» указывает лишь на значительную его пластичность.

Для повышения прочности чугуны легируют, т.е. вводят в их состав никель, хром, молибден, медь и другие элементы (**легированный чугун**), а также модифицируют, т.е. добавляют к ним магний, алюминий, кальций, кремний (**модифицированный чугун**).

Наибольшее применение получили чугуны следующих марок:

- отливки из серого чугуна: СЧ-10, СЧ-15, СЧ-18, СЧ-20 и др. (ГОСТ 1412-79);
- отливки из ковкого чугуна: КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КС37-12 и др. (ГОСТ 1215-79).

Буквы и цифры марок чугуна обозначают: СЧ – серый чугун, КЧ - ковкий чугун. Цифры после у серого чугуна указывают на предел прочности при растяжении.

**Сталь** – сплав железа с углеродом и другими элементами, содержащий углерода не более 2%. По сравнению с чугуном сталь обладает значительно более высокими физико-механическими свойствами.

Сталь получают из передельного чугуна его переплавкой и удалением избытка углерода, кремния, марганца и других примесей и выплавляют в мартенах, электропечах и конверторах.

Сталь, выплавленная из чугуна на металлургических заводах, в виде слитков поступает в прокатные, кузнечные или прессовые цехи, где перерабатывается на фасонный и листовой прокат, а также в поковки различной формы и размеров.

Все применяемые в настоящее время стали классифицируются по следующим признакам:

- по химическому составу – **углеродистая, легированная;**
- по качеству – **сталь обыкновенного качества, качественная, высококачественная;**
- по назначению – **конструкционная, инструментальная.**

**Углеродистая сталь** широко используется в промышленности. Основной составляющей частью, определяющей ее механические и другие свойства, является углерод. Увеличение содержания углерода в стали повышает прочность и твердость, но уменьшает вязкость и делает ее более хрупкой.

В зависимости от назначения углеродистая сталь делится на конструкционную и инструментальную.

Углеродистые конструкционные стали делятся на обыкновенного качества (ГОСТ 380-78) и качественные (ГОСТ 1050-74). В зависимости от условий и степени раскисления различают спокойные стали (сп), полуспокойные (пс) и кипящие (кп). Стали обыкновенного качества маркируют буквами СТ (сталь) и цифрами 1, 2, 3, ..., 6 (Ст0, Ст1, Ст2 и т.д.). Чем больше это число, тем больше в ней содержится углерода. В зависимости от назначения эти стали делятся на три группы:

- группа **А** – стали, поставляемые по механическим свойствам без уточнения их химического состава (Ст0, Ст1кп, Ст2пс, Ст1сп, Ст2кп и др.);
- группа **Б** – стали, поставляемые с гарантийным химическим составом (БСт0, БСт1кп, БСт1сп, БСт2кп и др.);

- группа **В** – стали повышенного качества с гарантированным химическим составом и механическими свойствами (ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5),

Цифры, обозначающие марку стали, показывают среднее содержание в стали углерода в сотых долях процента (например, сталь марки 45 содержит в среднем 0,45% углерода).

Низкоуглеродистые стали марок 05, 08, 10, 20, 25 применяются для малонагруженных деталей, изготовление которых связано со сваркой и штамповкой. Из среднеуглеродистых сталей марок 40, 45, 50, 55 изготавливают оси, валы, зубчатые колеса и другие детали. Высокоуглеродистые стали идут на изготовление спиральных пружин, тросов и других ответственных деталей.

Инструментальная качественная сталь обозначается буквой **У**, после которой ставится цифра, указывающая содержание углерода в десятых долях процента, например У7, У8, У10 и т.д.

Инструментальная высококачественная сталь содержит меньше, чем качественная, вредных примесей (серы, фосфора). Маркируют ее так же, как и качественную, но с добавлением буквы **А**, например У7А, У8А и т.д. Применяется инструментальная углеродистая сталь для изготовления различных инструментов (ударных, режущих, измерительных и др.).

В состав легированной стали кроме углерода входят элементы, улучшающие ее свойства. К таким элементам относятся: хром, никель, кремний, вольфрам, марганец, ванадий, кобальт и др. В зависимости от вводимых легирующих элементов стали делятся на хромистые, никелевые, кремнистые, хромоникелевые, хромованадиевые и др.

Легирующие элементы придают стали, в зависимости от ее назначения, необходимые свойства.

Хром способствует увеличению прочности стали, ее твердости и сопротивляемости износу. Никель увеличивает прочность, вязкость и твердость стали, повышает ее коррозионную стойкость и прокаливаемость. Кремний при содержании его более 0.8% увеличивает прочность, твердость и упругость стали, снижая при этом ее вязкость. Марганец повышает твердость и прочность стали, улучшает ее свариваемость и прокаливаемость.

Легированная сталь по количеству введенных в нее легирующих элементов классифицируется на низколегированную (до 5% легирующих элементов), среднелегированную (от 5 до 10%) и высоколегированную (свыше 10%).

По назначению легированная сталь, как и углеродистая, подразделяются на конструкционную и инструментальную.

Легирующие элементы, введенные в состав стали, согласно стандарту, имеют следующие обозначения : Х – хром, В – вольфрам, М – молибден, Ф – ванадий, К – кобальт, Г – марганец, Т – титан, С – кремний, Н – никель, Д – медь, Ю – алюминий, Р – бор, А – азот. Высококачественную сталь обозначают с добавлением в конце маркировки буквы **А**.

Легированная сталь маркируется сочетанием цифр и букв. Первые две цифры обозначают среднее содержание углерода в сотых долях процента, буквы – легирующие элементы, последующие за буквами цифры - содержание

в процентах этих элементов в стали. Так, марка 40Х обозначает хромистую сталь с содержанием 0,4% углерода и 1% хрома; 12ХН3А хромоникелевую сталь, содержащую около 0,12% углерода, 1% хрома и 3% никеля и т.д.

Из конструкционной легированной стали изготавливают ответственные детали машин и различные металлические конструкции. Для улучшения механических свойств детали из этой стали подвергаются термической обработке.

К конструкционным легированным сталям относятся: хромистая (15Х, 20Х, 30Х, и др.), хромованадиевая (15ХФ, 20ХФ, 40ХФА), хромкремнистая (33ХС, 38ХС, 40ХС), хромоникелевая (12ХН2, 12ХН3А и др.).

Инструментальная легированная сталь по сравнению с углеродистой обладает большой износоустойчивостью, она глубже прокаливается, обеспечивает повышенную вязкость в закаленном состоянии и менее склонна к деформациям и трещинам при закалке.

Режущие свойства легированных сталей примерно такие же, как и углеродистых, потому что у них низкая теплостойкость, равная 200 – 250<sup>0</sup>С.

Назначение некоторых марок легированных инструментальных сталей следующее: сталь 9ХС применяется для изготовления плашек, сверл, разверток, фрез, гребенок, метчиков; стали 11Х и 13Х – для напильников, бритвенных ножей, хирургического и гравировального инструмента; сталь ХВГ – для длинных метчиков, разверток и других инструментов.

Для изготовления режущего инструмента применяется быстрорежущая сталь, которую так назвали за высокие режущие свойства. Благодаря наличию в ее составе вольфрама и ванадия эта сталь обладает высокой теплостойкостью, красностойкостью, т. е. способностью сохранять высокую твердость и износостойкость при повышенных температурах. Основные марки быстрорежущих сталей – Р9, Р12, Р18, Р6М5, Р9К5.

## Цветные металлы и сплавы

Цветные металлы широко применяются в промышленности, несмотря на сравнительно высокую их стоимость. К цветным металлам относятся: медь, алюминий, магний и др.

**Медь** - металл красноватого цвета, плотность 8,93 г/см<sup>3</sup>, температура плавления 1083<sup>0</sup>С. Наиболее ценные свойства меди - высокая электропроводность, пластичность, теплопроводность, повышенная коррозионная стойкость. Медь широко применяется в электропромышленности, а также для получения различных сплавов, используемых в машиностроении.

Основные марки меди: М00, М0, М1, М2, М3, М4.

**Алюминий** - легкий серебристо-белый металл, плотность 2,7 г/см<sup>3</sup>, температура плавления 658 <sup>0</sup>С. Он обладает высокой электропроводностью, хорошей пластичностью и коррозионной стойкостью, поддается обработке давлением и прокатывается в тонкую фольгу. Алюминий служит для изготовления электропроводов, посуды, фольги, а также получения многих

сплавов, применяемых в промышленности. В чистом виде алюминий используется мало, так как он имеет невысокие механические свойства. Основные марки алюминия: А999, А995, А99, А97, А95.

**Магний** - блестящий белый металл, плотность  $17,4 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $650^\circ\text{C}$ . Магний употребляется для получения легких сплавов, обладающих высокими механическими свойствами (сплавы с алюминием, марганцем, цинком). Основные марки магния: Мг1, Мг2.

**Цветные сплавы.** Как уже было сказано ранее, цветные металлы (медь, алюминий, магний и пр.) в чистом виде имеют ограниченное применение. Для улучшения их механических, технологических и других свойств из цветных металлов готовят различные цветные сплавы: латуни, бронзы, алюминиевые и др.

Наиболее распространенными в промышленности сплавами цветных металлов являются следующие.

**Латунь** - сплав меди с цинком. По сравнению с чистой медью она имеет повышенную прочность, пластичность и твердость, а также обладает большей коррозионной стойкостью и жидкотекучестью. Латунь служит для изготовления листов, проволоки, литой и штампованной арматуры, посуды и т.д.

Основные виды латуни: литейные (для фасонного литья) и обрабатываемые давлением. Латунь обозначается буквой Л и цифрой, указывающей процент содержания меди в сплаве. Например, марка латуни Л62 обозначает, что в ней содержится около 62% меди.

Наряду с простой применяется также специальная латунь, в состав которой входят железо, марганец, никель, олово и др. По прочности некоторые латуни не уступают углеродистой стали.

Специальная латунь кроме буквы Л маркируется условными обозначениями легирующих элементов: Ж - железо, Мц - марганец, Н - никель, О - олово, К - кремний, С - свинец. Количество элементов указывается цифрами. Например, марка ЛС59-1 обозначает свинцовистую латунь, в которой содержится 59% меди, 40% цинка и 1% свинца.

Наиболее часто употребляются простые латуни Л62, Л68 и специальные ЛМц58, ЛС59-1, ЛО62-1 и др.

**Бронза** - сплав меди с оловом, свинцом, кремнием, марганцем и некоторыми другими элементами. Бронзы обладают высокой коррозионной стойкостью, жидкотекучестью и высокими антифрикционными свойствами. В зависимости от легирующих элементов, входящих в сплав, бронзы делят на оловянные, алюминиевые, марганцевые, кремниевые, свинцовые и др.

Оловянная бронза имеет повышенную коррозионную стойкость, жидкотекучесть и обладает хорошим антифрикционными свойствами. Она применяется в основном для отливки подшипников и других подобных деталей и обозначается буквами БрО с цифрами, указывающими содержание в ней олова в процентах. Основные марки оловянной бронзы: БрО10 БрО14, БрО20.

**Алюминиевая бронза** по сравнению с оловянной имеет большую пластичность, коррозионную стойкость и лучше сопротивляется износу, но обладает более низкими литейными свойствами.

Добавление в алюминиевую бронзу железа, никеля и марганца повышает ее коррозионную стойкость и механические свойства. Такая бронза используется для изготовления фасонного литья, арматуры, зубчатых колес и других деталей. Основные марки алюминиевой бронзы БрАЖ9-4, БрАЖН 10-4-4.

**Марганцевая бронза** обладает высокой пластичностью, хорошо сопротивляется коррозии, но имеет сравнительно невысокие механические свойства и служит в основном для изготовления паровой арматуры. Основной маркой, марганцевой бронзы является БрМц5.

**Кремниевая бронза** характеризуется высокой пластичностью и хорошими литейными свойствами. Для увеличения коррозионной стойкости в нее добавляют марганец, а для улучшения антифрикционных свойств - свинец. Из кремниевой бронзы изготавливают пружинящие контакты, проволоку и т. д. Наиболее распространена бронза марки БрКМц3-1.

**Бериллиевая бронза** обладает высокой упругостью, износоустойчивостью и твердостью. Бронза марки БрБ2 употребляется для изготовления пружин, износоустойчивых деталей и т. д.

Бронзы маркируются следующим образом: Бр – бронза, последующие буквы обозначают легирующие элементы, цифры - процентный состав олова и других элементов. Например, марка БрОЦС-5-5—5 обозначает, что в бронзе содержится 5% олова, 5% цинка, 5% свинца, остальное медь.

**Силумин** - сплав алюминия с кремнием, обладает хорошими литейными свойствами и широко применяется для всевозможных отливок. По сравнению с алюминием имеет лучшие механические свойства и повышенную плотность. Основные марки силумина: АЛ2, АЛ3, АЛ4, АЛ5, АЛ9.

**Дюралюмин** - сплав алюминия с медью, магнием и марганцем, Медь и магний при термической обработке увеличивают прочность сплава, а марганец - твердость и коррозионную стойкость. Дюралюмин подвергают термической обработке для повышения его механических свойств, которые при этом приближаются к свойствам среднеуглеродистой стали. Особенно распространен этот сплав в авиационной промышленности. Основные марки дюралюмина: Д1, Д6, Д16, Д18.

**Магниевого сплавы** - сплавы магния с алюминием, цинком, марганцем и другими элементами. Литейные свойства магниевых сплавов ниже алюминиевых, однако благодаря своей малой плотности они часто применяются в авиационной, радиопромышленности и т. д. Прочность магниевых сплавов может быть повышена путем термической обработки. Основные марки магниевых сплавов: МЛ4, МЛ5.

**Твердые сплавы.** Твердые сплавы применяют для изготовления режущих инструментов, предназначенных для обработки металлов с высокими скоростями резания (от 100 до 1200 м/мин и более). Твердые сплавы получают спеканием порошков вольфрама, титана, кобальта и угля при температуре

1500—1550°C. Пластинки из твердого сплава обладают твердостью HRA87 - 90, малой теплопроводностью и низким коэффициентом расширения при нагреве.

Твердые сплавы вольфрамовой группы предназначены для обработки хрупких материалов, например чугуна, бронзы и других металлов. Сплавы этой группы обозначаются буквой В: ВК2, ВК3, ВК6, ВК8, ВК11 и др. (2 -11% кобальта и остальное - карбиды вольфрама). В настоящее время находят широкое применение твердые сплавы с более мелкозернистой структурой - ВК3М, ВК6М, ВК8М. Твердые сплавы вольфрамо-титановой группы применяются для обработки стали и обозначаются буквой Т - Т15К10, Т15К6, Т14К8, Т15К6Т, Т3ОК4, Т60К6 и др. (5 - 60% карбидов титана, 6 - 10% кобальта, остальное - карбиды вольфрама).

Введение карбида тантала в твердые сплавы увеличивает сопротивление к трещинообразованию при резких сменах температуры, и прерывистом резании, повышает стойкость и позволяет применять скорости резания в 1,5 - 2 раза выше, чем при использовании инструментов и обычных сплавов. К титано-тантало-вольфрамовой группе относятся марки сплавов ТТ7К12, ТТ7К15, Т5К12В и др.

Минералокерамические твердые сплавы обладают твердостью HRA 92 - 93 и сохраняют режущие свойства при температуре до 1200°C. Этот инструментальный материал не содержит таких дефицитных и дорогостоящих материалов, как вольфрам, кобальт и титан. Его основой является спеченная окись алюминия. Из минералокерамики изготавливают пластинки двух марок: ТВ-48 (термокорунд) и ЦМ-332 (микромит), которые также применяются при различных видах обработки, где используется инструмент с механическим креплением пластинок.

## **9 ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

**Термическая обработка стали.** Термической обработкой называется процесс нагрева металла до определенной температуры, выдержки при этой температуре и последующего охлаждения с той или иной скоростью. В результате такого процесса не изменяется химический состав металла, но меняются его структура и механические свойства.

Структуру металла (его строение) можно определить по излому. На поверхности излома видно большое количество зерен, связанных между собой. Каждое такое зерно состоит из мельчайших частиц - атомов, которые, располагаясь в определенном порядке, образуют кристаллическую решетку.

В металлах чаще всего встречаются три типа расположения атомов: атомы располагаются в углах и в центре куба, образуя кубическую объемно-центрированную решетку; атомы располагаются по углам куба и в середине каждой его грани, образуя кубическую гранецентрированную решетку; атомы

располагаются в углах и в центре на шестигранных основаниях призмы и три атома внутри ее, образуя гексагональную решетку.

Процесс перестройки атомов одного вида пространственной решетки в другой при определенных температурных условиях называют аллотропическим превращением. Аллотропические формы, в которых кристаллизуется металл, называют модификациями и обозначают  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  и т. д.

Атомы меняют свое расположение, в зависимости от температуры нагрева. При нагреве железа до температуры  $910^{\circ}\text{C}$  атомы располагаются в виде куба, образуя кристаллическую решетку  $\alpha$ -железа; восемь атомов расположены по углам решетки и один - в центре ее (рис. 1.а). Если нагревать железо выше  $910^{\circ}\text{C}$ , кристаллическая решетка с перегруппированными атомами превращается в куб с четырнадцатью атомами и образует решетку  $\gamma$ -железа.

В сталях превращение  $\alpha$ -железа в  $\gamma$ -железо протекает при температуре более низкой ( $723^{\circ}\text{C}$ ), чем в чистом железе. Если нагретый металл медленно охлаждать, то перестройка кристаллической решетки происходит в обратном порядке.

Свойства металла зависят от расположения атомов в кристаллической решетке. Железо в отожженной стали находится в форме  $\alpha$ -железа и называется ферритом. Углерод же с железом связан химически, и такая структура называется цементитом (карбид железа). Феррит вязок, а цементит обладает большой твердостью и хрупкостью. Структура, при которой зерна цементита равномерно расположены в феррите, называется перлитом. Твердый раствор углерода в железе, образующийся при высокой температуре, называется аустенитом. Структура закаленной стали, полученная при быстром охлаждении, называется мартенситом; такая сталь обладает высокой твердостью и хрупкостью.

Термическая обработка бывает нескольких разновидностей: отжиг, нормализация, закалка и отпуск, поверхностная закалка, обработка холодом.

**Отжиг** применяется в основном для снижения твердости, чтобы облегчить механическую обработку и снять в стали внутренние напряжения. Температура нагрева при отжиге зависит от содержания в стали углерода. Сталь с содержанием углерода более 0,8% нагревают до температуры  $750 - 760^{\circ}\text{C}$ , для стали с меньшим содержанием углерода температуру постепенно повышают до  $930 - 950^{\circ}\text{C}$ . После нагрева металл медленно охлаждают в печи. В отожженном состоянии сталь приобретает перлитную структуру.

**Нормализация** предназначается для улучшения структуры стали, снятия внутренних напряжений и обеспечения лучших условий обработки резанием. Она отличается от отжига тем, что охлаждение производится не в печи, а на воздухе.

После нормализации сталь приобретает также перлитную, но более мелкозернистую и однородную структуру. Твердость и прочность стали при этом выше, чем после отжига.

**Закалка** заключается в нагреве стали до определенной температуры, выдержке при этой температуре и последующем быстром охлаждении в воде,

масле, расплавленных солях или на воздухе. Закалка применяется в сочетании с отпуском для повышения твердости, прочности и износоустойчивости стали.

Углеродистые и легированные стали под закалку нагреваются в электрических печах или в соляных ваннах. В результате закалки сталь получает мелкозернистую структуру, в которой преобладает мартенсит - самая твердая и хрупкая структура.

При быстром охлаждении во время закалки в металле возникают внутренние напряжения, которые могут вызвать трещины, коробление и хрупкость. Эти дефекты устраняют последующим отпуском.

**Отпуск** заключается в нагреве стали до температуры, значительно более низкой, чем при закалке, выдержке при этой температуре и охлаждении. Углеродистые и легированные стали нагревают до температуры 150 - 250°C, а быстрорежущие подвергаются трехкратному отпуску при температуре 550 - 580°C. Охлаждение осуществляется на воздухе.

**Поверхностная закалка** представляет собой нагрев до определенной температуры (температуры закалки) поверхностного слоя стального изделия с последующим быстрым охлаждением. При этом можно получить высокую твердость в относительно тонком слое (от 0,3 до 10 мм) рабочих поверхностей изделия без изменения структуры и твердости внутренней массы металла этого изделия. Такое свойство особенно ценно для напряженно работающих деталей (коленчатые валы двигателей, зубчатые колеса и др.), которым необходима большая твердость трущихся рабочих частей и упругая (нехрупкая) основная масса металла изделия.

Поверхностная закалка осуществляется на специальных высокочастотных установках с помощью индукторов, через которые пропускают токи высокой частоты (ТВЧ). Высокочастотная поверхностная закалка обеспечивает хорошее качество металла, поэтому широко применяется в промышленности.

**Обработка холодом** заключается в повышении твердости и износоустойчивости стали в результате перевода остаточного аустенита закаленной стали в мартенсит.

Эта обработка производится на специальных установках, обеспечивающих температуру ниже нуля.

**Химико-термическая обработка.** Химико-термическая обработка применяется для изменения химического состава и свойств поверхностной твердости, износоустойчивости и коррозионной стойкости. Достигается это внедрением (диффузией) определенных элементов из внешней среды в поверхностный слой металла.

К химико-термической обработке стали относятся: цементация, азотирование, цианирование, алитирование.

**Цементация** - насыщение поверхностного слоя стали углеродом при нагреве до температуры 880—950°C с последующей закалкой. Цель ее - получение высокой твердости и износоустойчивости поверхности детали. Цементации подвергаются детали из низкоуглеродистой стали с содержанием углерода 0,1 - 0,25%. При насыщении количество углерода может быть

доведено до 1 - 1,25%. Цементацию деталей обычно производят после их механической обработки с оставлением припуска на окончательную шлифовку.

**Азотирование** - поверхностное насыщение стали азотом при нагреве до температуры 500-700°C в аммиаке. Азотированию подвергают главным образом детали, изготовленные из сталей, содержащих алюминий, хром и молибден, для повышения твердости, износостойкости поверхностного слоя и коррозионной стойкости.

**Цианирование** - совместное насыщение поверхности стали одновременно углеродом и азотом при температуре 530—550°C. Оно может выполняться в жидкой, твердой и газообразной средах. Цианирование применяют для повышения стойкости спиральных сверл и других быстрорежущих инструментов и деталей сложной конфигурации.

**Алитирование** - поверхностное насыщение стали алюминием, диффузией его сред, содержащих алюминий. При этом сталь приобретает высокую окислительную стойкость (при температурах до 800—850°C). Применяется алитирование для топливных баков газогенераторных машин, чехлов термодар, разливочных ковшей и т. д.

**Коррозия металлов и защитные покрытия.** Коррозией называется процесс разрушения металлов вследствие химического и электрохимического взаимодействия их с окружающей внешней средой. В деталях и сооружениях под действием коррозии происходит постепенное разрушение поверхности, образование раковин, а также полное изменение металла, например, тонкие листы металла могут целиком превратиться в ржавчину.

Потери металла от коррозии довольно велики и наносят ущерб хозяйству. В обычных условиях коррозия развивается под действием воды и кислорода. Известно несколько видов коррозии, основными из них (по разрушительному действию) являются химическая и электрохимическая.

**Химическая коррозия** является результатом воздействия на металл агрессивной среды, не проводящей электрический ток. Такой средой могут быть газы или некоторые органические вещества, например масла. На поверхности металла образуются химические соединения, чаще всего пленки окислов.

**Электрохимическая коррозия** возникает при соприкосновении металла с жидкостью, проводящей электрический ток и называемой электролитом. Такими жидкостями могут быть кислоты, щелочи, растворы солей, почвенная вода и пр.

Чтобы предохранить металл от коррозии, применяют следующие основные способы его защиты: металлические покрытия; неметаллические покрытия; химические покрытия.

**Металлические покрытия.** На защищаемый от коррозии металл наносят тонкий слой другого металла, обладающего большой антикоррозионной стойкостью. Нанесение металлических покрытий производится следующими способами: горячим, гальваническим, металлизацией (распылением) и др.

При **горячем способе** покрытие образуется в результате погружения деталей в ванну с расплавленным металлом. Этим способом производится

цинкование (покрытие цинком), лужение (оловом), свинцевание (покрытие свинцом), алитирование (алюминием).

**Гальванический способ** заключается в том, что на поверхность изделий, погруженных в ванну с электролитом, под действием электрического тока осаждается тонкий слой металла. Гальванические покрытия образуются при электролизе раствора солей таких металлов, как цинк, олово, свинец, никель, хром и др.

Преимущество этого способа перед другими в том, что он допускает нанесение любого металла на изделия с требуемой толщиной слоя защитного покрытия (от 0,005 до 0,030 мм) без нагрева изделия. Распространены следующие гальванические покрытия: хромирование, никелирование, цинкование и др.

**Металлизация** (распыление) заключается в нанесении тонкого слоя расплавленного металла на изделие специальным аппаратом металлизатором.

**Неметаллические покрытия.** Для защиты от коррозии изделия покрывают лаками, красками, эмалями и смазкой. Назначение этих покрытий - изоляция металла от воздействия внешней среды.

Лакокрасочные покрытия составляют около 65-70% от всех антикоррозионных покрытий. Недостаток этих покрытий - их малая механическая прочность и обгорание при высоких температурах.

Химические покрытия на поверхности изделий образуют защитные неметаллические пленки, чаще всего окисные. Такие покрытия образуются в результате обработки паром и др.

При оксидировании изделия погружают в растворы азотнокислых солей при температуре около 140°C.

Обработку паром готовых инструментов или деталей машин применяют для увеличения коррозионной стойкости и уменьшения износа рабочих поверхностей инструментов и деталей в процессе их работы. Паром обрабатывают детали и инструменты после термической и окончательной механической обработки, включая заточку и доводку. Стальные изделия при нагреве до 400-600°C под действием паров воды подвергаются активному окислению с образованием на поверхности характерной окисной пленки

При этом происходит дополнительный отпуск - снимаются напряжения, полученные на предыдущих операциях. Окисная пленка играет роль твердого и смазывающего вещества и способствует увеличению износостойкости и коррозионной устойчивости деталей.

### **Неметаллические материалы**

Наряду с металлами во всех отраслях промышленности большое распространение получили неметаллические материалы. К ним относятся пластические массы, резина, химикаты, формовочные, текстильные, древесные, лакокрасочные и другие материалы. Особо следует отметить пластмассы, с каждым годом все шире внедряемые в промышленность.

**Пластмассы.** Пластмассы представляют собой материалы, основой которых служат природные или синтетические соединения, способные при

нагревании или под давлением формоваться и устойчиво сохранять приданную им форму. В состав пластмасс входят различные наполнители (древесная мука, ткань, бумага, стеклянное волокно, хлопковые очесы и др.), повышающие прочность, связующие веществ, (естественные и искусственные смолы, фенолоформальдегидные смолы), красители, пластификаторы, повышающие пластичность и эластичность, а также ряд других вспомогательных веществ.

Большинство изделий из пластмасс изготавливается горячим прессованием в металлических пресс-формах или литьем под давлением. Поэтому они не нуждаются в последующей механической обработке. Из пластмасс (слоистых), выпускаемых в виде прутков и листового материала, изделия изготавливают механической обработкой.

Изделия из пластмасс имеют малую плотность, достаточную прочность, высокие антикоррозионные и электроизоляционные свойства; они значительно дешевле металлических изделий.

Пластмассы применяются в качестве заменителей дефицитных цветных металлов и сплавов при производстве электроаппаратуры, зубчатых колес, вкладышей, подтипов, вытяжных штампов и даже крупногабаритных изделий (кузова автомобилей и др.).

Основные виды пластмасс, имеющие промышленное значение, следующие: текстолит (содержащий ткань), гетинакс (содержащий бумагу), лигнофоль и дельтадревесина (содержащие, древесину), стеклопластики (со стекловолокнистым наполнителем), полиэтилен, полистирол, карболит, волокнит, различные полимеры и др.

**Абразивные материалы.** Абразивные материалы представляют собой большую группу неметаллических материалов высокой твердости, предназначенных для шлифовки, заточки и доводки инструмента, деталей и т. д. Из абразивных материалов изготавливаются шлифовальные круги, шлифовальные шкурки, шлифовальные порошки, доводочные пасты и др.

Абразивные материалы бывают природные (алмаз, кварц, корунд, гранат) и искусственные (электрокорунд нормальный, электрокорунд титанистый, монокорунд, карбид кремния зеленый и черный, карбид бора, синтетические алмазы, кубический нитрид бора и др.). Чаще всего на машиностроительных заводах используют искусственные абразивные материалы.

Режущие свойства абразивных материалов зависят от их зернистости, твердости, рода связки и структуры.

Зернистость (размер зерна) абразивного материала по ГОСТ 3647-80 имеет следующие номера: 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16, 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3, М40, М20, М14, М10, М7, М5 в порядке уменьшения размера зерна. Номер зерна соответствует длине стороны ячейки сита в сотых долях миллиметра. В зависимости от размера зерна абразивные материалы разделяются на три группы: шлифзерна (№200 - 16), шлифпорошки (№12 - 3) и микропорошки (№ 40 - М5).

Абразивные материалы имеют высокую твердость и уступают по твердости только алмазу. Под твердостью абразивного круга понимают не твердость зерна, а прочность связки, ее способность удерживать шлифующие

зерна при эксплуатации. Согласно ГОСТ 19202—80 различают следующую твердость абразивных кругов: мягкие (М1, М2), среднемягкие (СМ1, СМ2), среднетвердые (СТ1, СТ2, СТ3), твердые (Т1, Т2).

Абразивные зерна при изготовлении абразивных инструментов соединяются между собой связками: керамической (К), бакелитовой (Б), вулканитовой (В) и др.

Структура абразивного инструмента характеризуется объемным соотношением между зернами, связкой и порами. Абразивный инструмент имеет три структуры: плотную (№ 0 - 3), среднеплотную (№ 4 - 8) и открытую (№9 - 12).

Абразивная промышленность выпускает все необходимые для производства абразивы, причем электрокорунд составляет 75% от всего выпуска абразивов, он содержит 92 - 94% окиси алюминия. Электрокорунд обладает большой твердостью и вязкостью. Он бывает двух разновидностей: электрокорунд нормальный (Э-1А) и электрокорунд белый (ЭБ-2А). Тот и другой применяют для обработки сталей, чугуна, вязкой бронзы и т. д.

Для обработки твердых сплавов, серого чугуна, меди, алюминия и других металлов и сплавов, обладающих низким сопротивлением разрыву, применяют абразивные инструменты из карбида кремния двух марок: КЗ-6С (зеленый) и КЧ-5С (черный).

**Природные и искусственные (синтетические) алмазы** Из всех абразивных материалов особое место занимают природные и искусственные (синтетические) алмазы. Твердость алмаза значительно превосходит твердость всех применяемых в промышленности инструментальных и абразивных материалов. Алмаз заслуженно называют «королем твердых тел».

Алмаз и технический прогресс неотделимы. Однако до недавних пор применение природных алмазов в промышленности ограничивалось их добычей. В настоящее время, несмотря на успешную разработку богатейших месторождений, добыча алмазов еще не может удовлетворять возрастающую потребность общества.

Поэтому наряду с природными алмазами все большее значение для техники приобретают искусственные (синтетические) алмазы. Синтетические алмазы при изготовлении из них алмазно-абразивного инструмента не только не уступают природным, но имеют перед ними значительные преимущества - они дешевле и обладают большой работоспособностью. Синтетическому алмазу покоряются самые твердые труднообрабатываемые материалы: оптическое и техническое стекло, хрусталь, кварц, твердые сплавы, фарфор, корунд, мрамор, гранит, германий, кремний, различная керамика, бетон, огнеупоры и др.

В первую очередь синтетические алмазы получили широкое применение в инструментальном производстве для заточки и доводки твердосплавного металлорежущего инструмента, что повышает его стойкость в 2-3 раза, сокращает расход твердых сплавов в 1,5-2 раза, повышает класс шероховатости обрабатываемой поверхности.

Наиболее перспективными являются синтетические сверхтвердые материалы, созданные на базе поликристаллов алмаза (карбонадо, баллас) и кубического нитрида бора (эльбор-Р, композит, гексанит-Р).

Поликристаллы кубического нитрида бора превосходят по теплостойкости алмазы, быстрорежущую сталь, твердый сплав и минералокерамику. Сочетание таких уникальных физико-химических свойств позволяет применять эльбор-Р при обработке закаленных сталей, чугунов и различных труднообрабатываемых материалов. При этом достигается шероховатость поверхности 7 - 10-го классов, точность обработки 6 - 7-го качества.

Эльбор-Р применяется для изготовления резцов, зенкеров, фрез, шлифовальных и полировальных кругов и другого инструмента.

В нашей стране получили наибольшее распространение марки синтетических алмазов: АСО, АСР, АСВ.

АСО - алмазные зерна обычной прочности. Используют для изготовления кругов на органической связке и применяют для чистовой заточки и доводки режущих инструментов.

АСР - алмазные зерна повышенной прочности. Используют для изготовления кругов на органической, металлической и керамической связках и применяют для снятия больших припусков и предварительной заточки инструмента.

АСВ - алмазные зерна особо высокой прочности. Используют для изготовления алмазных кругов на металлической связке, работающих в особо тяжелых условиях.

Алмазно-абразивный инструмент изготавливается на органической, металлической, керамической, металло-гальванической, эластичной (резиновой) и других связках. Выбирают ее с учетом применяемой марки алмаза, обрабатываемого материала, вида и режима обработки.

Одной из важнейших характеристик алмазно-абразивного инструмента, определяющей его режущую способность, производительность и срок службы, является концентрация алмаза в инструменте. В нашей стране большее распространение получил инструмент с концентрацией алмаза 50, 100 и 150%. За 100%-ную концентрацию принимается содержание алмаза в алмазоносном слое, равное 25% его объема, что составляет 4,4 карата алмаза в 1 см<sup>3</sup> (карат равен 0,2 г).

Из синтетических алмазов изготавливаются резцы, шлифовальные круги, бруски, надфили, головки, шлифовальные шкурки и пасты.

**Вспомогательные материалы.** К вспомогательным материалам относятся смазочные, смазочно-охлаждающие жидкости, обтирочные материалы и др.

В качестве смазочных жидкостей применяют минеральные и синтетические масла. К охлаждающим жидкостям, которыми пользуются при обработке металлов резанием, относятся мыльная и содовая вода, масляные эмульсии и др.

Смазочными жидкостями обычно смазывают узлы машин и механизмов для уменьшения трения, а также для охлаждения в процессе работы режущими инструментами. При обработке резанием углеродистых и легированных сталей

в качестве охлаждающих жидкостей используют эмульсии и реже растительные масла, а при нарезании резьбы - эмульсии, сульфолуб и растительные масла.

Для удаления со станков мелкой стружки и масла, обтирания инструментов и обрабатываемых деталей применяются хлопчатобумажные концы и тряпки.

## 10 ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Взаимозаменяемость и стандартизация. Взаимозаменяемость как принцип конструирования и производства деталей предложен и реализован впервые в конце XIX в. в производстве винтовок. Она обеспечивает правильную сборку и замену при ремонте независимо изготовленных деталей и узлов без дополнительной их обработки с соблюдением требований качества и экономичности.

Взаимозаменяемость имеет народнохозяйственное значение, она позволяет повысить производительность сборки, удешевить производство изделий, обеспечить производство запасных частей и узкую специализацию производства, кооперирование производства и получить другие положительные эффекты.

Взаимозаменяемость деталей и узлов может быть **полной** и **неполной** (частичной). В последнем случае правильное соединение деталей и узлов обеспечивается лишь для части их, изготовленной с высокой (надлежащей) точностью. Другая часть деталей, изготовленная менее точно, собирается путем подбора, с использованием компенсаторов и различных технологических средств.

Для обеспечения взаимозаменяемости деталей, узлов и комплексов и упорядочения их производства в масштабах предприятия, отрасли, республики, страны, группы стран существуют стандарты: предприятия - СТП, отрасли - ОСТ, государственные ГОСТ, СЭВ - СТ СЭВ, международные - МС. Их соблюдение является обязательным на всех этапах производства, сбыта и эксплуатации изделий.

**Размеры.** Геометрические параметры деталей количественно оценивают размерами.

Размер - числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т. д.) в выбранных единицах измерения. Размеры, проставляемые на чертежах деталей или соединений, называют **номинальными**.

Их получают из расчетов (на прочность, жесткость и т. д.) или принимают из конструктивных соображений. Для типизации технологических процессов, ограничения количества инструментов, типоразмеров деталей принятые номинальные размеры округляют до значений по ГОСТ 6636—69 «Нормальные линейные размеры».

Стандартом предусмотрены четыре ряда размеров R5, R10, R20 и R40 (в порядке убывающей предпочтительности), каждый из которых представляет геометрическую прогрессию со знаменателем, соответственно равным

$$\sqrt[5]{10} \cong 1,6$$

$$\sqrt[10]{10} \cong 1,25$$

$$\sqrt[20]{10} \cong 1,12$$

$$\sqrt[40]{10} \cong 1,06$$

При изготовлении деталей действительный размер, т. е. размер, установленный измерением с допустимой погрешностью, может совпадать с номинальным размером лишь случайно, так как технологические погрешности (неточности изготовления инструментов, оборудования и т. д.) систематического и случайного характера вызывают неизбежные погрешности обработки и рассеяние размеров деталей.

Установлено, что для обеспечения правильной сборки (геометрической взаимозаменяемости) и нормальной работы детали могут иметь некоторое рассеяние размеров относительно номинальных значений.

Максимальный и минимальный размеры, между которыми может находиться действительный размер детали, называют, предельными размерами

На рис. 10.1 схематически показаны совмещенные по образующей цилиндрические валы (а) и отверстия (б) с номинальными предельными диаметрами. Обозначим их через  $D_{\max}$  и  $D_{\min}$  - для отверстия и  $d_{\max}$  и  $d_{\min}$  - для вала.

Алгебраическую разность между измеренным размером (действительным, предельным и др.) и соответствующим номинальным значением называют отклонением.

**Действительное отклонение** - алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами; **предельное отклонение** - алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами.

Различают верхнее и нижнее отклонения:

для отверстия

$$ES = D_{\max} - d; EI = D_{\min} - d;$$

для вала

$$es = d_{\max} - d; ei = d_{\min} - d,$$

где  $d$  - номинальный диаметр.

Величины отклонений могут быть положительными и отрицательными. При схематическом изображении они задаются относительно номинальных размеров, которые служат началом отсчета (положительные отклонения откладываются вверх, а отрицательные - вниз от нулевой линии). Для поверхностей сопряжения (соприкосновения) деталей номинальный размер может быть общим (например, для соосных сопряжений вала и ступицы). Экономически целесообразные отклонения размеров деталей определяются Единой системой допусков и посадок, установленной СТСЭВ 144—75.

**Допуски.** Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами называют допуском, (рис. 10.1).

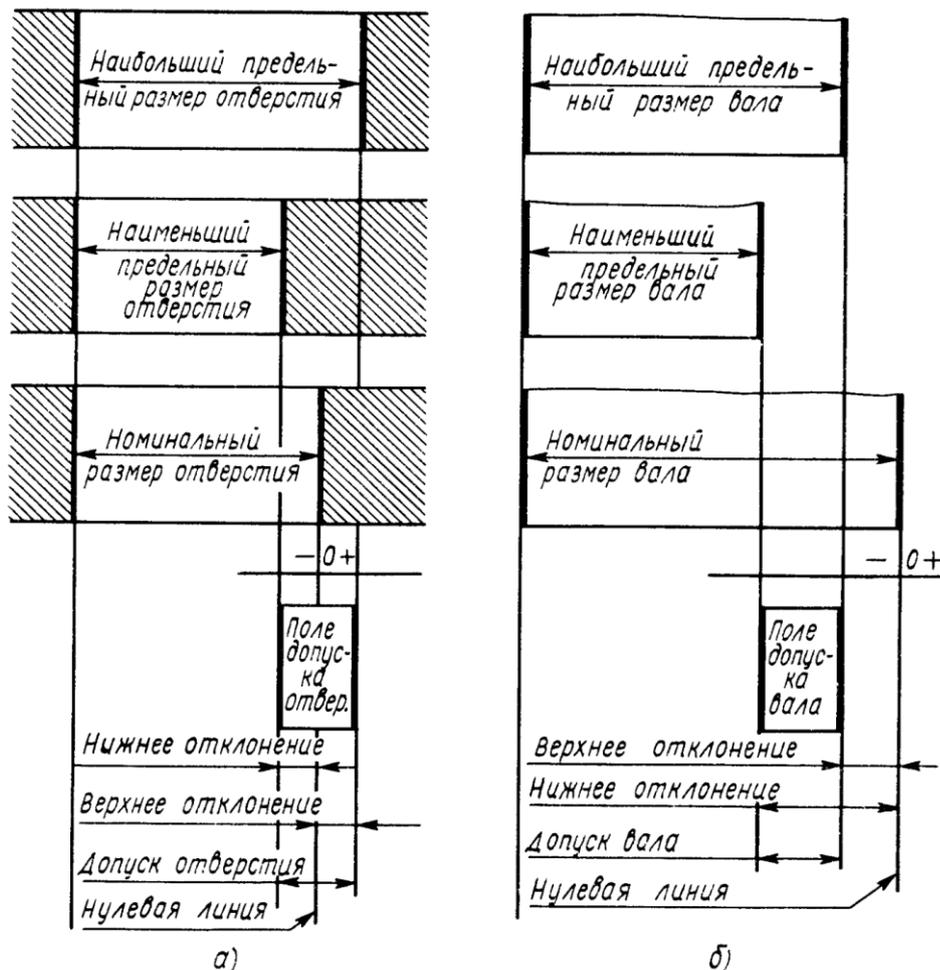


Рисунок 10.1 - Предельные размеры отверстия и вала, определяющие поля допусков

Допуск размера обозначают буквами IT, например допуск размера вала

$$IT = T_a = d_{\max} - d_{\min} = es - ei,$$

а допуск размера отверстия

$$IT = T_0 = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI.$$

Поле допуска  $T_D$  - поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями, определяется числовым значением допуска и его положением относительно номинального размера.

При графическом изображении поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии. Расположение поля допуска относительно нулевой линии принято обозначать буквой (или двумя буквами) латинского алфавита — прописной для отверстия и строчной для валов (например, H5, F7, h8, jsS и т.д.).

При увеличении допуска на размер требования к точности снижаются и производство детали упрощается и удешевляется. При одном и том же допуске деталь большего размера изготовить сложнее, чем деталь меньшего размера. Поэтому размер допуска IT назначают от диаметра.

Величины верхнего и нижнего предельных отклонений указываются на чертежах тремя способами:

1) мелкими цифрами (мм) за номинальным размером; отклонения, равные нулю, не проставляются. Отклонения могут иметь одинаковые или разные

знаки, например  $20 \begin{matrix} -0.32 \\ -0.59 \end{matrix}$ ,  $120 \begin{matrix} +0.16 \\ \end{matrix}$ ,  $205 \begin{matrix} +0.16 \\ -0.16 \end{matrix}$ .

2) условным обозначением поля допуска, состоящим из буквы и цифры, обозначающей качество, например 12G8, 20 h10;

одновременным указанием поля допуска и цифровых значений отклонений.

Характер сопряжения —  **посадка**  двух соосных цилиндрических деталей (охватываемой — вала и охватывающей — отверстия) зависит от их действительных размеров. Если диаметр отверстия больше диаметра вала, то в соединении между ними будет  **зазор**  (положительная разность диаметров), обеспечивающий свободное осевое и окружное перемещения одной детали относительно другой. Если размер отверстия меньше размера вала (отрицательная разность размеров), то в соединении образуется  **натяг** .

Все посадки разделяют на три группы: с зазором, с натягом и переходные.

**Посадка с зазором** (подвижная посадка) характеризуется наличием зазора в соединении.

Все посадки разделяют на три группы: с зазором, с натягом и переходные.

Посадка с зазором (подвижная посадка) характеризуется наличием зазора в соединении.

При графическом изображении поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала. К посадкам с зазором относятся также посадки, в которых нижняя граница поля допуска отверстия совпадает с верхней границей поля допуска вала. Эту посадку применяют в подвижных соединениях (подшипниках скольжения, а также соединениях, подвергаемых частой разборке и сборке). Наиболее часто употребляются посадки H9/f9, H7/f7, H7/g6, H8/h6 и др.

Посадка с натягом (неподвижная посадка) - посадка, в которой в сопряжении обеспечивается натяг (поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала).

Их применяют для неподвижного соединения деталей без дополнительного крепления. Наиболее часто назначают посадки H7/p6, H7/g6, H8/e8 и др.

Переходные посадки - посадки, которые в зависимости от соотношения действительных размеров отверстия и вала могут быть как с зазором, так и с натягом.

Их применяют для центрирования сопрягаемых деталей путем неподвижного соединения с дополнительным креплением шпонками, винтами, штифтами. Наиболее часто употребляют посадки: H7/k6, H7/n6 и др.

Существуют две системы образования посадок:  **система отверстия**  и  **система вала** .

В основе **системы отверстия** лежит независимость размера отверстия от вида посадки, т. е. предельные отклонения данного размера отверстия одинаковы для всех посадок. Различные посадки создаются путем изменения предельных отклонений размеров вала. Отверстие в этой системе называют основным, его поле допуска обозначают буквой Н. Нижнее отклонение размера основного отверстия равно нулю, и поле допуска располагается «в тело» охватываемой детали.

Посадки в системе отверстия обозначаются последовательным написанием номинального диаметра соединения и обозначений полей допусков сначала отверстия, а затем вала, например 40Н7/с6.

При образовании посадок в **системе вала** принимают, что размер вала не зависит от вида посадки, а различные посадки получают за счет изменения предельных отклонений отверстий. Поле допуска вала - основной детали в этой системе - обозначается буквой h. Обозначение посадок на чертежах выполняется в указанной выше последовательности, например 40Р7/п6 или 40Р7- h 6.

Система отверстия более распространена в машиностроении, так как при ее использовании сокращается ассортимент требуемых инструментов для обработки отверстий.

Посадки назначают из проведенного расчета или накопленного в промышленности опыта.

**Точность геометрической формы деталей.** Точность деталей по геометрическим параметрам характеризуется не только отклонениями размеров, но и отклонениями поверхностей. При этом **отклонение поверхностей** определяется отклонениями формы поверхностей, отклонениями расположения поверхностей, волнистостью и шероховатостью.

Стандартами установлены виды **отклонений от формы** (отклонения от прямолинейности, плоскостности, круглости и др.), **расположения поверхностей** и (или) **частей деталей** (отклонения от параллельности, перпендикулярности, наклона, соосности и т.п.), а также **суммарные отклонения формы и расположения** (радиальное и торцовое биения и др.).

Предельные отклонения формы и расположения поверхностей указываются на чертежах в виде знаков, символов (условных обозначений) и текстовых записей. Для записи отклонений используют выносную прямоугольную рамку, разделенную на две или три части.

В первой (слева) части записывают знак отклонения, во второй - числовое значение, а в третьей - буквенное обозначение базы или другой поверхности. Базы обозначают прописной буквой или зачерненным треугольником. Направление линии измерения отклонений указывается отрезком линии со стрелкой.

Действительные поверхности деталей машин отличаются от номинальных (заданных в технической документации) наличием неровностей, образующихся при обработке поверхности и обусловленных колебанием инструмента и детали в процессе обработки, дефектами инструмента, особенностями кинематики обрабатываемого станка и др. Эти периодические неровности называют

**волнистостью и шероховатостью.** К шероховатости относят неровности, у которых отношение шага к высоте неровностей менее 50, а к волнистости - от 50 до 1000.

По ГОСТ 2789 -73 основными параметрами для оценки шероховатости являются высота Rz неровностей профиля по десяти точкам и среднее арифметическое отклонение профиля Ra на базовой длине.

Шероховатость поверхности оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей: снижает прочность, коррозионную стойкость, жесткость деталей, увеличивает интенсивность износа и др.

При назначении шероховатости поверхности учитывают требования к точности детали, хотя непосредственной связи между ними нет. Часто принимают, что величина Rz не должна превышать 0,1...0,2 допуска на размер. Кроме параметров, характеризующих высоту микронеровностей, на работоспособность деталей влияют и другие характеристики (средний шаг по вершинам и по средней линии профиля, относительная опорная длина и др.).

Номинальные числовые значения параметров шероховатости указывают на чертежах знаками. Они не регламентируют вида обработки поверхности.

## 11 МЕТОДИКА КОНСТРУИРОВАНИЯ

Исходными материалами для проектирования могут быть следующие:

- техническое задание, выдаваемое планирующей организацией или заказчиком, и определяющие параметры машин, область и условия ее применения;
- техническое предложение, выдвигаемое в инициативном порядке проектной организацией или группой конструкторов;
- научно-исследовательская работа или созданный на ее основе экспериментальный образец;
- изобретательское предложение или созданный на его основе экспериментальный образец;
- образец зарубежной машины, подлежащий копированию или воспроизведению с изменениями.

Первый случай наиболее общий; на нем удобнее всего проследить процесс проектирования. К техническим заданиям необходимо подходить критически. Конструктор должен хорошо знать отрасль промышленности, для которой проектируют машину. Он обязан проверить задание и в нужных случаях обоснованно доказать необходимость его корректирования.

Критический подход особенно необходим в тех случаях, когда заказчиком являются отдельные заводы или отрасль промышленности. В последнем случае наряду с удовлетворением требований заказчика целесообразно обеспечить также возможность применения машины на других заводах и в смежных отраслях промышленности.

Не всегда учитывают то обстоятельство, что с момента начала проектирования до срока внедрения машины в промышленность проходит

определенный период, как правило, тем более длительный, чем сложнее машина. Этот период складывается из следующих этапов: проектирования, изготовления, заводской отладки и доводки опытного образца, промышленных испытаний, внесения выявившихся в ходе испытаний изменений, государственных испытаний и приемки опытного образца. Далее следует изготовление технической документации головной серии, изготовление головной серии и ее промышленные испытания. Вслед за этим разрабатывают серийную документацию, готовят производство к серийному выпуску и, наконец, организуют серийный выпуск.

В лучшем случае при отсутствии крупных неполадок и осложнений этот процесс длится полтора-два года. Иногда между началом проектирования и началом широкого выпуска машин проходят два-три года и больше. При современных темпах технического прогресса в машиностроении это большой срок.

Машины с неправильно выбранными заниженными параметрами, основанные на шаблонных решениях, не обеспечивающие технического прогресса, несовместимые с новыми представлениями о роли качества и надежности, устаревают уже к началу серийного выпуска. Работа, затраченная на проектирование, изготовление и доводку образца, оказывается напрасной, а промышленность не получает нужной машины.

### **Конструктивная преемственность**

Конструктивная преемственность - это использование при проектировании предшествующего опыта машиностроения данного профиля и смежных отраслей, введение в проектируемый агрегат всего полезного, что есть в существующих конструкциях 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, являющимися плодом творческих усилий и изобретательности последующих поколений конструкторов. Некоторые конструктивные решения с появлением более рациональных решений, новых технологических приемов, с повышением эксплуатационных требований отмирают, другие оказываются исключительно живучими и сохраняются длительное время в таком или почти таком виде, какой им придали создатели. С течением времени повышаются технико-экономические показатели машин, возрастают их мощность и производительность, увеличивается степень автоматизации, эксплуатационная надежность, появляются новые машины одинакового назначения, но принципиально иных конструктивных схем. В соревновании побеждают наиболее прогрессивные и конкурентоспособные конструкции.

Изучая историю развития любой отрасли машиностроения, можно обнаружить огромное многообразие перепробованных схем и конструктивных решений. Многие из них, исчезнувшие и основательно забытые, возрождаются через десятки лет на новой технической основе и снова получают путевку в

жизнь. Изучение истории позволяет избежать ошибок и повторения пройденных этапов и вместе с тем наметить перспективы развития машин.

Полезно составлять графики, отображающие изменение по годам главных параметров машин (мощность, производительность, масса и т. д.).

Тенденции конструктивного оформления очень выразительно характеризуют графики, показывающие в процентах частоту встречаемости по годам различных конструктивных решений. Анализ таких графиков и их экстраполяция позволяют составить довольно четкое представление о том, каковы будут параметры машин и их конструкция через несколько лет.

Особенно важно изучение исходных материалов при разработке новой конструкции. Основная задача заключается в правильном выборе параметров машины. Частные конструктивные ошибки исправимы в процессе изготовления и доводки машины. Ошибки же в параметрах и в основном замысле машины не поддаются исправлению и нередко ведут к провалу конструкции.

Выбору параметров должно предшествовать полное исследование всех факторов, определяющих конкурентоспособность машины. Необходимо изучить опыт выполненных зарубежных и отечественных машин, провести сравнительный анализ их достоинств и недостатков, выбрать правильный аналог и прототип, выяснить тенденции развития и потребности данной отрасли машиностроения.

Важным условием правильного проектирования является наличие фонда справочного конструктивного материала. Помимо архивов собственной продукции конструкторские организации должны иметь альбомы конструкций смежных организаций. Обязательно систематическое углубленное изучение отечественной и зарубежной периодической литературы и патентов.

Публикации в зарубежной литературе часто бывают завуалированными, по присущему капиталистическому хозяйству стремлению охранять фирменные секреты. Конструктор должен уметь читать между строк. Иногда короткое сообщение содержит многозначительные намеки на готовящиеся крупные нововведения в данной отрасли машиностроения.

Конструктор должен быть в курсе поисковых и перспективных работ, проводимых научно-исследовательскими институтами в данной отрасли машиностроения.

Наряду с изучением опыта той отрасли машиностроения, в которой работает данная конструкторская организация, следует использовать опыт других смежных и даже отдаленных по профилю отраслей машиностроения. Это расширяет кругозор конструктора и обогащает арсенал его конструкторских средств. Особенно полезно изучать опыт передовых отраслей машиностроения, где конструкторская и технологическая мысль, побуждаемая высокими требованиями к качеству продукции (авиация) и массовости изготовления (автотракторостроение), непрерывно создает новые конструктивные формы, способы повышения прочности, надежности, долговечности и приемы производительного изготовления.

Использование накопленного опыта позволяет решить частные задачи, возникающие при проектировании. Иногда конструктор пытается создать

какой-либо специализированный узел или агрегат, новый для конструкции данной машины, тогда как подобные узлы давно разработаны в других отраслях машиностроения и апробированы длительной эксплуатацией.

Направление конструктивной преемственности не означает ограничения творческой инициативы. Проектирование каждой машины представляет огромное поле деятельности для конструктора. Только не следует изобретать уже изобретенное и не забывать правило, сформулированное еще в начале XX века Гюльднером: «Weniger erfinden, mehr konstruieren» (меньше изобретать, больше конструировать).

Процесс постоянного совершенствования машин под влиянием возрастающих требований промышленности находит отражение в выработке школы конструирования и склада конструкторского мышления. Стремление к совершенствованию конструкции входит в плоть и кровь конструктора и становится его потребностью. Истинный конструктор заряжен волей к преодолению трудностей. Он получает полное удовлетворение только в том случае, если находит, иногда после настойчивых исканий, срывов и ошибок, наиболее совершенное решение, способствующее прогрессу машиностроения.

Конструктор должен постоянно работать над собой, непрерывно обогащать и пополнять запас конструктивных решений. Опытный конструктор всегда подметит и мысленно «сфотографирует» интересные конструктивные решения даже на чуждых по профилю машинах, на любой попадающей в поле его зрения машине.

Конструктор должен хорошо знать новейшие технологические процессы, в том числе физические, электрофизические и электрохимические способы обработки (электроискровую, электронно-лучевую, лазерную, ультразвуковую, размерное электрохимическое травление, обработку взрывом, электрогидравлическим ударом, электромагнитным импульсом и т. д.). Иначе он будет стеснен в выборе рациональных форм деталей и не сможет заложить в конструкцию условия производительного изготовления.

Развитие машиностроения неразрывно связано с развитием машинопотребляющих отраслей хозяйства. В промышленности происходит процесс непрерывного совершенствования: растет объем продукции, сокращается производственный цикл, появляются новые технологические процессы, меняются компоновка линий, состав и расстановка оборудования, непрерывно повышается уровень механизации и автоматизации производства. Соответственно возрастают требования к показателям машин, их производительности, степени автоматизации. Некоторые машины с появлением новых технологических процессов становятся ненужными. Возникает необходимость создания новых машин или коренного изменения старых.

Иногда эти перемены бывают очень крупными и затрагивают многие классы машин. Так, введение прогрессивного процесса непрерывной разливки стали означает отмирание или, во всяком случае, сокращение применимости таких сложных и металлоемких машин, как блюминги и слябинги (бесслитковый прокат). Развитие конверторного производства стали с кислородным дутьем вызовет снижение применимости мартеновских печей,

если только последние, в свою очередь, не подвергнутся коренным усовершенствованиям. Появление магнитогазодинамических генераторов, непосредственно преобразующих тепловую энергию в электрическую, приведет к исчезновению электрогенераторов и значительному сокращению использования тепловых двигателей.

Проектированию машин, предназначенных для определенной отрасли промышленности, должно предшествовать тщательное изучение этой отрасли, динамики ее количественного и качественного развития, потребностей в данной категории машин и вероятности появления новых технологических процессов и методов производства.

Конструктор должен хорошо знать специфику этой отрасли и условия эксплуатации машин. Лучшие конструкторы, по наблюдениям, это те, которые прошли школу производства и сочетают конструкторские способности со знанием условий эксплуатации объектов проектирования.

При выборе параметров машины необходимо учитывать конкретные условия ее применения. Нельзя, например, произвольно увеличивать производительность машины, не учитывая производительности смежного оборудования. В некоторых случаях машины с повышенной производительностью могут оказаться в эксплуатации недогруженными и будут больше простаивать, чем работать. Это снижает степень их использования и уменьшает экономический эффект.

При выборе параметров машины, основной схемы и типа конструкции в центре внимания должны быть факторы, определяющие экономическую эффективность машины: высокая полезная отдача, малые энергопотребление и расходы на обслуживание, низкая стоимость эксплуатации и длительный срок применения. Схему машины обычно выбирают путем параллельного анализа нескольких вариантов, которые подвергают тщательной сравнительной оценке со стороны конструктивной целесообразности, совершенства кинематической и силовой схем, стоимости изготовления, энергоемкости, расхода на рабочую силу, надежности действия, габаритов, металлоемкости и массы, технологичности, степени агрегатности, удобства обслуживания, сборки-разборки, осмотра, наладки, регулирования.

Следует выяснить, в какой мере схема обеспечивает возможность последующего развития, форсирования и совершенствования машины, образования на базе исходной модели производных машин и модификаций.

Не всегда удается даже при самых тщательных поисках найти решение, полностью отвечающее поставленным требованиям. Безупречный во всех отношениях вариант в конструкторской практике - редкая удача. Дело порой не в недостатке изобретательности, а в противоречивости выдвигаемых требований. В таких случаях приходится идти на компромиссное решение и поступаться некоторыми из них, не имеющими первостепенного значения в данных условиях применения машины. Нередко надо выбирать вариант, не столько имеющий наибольшие достоинства, сколько обладающий наименьшими недостатками.

После выбора схемы и основных показателей агрегата разрабатывают компоновку, на основе которой составляют эскизный, технический и рабочий проекты.

**Разработка вариантов** - дело не индивидуальной привычки или наклонностей конструктора, а закономерный метод проектирования, помогающий отыскать наиболее рациональное решение.

**Метод инверсии.** Среди приемов, облегчающих сложную работу конструирования, видное место занимает метод инверсии (обращение функций, форм и расположения деталей).

В узлах иногда бывает выгодным поменять детали ролями, например, ведущую деталь сделать ведомой, направляющую – направляемой, охватывающую – охватываемой, неподвижную - подвижной. Целесообразно иногда инвертировать формы деталей, например, наружный конус заменить внутренним, выпуклую сферическую поверхность – вогнутой. В других случаях оказывается выгодным переместить конструктивные элементы с одной детали на другую, например, шпонку с вала на ступицу или боек с рычага на толкатель.

Каждый раз конструкция при этом приобретает новые свойства. Дело конструктора – взвесить преимущества и недостатки исходного и инвертированного вариантов с учетом надежности, технологичности, удобства эксплуатации и выбрать наилучший из них. У опытного конструктора метод инвертирования является неотъемлемым инструментом мышления и значительно облегчает процесс поисков решений, в результате которых рождается рациональная конструкция.

**Компонование** обычно состоит из двух этапов: эскизного и рабочего. В эскизной компоновке разрабатывают основную схему и общую конструкцию агрегата (иногда несколько вариантов). На основании анализа эскизной компоновки составляют рабочую компоновку, уточняющую конструкцию агрегата и служащую исходным материалом для дальнейшего проектирования.

При компоновании важно уметь выделить главное из второстепенного и установить правильную последовательность разработки конструкции. Попытка скомпоновать одновременно все элементы конструкции является ошибкой, которая свойственна начинающим конструкторам. Получив задание, определяющее целевое назначение и параметры проектируемого агрегата, конструктор нередко начинает сразу вырисовывать конструкцию в целом во всех ее подробностях, с полным изображением конструктивных элементов, придавая компоновке такой вид, который должен иметь лишь сборочный чертеж конструкции в техническом или рабочем проекте. Конструировать так – значит почти наверняка обречь конструкцию на нерациональность. Получается механическое нанизывание конструктивных элементов и узлов, расположенных заведомо нецелесообразно.

Компоновку следует начинать с решения главных вопросов – выбора рациональных кинематической и силовой схем, правильных размеров и формы деталей, определения наиболее целесообразного взаимного их расположения. При компоновании надо идти от общего к частному, а не наоборот. Выяснение

подробностей конструкции на данном этапе не только бесполезно, но и вредно, так как отвлекает внимание конструктора от основных задач компонования и сбивает логический ход разработки конструкции.

Другое основное правило компонования – разработка вариантов, углубленный их анализ и выбор наиболее рационального. Конструктор не должен сразу задаваться направлением конструирования, выбирая или первый пришедший в голову тип конструкции или принимая за образец шаблонную конструкцию. На данном этапе проектирования нельзя поддаваться психологической инерции и оказываться во власти стереотипов. Вначале необходимо проработать все возможные решения и выбрать из них оптимальное для данных условий. Это трудоемкая процедура. Для ее выполнения следует предусматривать время.

Полная разработка вариантов необязательна. Обычно достаточно общих представлений или карандашных набросков от руки, чтобы получить представление о перспективности варианта и решить вопрос о целесообразности продолжения работы над ним.

В процессе компонования необходимо производить расчеты, хотя бы ориентировочные и приближенные. Основные детали конструкции должны быть рассчитаны на прочность и жесткость. Доверяться интуиции при выборе размеров и форм деталей нельзя. Правда, есть опытные конструкторы, которые почти безошибочно устанавливают размеры и сечения, обеспечивающие принятый в данной отрасли машиностроения уровень напряжений. Но это достоинство сомнительное. Копируя шаблонные формы и придерживаясь традиционного уровня напряжений, нельзя создать прогрессивные конструкции.

Неправильно всецело полагаться и на расчет. Во-первых, существующие методы расчета на прочность не учитывают ряда факторов, определяющих работоспособность конструкции. Во-вторых, есть детали, не поддающиеся расчету (например, сложные корпусные детали). В-третьих, необходимые размеры деталей зависят не только от прочности, но и от других факторов. Конструкция литых деталей определяется в первую очередь требованиями литейной технологии. Для механически обрабатываемых деталей следует учитывать сопротивляемость силам резания и придавать им необходимую жесткость. Термически обрабатываемые детали должны быть достаточно массивными во избежание коробления. Размеры деталей управления нужно выбирать с учетом удобства манипулирования.

Появившиеся в последнее время численные методы расчета, в том числе метод конечных элементов (МКЭ), позволяют выполнить расчеты на прочность и жесткость деталей практически любой формы.

Необходимое условие правильного конструирования – постоянно иметь в виду вопросы изготовления и с самого начала придавать деталям технологически целесообразные формы. Опытный конструктор, komponуя деталь, сразу делает ее технологичной; начинающий должен постоянно обращаться к консультации технологов.

Компоновку необходимо вести на основе нормальных размеров (диаметры посадочных поверхностей, размеры шпоночных и шлицевых соединений, диаметры резьб и т. д.). Особенно это важно при компоновании узлов с несколькими концентричными посадочными поверхностями, а также ступенчатых деталей, форма которых в значительной степени зависит от градации диаметров.

Одновременно следует добиваться максимальной унификации нормальных элементов. Элементы, неизбежные по конструкции главных деталей и узлов, рекомендуется использовать в остальных частях конструкции.

При компоновании должны быть учтены все условия, определяющие работоспособность агрегата, разработаны системы смазки, охлаждения, сборки-разборки, крепления- агрегата и присоединения к нему смежных деталей (приводных валов, коммуникаций, электропроводки); предусмотрены условия удобного обслуживания, осмотра и регулирования механизмов; выбраны материалы для основных деталей; продуманы способы повышения долговечности, увеличения износостойкости трущихся соединений, способы защиты от коррозии; исследованы возможности форсирования агрегата и определены его границы.

Не всегда компонование идет гладко. В процессе проектирования часто обнаруживают незамеченные в первоначальных прикидках недостатки, для устранения которых приходится возвращаться к ранее забракованным схемам или разрабатывать новые. Отдельные узлы не всегда получаются с первых попыток. Это не должно смущать конструктора. Приходится создавать "временные" конструкции и доводить их до необходимого конструктивного уровня в процессе дальнейшей работы. В таких случаях полезно по итальянской поговорке "dare al tempo il tempo" ("дать время времени"), т. е. сделать передышку, после которой в результате подсознательной работы мышления нередко возникают удачные решения, выводящие конструктора из тупика. После паузы конструктор смотрит на чертеж по-иному и видит недостатки, которые были допущены в период развития основной идеи конструкции.

Порой конструктор невольно утрачивает объективность, перестает видеть недостатки понравившегося ему варианта и возможности других вариантов. В таких случаях как нельзя более к месту оказывается беспристрастное мнение посторонних людей, указание старших, совет товарищей по работе, даже придирчивая критика. Более того, чем острее критика, тем большую пользу извлекает из нее конструктор.

На всех стадиях компонования следует прибегать к конструкции производителей и эксплуатационников. Чем шире поставлено обсуждение компоновки и чем внимательнее конструктор прислушивается к полезным указаниям, тем лучше становится компоновка и совершеннее получается конструкция.

Не следует жалеть времени и сил на проработку проекта. Стоимость проектных работ составляет незначительную долю стоимости выпуска машин (за исключением машин единичного и мелкосерийного производства). Более

глубокая проработка конструкции в конечном счете дает выигрыш в стоимости, сроках изготовления и доводки, качестве и экономической эффективности машины.

Техника компонования. Компонование лучше всего вести в масштабе 1:1, если это допускают габаритные размеры проектируемого объекта. При этом легче выбрать нужные размеры и сечения деталей, составить представление о соразмерности частей конструкции, прочности и жесткости деталей и конструкции в целом. Вместе с тем такой масштаб избавляет от необходимости нанесения большого числа размеров и облегчает последующие процессы проектирования в частности, детализовку. Размеры деталей в этом случае можно брать непосредственно с чертежа.

Вычерчивание в уменьшенном масштабе, особенно при сокращениях, превышающих 1: 2, сильно затрудняет процесс компонования, искажая пропорции и лишая чертеж наглядности. Если размеры объекта не позволяют применить масштаб 1:1, то отдельные сборочные единицы и агрегаты объекта следует во всяком случае компоновать в натуральную величину.

Компоновку простейших объектов можно разрабатывать в одной проекции, в которой конструкция выясняется наиболее полно. Формы конструкции в поперечном направлении восполняются пространственным воображением.

При компоновке более сложных объектов указанный способ может вызвать существенные ошибки; в таких случаях обязательна разработка во всех необходимых видах, разрезах и сечениях.

Техника выполнения компоновочных чертежей представляет собой процесс непрерывных поисков, проб, прикидок, разработки вариантов, их сопоставления и отбраковки негодных. Чертить следует со слабым нажимом карандаша, потому что при компоновании переделки следуют одна за другой, здесь работает больше резинка, чем карандаш. Сечения можно не штриховать, а если и штриховать, то только от руки. Не следует тратить время, на вырисовывание подробностей. Типовые детали и узлы (крепёжные детали, уплотнения, пружины, подшипники качения) целесообразно изображать упрощенно.

Обводку чертежа, штриховку, раскрытие условностей изображения и подрисовывание мелких деталей относят на окончательные стадии компонования, при подготовке компоновочного чертежа к обсуждению.

Существует школа компонования от руки. Конструкцию вырисовывают карандашом на миллиметровой бумаге. Автор неизменно придерживается этого способа и считает, что такое компонование имеет большие преимущества по производительности, гибкости, легкости внесения поправок. Оно почти полностью исключает возможности ошибок в увязочных размерах и обеспечивает легкое чтение всех размеров деталей. При этом способе особенно хорошо удается придавать деталям плавные очертания, характерные для современного конструирования.

Для конструктора, обладающего рисовальными способностями, это наилучший способ компонования. Есть конструкторы, из-под рук которых в

течение нескольких часов выходят выполненные этим методом вполне законченные и отработанные компоновки, которые можно передавать на деталировку.

### **Методы активизации технического творчества**

Качество конструкции создаваемой машины определяется квалификацией, технической инициативой и творческими способностями конструктора, степенью использования отечественного и зарубежного опыта проектирования, производства, эксплуатации и исследования машин аналогичного назначения.

Особенно важно творчески выполнить первые этапы проектирования - разработать технологический процесс, схему и компоновку машины, предложить оригинальные и эффективные технические решения.

Для облегчения поиска новых технических решений используют различные эвристические приемы, организующие и активизирующие знания конструктора и его практический опыт. Широко применяют такие приемы, как аналогия, инверсия, компенсация и др.

**Аналогия** некоторых особенностей поставленной задачи с известными решениями других задач часто способствует появлению новых идей. Поэтому при проектировании полезно изучать не только информацию, относящуюся к теме проекта, но и приемы решения аналогичных задач в других отраслях техники.

**Инверсия** - прием обращения функций, форм и расположения деталей. Например, в узле поменять детали ролями - ведущую сделать ведомой, направляющую - направляемой. В каждом таком изменении конструкция приобретает новые свойства и конструктор должен выбрать наиболее удачный вариант.

**Компенсация** недопустимого процесса - один из наиболее широко применяемых приемов устранения противоречий в технических задачах. Например, отклонения размеров обрабатываемых деталей вследствие износа режущего инструмента можно устранить автоматической подналадкой его положения.

Успешному решению творческих задач могут способствовать некоторые методы, разработанные для этой цели. К ним относится, например, так называемый метод «Мозгового штурма», предложенный А. Осборном в 40-х гг. в США. По этому методу конкретную техническую задачу решает группа из 6... 10 специалистов, которую делят на две части: «Генерирования идей» и «Оценки идей». В первую подгруппу привлекают широко эрудированных, склонных к фантазии специалистов, во вторую - специалистов с критическим складом ума. Благодаря тому, что группа людей всегда обладает большим суммарным знанием и большим воображением, чем любой из ее членов, этот метод, как показал опыт его применения, выявил свою эффективность только при решении сравнительно несложных задач.

При «морфологическом анализе», предложенном швейцарским ученым Фр. Цвикки, строят многомерные таблицы основных характеристик рассматриваемого технического объекта. Эти таблицы позволяют получить

очень большое число возможных сочетаний характеристик объекта, включая и варианты, которые без такого подхода вряд ли были бы рассмотрены. Из этих вариантов может быть выбран искомый оптимальный.

В нашей стране Г. С. Альтшуллер на основании анализа большого количества авторских свидетельств и патентов на изобретения разработал «Теорию решения изобретательских задач», в которой предложены приемы, позволяющие выявлять и устранять физические противоречия, содержащиеся в изобретательских задачах, средства активизации воображения и преодоления психологической инерции. В последние годы разрабатываются также эвристические методы поиска новых технических решений с помощью ЭВМ.

Следует отметить, что с помощью ЭВМ на основании однажды принятых исходных данных нельзя получить качественно новые высокоэффективные технические решения, так как эти формализованные исходные данные не учитывают некоторые важные, иногда решающие, критерии для оценки конструкции, имеющие лишь качественный характер, которые трудно формализовать (например, соображения унификации, возможность получения комплектующих частей и др.). Кроме того, использование в расчетах данных о прототипах (с учетом прогноза развития их конструкции) позволяет лишь создать конструкцию, подобную уже существующей.

Очевидно, применение ЭВМ только тогда эффективно, когда принятые при составлении программ математические модели процессов работы проектируемых систем с достаточной точностью соответствуют процессам работы реальных систем.

Целесообразен поиск новых технических решений с помощью ЭВМ в режиме диалога «человек - ЭВМ», при котором объединяются возможности ЭВМ быстро и точно выполнять математические операции с творческими способностями человека, его интуицией, способностью использования аналогий, ассоциаций, предвидения. После каждого этапа работы ЭВМ в автоматическом режиме конструктор анализирует полученные результаты, сопоставляет их с имеющимися экспериментальными данными, варьирует параметры системы и, в случае необходимости, корректирует саму программу — уточняет принятую расчетную схему.

Наилучшее решение, обеспечивающее наибольшую эффективность работы всей машины, может быть найдено только сравнением различных вариантов выполнения механизма и найденных для каждого из них оптимальных параметров и законов движения.

Важными условиями успешного решения сложных технических задач являются качества разработчика: 1) творческие способности, трудолюбие и настойчивость; 2) объективный подход к разрабатываемым задачам, умение не оставаться в плену предубеждений и отбрасывать выдвинутую ранее идею, если факты противоречат ей или если предложения коллег по работе дают лучшие результаты; 3) готовность преодолевать трудности ради достижения высокой эффективности результатов технической разработки.

Эффективным методом решения сложных научно-технических проблем является параллельная работа над аналогичными проблемами различных

коллективов. Это дает разносторонний подход к их решению и создает условия творческого соревнования коллективов.

## 12 СОЕДИНЕНИЯ, ПЕРЕДАЧИ, СОРТАМЕНТ. ОСНОВЫ РАСЧЕТА

### Сортамент крепежных деталей

Все машины и механизмы состоят из деталей и сборочных единиц.

Деталь – это изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями.

Детали и сборочные единицы связаны между собой тем или иным способом. Эти связи можно разделить на подвижные (шарниры, подшипники, зацепления) и неподвижные (резбовые, сварные, шпоночные и др.)

Крепежная деталь – это деталь, имеющая резьбу. К основным крепежным деталям относятся: болт (винт), гайка, шпилька.

Резьба представляет собой чередование выступов и впадин, расположенных по винтовой линии, на внешней или внутренней цилиндрической (конической) поверхности детали.

В зависимости от формы канавок резьба бывает метрическая, трубная, трапецеидальная, прямоугольная, упорная, круглая и др.

В качестве крепежной резьбы наиболее распространена метрическая резьба (рис. 12.1)

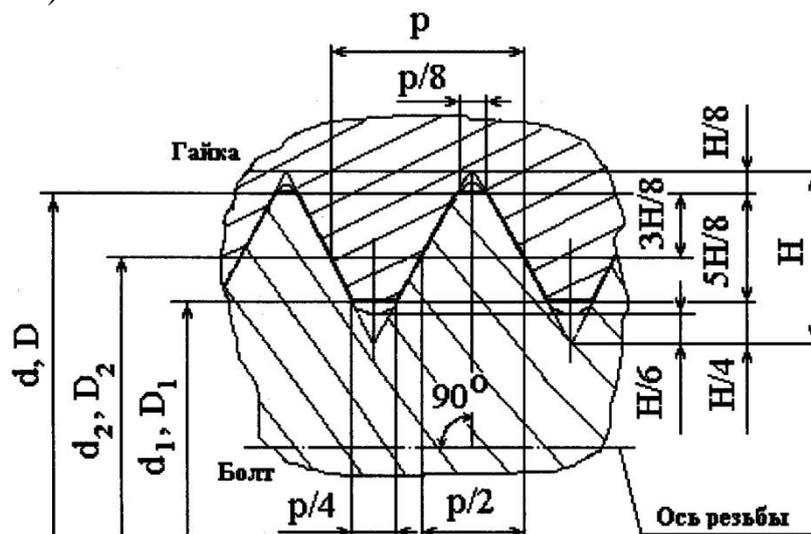


Рисунок 12.1 – Профиль и геометрические параметры метрической резьбы по ГОСТ 9150-81:  $d$  и  $D$  – наружные диаметры резьбы болта и гайки;  $d_2$  и  $D_2$  – средние диаметры резьбы болта и гайки;  $d_1$  и  $D_1$  – внутренние диаметры резьбы болта и гайки;  $p$  – шаг резьбы

Резьбовое соединение — разъёмное соединение деталей машин при помощи винтовой или спиральной поверхности (резьбы). Это соединение наиболее распространено из-за его многочисленных достоинств.

В зависимости от входящих в состав резьбовых соединений крепежных деталей различают следующие виды соединений:

- 1) болтовые соединения с зазором (рис. 12.2);
- 2) болтовые соединения без зазора (рис. 12.3);
- 3) винтовые соединения (рис. 12.4);
- 4) шпилечные соединения (рис. 12.5);

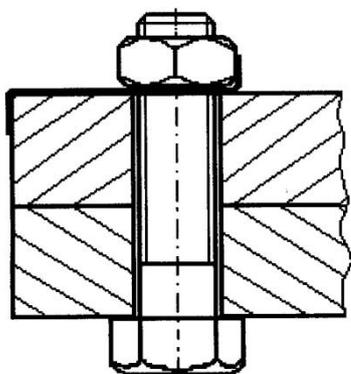


Рисунок 12.2-Болтовое соединение с зазором

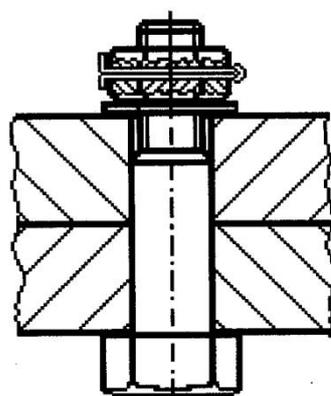


Рисунок 12.3 –Болтовое соединение без зазора

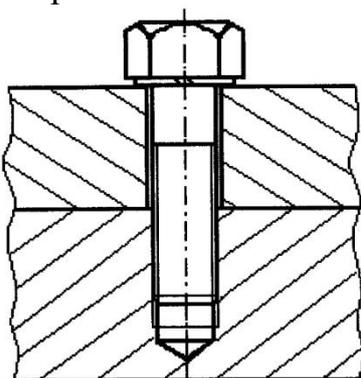


Рисунок 12.4-Винтовое соединение

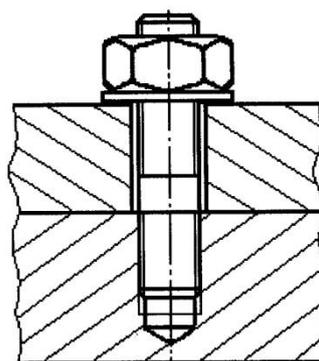


Рисунок 12.5-Шпилечное соединение

Под действием вибраций и динамических нагрузок в резьбовых соединениях может происходить явление самоотвинчивания, т. е. самопроизвольное осевое смещение гайки относительно болта вплоть до их полного разъединения. Для надежной осевой фиксации гайки относительно болта применяют различные способы стопорения резьбовых соединений:

- использование стопорных шайб с носком и лапками;
- использование шплинтов;
- использование пружинных стопорных шайб;
- использование контргаяк и др.

### **Резьбовые соединения**

Резьбовые соединения деталей машин относятся к разъемным соединениям. Они получили наибольшее распространение вследствие своей

универсальности, простоты изготовления, надежности, удобства сборки и разборки, полной взаимозаменяемости.

*Профиль резьбы* – контур сечения резьбы в плоскости, проходящей через ось основной поверхности. Профиль резьбы определяется формой сечения витков в осевой плоскости.

По форме основной поверхности различают цилиндрические и конические резьбы. Наиболее распространена цилиндрическая резьба. Коническую резьбу применяют для плотных соединений труб, масленок, пробок и т. п.

По форме профиля различают треугольные (рис. 12.6, а), прямоугольные (рис. 12.6, д), трапецидальные (рис. 12.6, в) и круглые (рис. 12.6, е) резьбы.

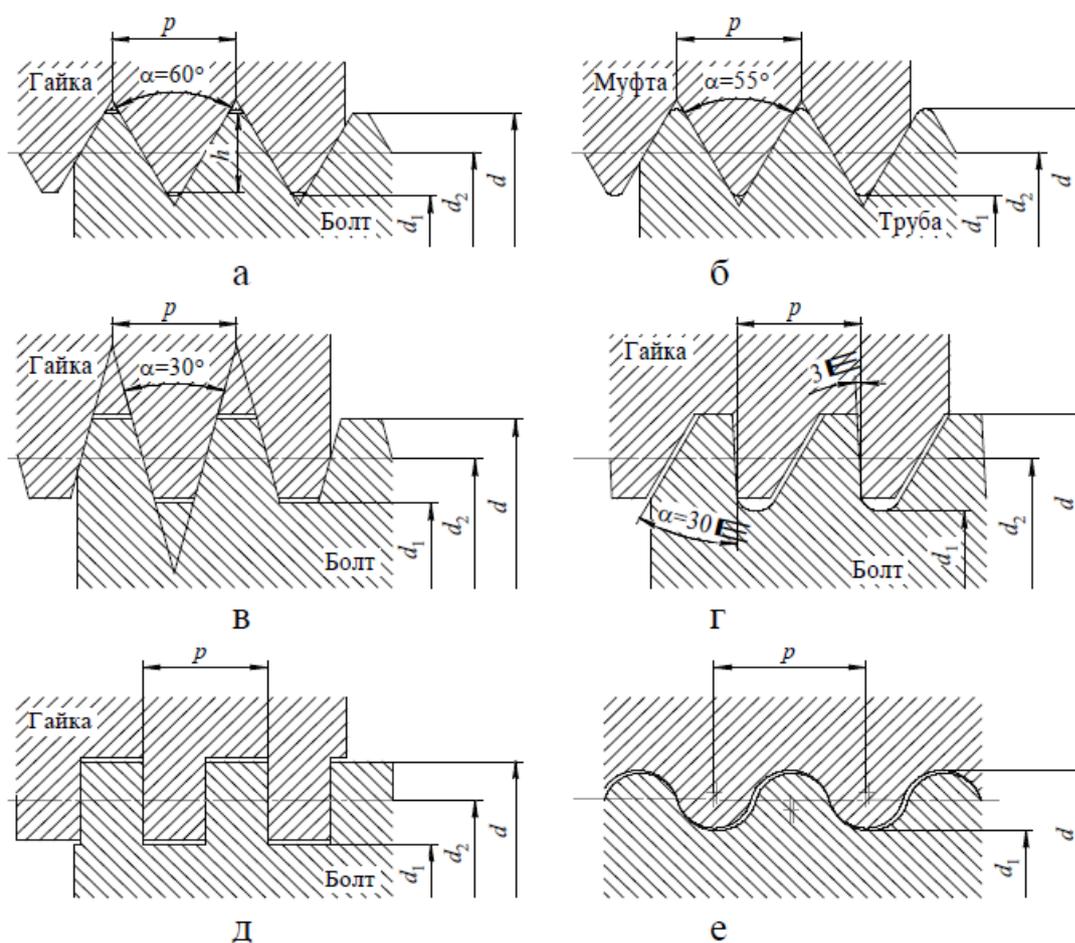


Рисунок 12.6-Основные типы резьбы: а-треугольная; б-трубная; в-трапецидальная; г-упорная; д-прямоугольная; е-круглая

По направлению винтовой линии различают правую и левую резьбы. У правой резьбы винтовая линия идет слева направо и вверх, у левой – справа налево и вверх. Наиболее распространена правая резьба. Левую резьбу применяют только в специальных случаях.

По числу заходов различают однозаходную, двухзаходную и четырехзаходную резьбы. Все крепежные резьбы однозаходные.

Многозаходные резьбы применяются преимущественно в винтовых механизмах.

*Геометрические параметры резьбы* (рис. 12.6): наружный диаметр  $d$  (номинальный), внутренний диаметр  $d_1$  (используется в прочностных расчетах), средний диаметр  $d_2$  (диаметр воображаемого цилиндра, образующая которого пересекает резьбу в таком месте, где ширина выступа равна ширине впадины (используется для геометрических расчетов)), рабочая высота профиля  $h$ , по которой соприкасаются боковые стороны резьбы болта и гайки, шаг  $p$ , ход, угол профиля  $\alpha$ . Все геометрические параметры резьбы и допуски на них стандартизованы.

*Основные типы резьбы.* По назначению различают резьбы крепежные (метрическая с треугольным профилем, трубная, круглая) и резьбы для винтовых механизмов или ходовые (прямоугольная, трапецеидальная симметричная, трапецеидальная несимметричная-упорная).

Выход из строя болтов и винтов происходит из-за разрыва их стержня по резьбе или по переходному сечению у головки, либо в результате разрушения резьбы, либо из-за разрушения головки. Шпильки выбывают из строя вследствие разрыва их стержня по резьбе, повреждения или разрушения резьбы.

Размеры стандартных резьбовых деталей отвечают условию равнопрочности по основному критерию работоспособности – прочности нарезанной части (резьбы) их стержня.

Из расчета стержня на прочность определяют номинальный диаметр резьбы, как правило, – внутренний  $d_1$ . Длину резьбовых деталей принимают в зависимости от толщины соединяемых деталей. Остальные размеры принимают в зависимости от диаметра резьбы по соответствующим стандартам.

Рассмотрим основные случаи расчета одиночной резьбовой детали при статическом нагружении (при первых – осевая растягивающая сила; два последних – поперечная сила).

Первый случай. Болт нагружен осевой растягивающей силой; предварительная и последующая затяжка его отсутствует (соединение ненапряженное) (рис. 12.7).

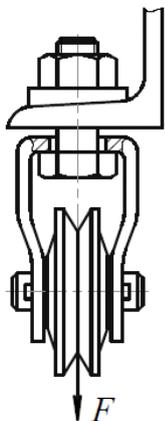


Рисунок 12.7- Схема расчета резьбового соединения (случай 1)

К болтам этой категории обычно относятся те из них, которые находятся под действием сил тяжести (например, резьбовой конец грузового крюка грузоподъемной машины). Условие прочности проверочного расчета болта в этом случае:

$$\sigma_p = \frac{F}{(\pi d_1^2 / 4)} \leq [\sigma_p]$$

где  $\sigma_p$  – расчетное напряжение растяжения в поперечном сечении нарезанной части болта, МПа;

$F$  – сила, растягивающая болт, Н;

$d_1$  – внутренний диаметр резьбы болта, мм ;

$[\sigma_p]$  – допускаемое напряжение на растяжение для болта, МПа.

Напряжение  $[\sigma_p]$  рассчитывается по формуле:

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{[S]}$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала болта, МПа;

$[S]$  – допускаемый коэффициент запаса прочности, для болтов из углеродистых сталей при статической нагрузке принимают  $[S] = 1,3 \dots 2,5$ .

Второй случай. Болт испытывает растяжение и кручение, обусловленное его затяжкой.

Болт, одновременно работающий на растяжение и кручение, рассчитывают только на растяжение (случай 1) по допускаемому напряжению на растяжение, уменьшенному в 1,3 раза или по расчетной силе, увеличенной по сравнению с силой, растягивающей болт, в 1,3 раза.

Проектный расчет болта в этом случае производится по формуле:

$$d_1 = 1,3 \sqrt{\frac{F}{[\sigma_p]}}$$

Это решение применимо для болтов, нагруженных растягивающими силами и испытывающих кручение от подтягивания гаек под нагрузкой, например, в винтовых стяжках.

Третий случай. Предварительно затянутый болт дополнительно нагружен внешней осевой растягивающей силой (рис. 12.8).

Этот случай – самый распространенный, обеспечивающий плотность соединения и отсутствие смещений деталей стыка (болты фланцев, крышек, фундаментов и т. п.)

После предварительной затяжки болта он растягивается, а детали стыка сжимаются.

При действии на соединение внешней силы  $F$  только часть ее  $\chi F$  дополнительно нагружает болт, а остальная часть  $(1 - \chi)F$  разгружает детали стыка от сжатия.

Коэффициент  $\chi$ , учитывающий долю внешней нагрузки на болт, – коэффициент внешней (основной) нагрузки. При отсутствии упругих прокладок  $\chi = 0,2 \dots 0,3$ .

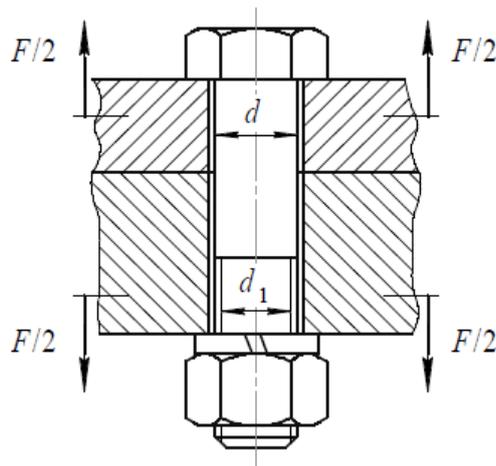


Рисунок 12.8. Схема расчета резьбового соединения (случай 3)

Условие нераскрытия стыка определяется формулой:

$$F_3 = k(1 - \chi)F, \text{ Н}$$

где  $F_3$  – усилие затяжки болта, Н;

$k$  – коэффициент затяжки болта. При постоянной внешней нагрузке без упругих прокладок в стыке  $k = 1,25 \dots 2$ ; при переменной –  $k = 2 \dots 4$ .

Четвертый случай. Болт, установленный в отверстие с зазором, нагружен поперечной силой (рис. 12.9).

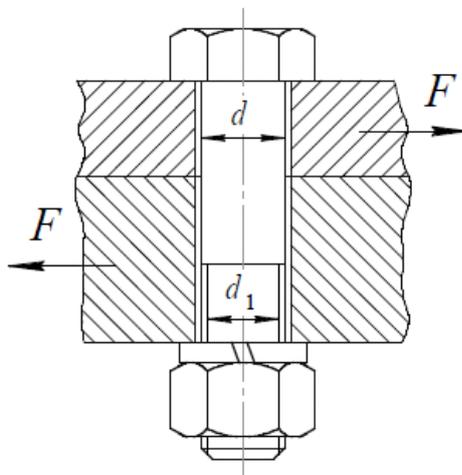


Рисунок 12.9- Схема расчета резьбового соединения (случай 4)

В этом случае болт затягивается такой силой затяжки  $F_3$ , чтобы сила трения  $F_T$  в стыке соединяемых деталей уравновешивала бы внешнюю силу  $F$ , то есть:

$$F_T = f F_3 = F,$$

где  $f$  – коэффициент трения между соединяемыми деталями, который для стальных и чугунных деталей принимается

$$f = 0,15 \dots 0,2.$$

Проектный расчет болта в этом случае производится с учетом 20% запаса от сдвига деталей и с учетом крутящего момента.

Пятый случай. Болт, установленный в отверстие из-под развертки без зазора (призонный), нагружен поперечной силой  $F$ .

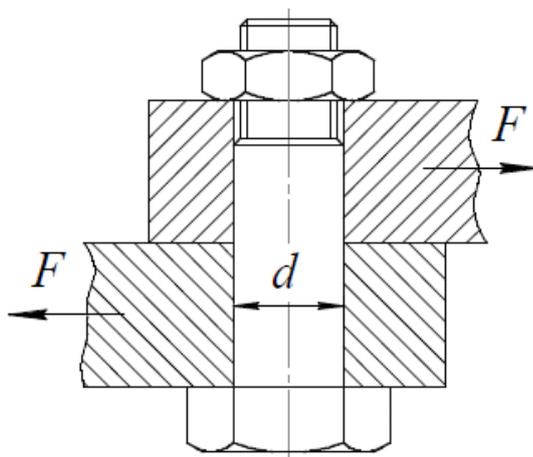


Рисунок 12.10- Схема расчета резьбового соединения (случай 5)

В этом случае болт рассчитывают на срез; проверочное условие прочности болта:

$$\tau_c = \frac{F}{(\pi d^2 / 4)} \leq [\tau_c]$$

где  $\tau_c$  – расчетное напряжение среза болта, МПа;

$F$  – поперечная внешняя сила, срезающая болт, Н;

$d$  – диаметр стержня болта в опасном сечении, мм;

$[\tau_c]$  – допускаемое напряжение на срез болта.  $[\tau_c]$  определяется как  $0,4\sigma_T$  для статических нагрузок.

### Многоступенчатый привод

Окружная скорость ведущего звена

$$v_1 = \omega_1 D_1 / 2$$

Окружная скорость ведомого звена

$$v_2 = \omega_2 D_2 / 2$$

Окружные скорости обоих звеньев при отсутствии проскальзывания должны быть равны  $v_1 = v_2$  .т.е.  $\omega_1 D_1 / 2 = \omega_2 D_2 / 2$  или  $\pi D_1 n_1 / 60 = \pi D_2 n_2 / 60$

Отсюда  $\omega_1 / \omega_2 = n_1 / n_2 = D_2 / D_1$

где  $\omega_1$  ,  $\omega_2$  и  $n_1$  ,  $n_2$  - угловая скорость (рад/с) и частота вращения, мин<sup>-1</sup> ведущего и ведомого звеньев;  $D_1$  и  $D_2$  – диаметры ведущего и ведомого звеньев.

Отношение угловой скорости ведущего звена к угловой скорости ведомого или частоты вращения ведущего звена к ведомому называется передаточным отношением.

$$i = \omega_1 / \omega_2 = n_1 / n_2 = D_2 / D_1$$

Если мощность  $P_1$  на ведущем валу, то мощность на ведомом валу

$$P_2 = P_1 \eta$$

Где  $\eta$  – к.п.д. передачи.

Известно, что мощность  $P = M\omega$ ,

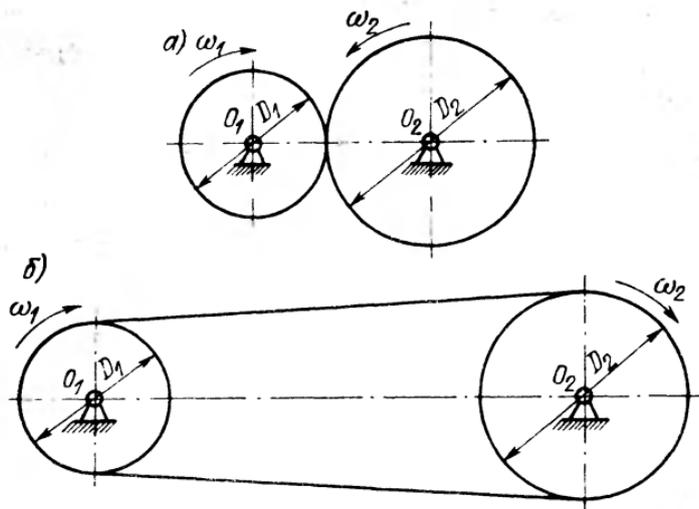


Рисунок 12.11-Схема показателей привода

где  $M$ - вращающий момент,  $\omega$  –угловая скорость.

$$M_2 \omega_2 = M_1 \omega_1 \eta$$

### Фрикционные передачи

В фрикционной передаче движение от ведущего катка к ведомому передается силами трения, которые возникают в месте контакта двух прижатых друг к другу катков.

Условие работоспособности передачи

$$T_{\text{тр}} > P,$$

где  $P$  - передаваемое окружное усилие;

$T_{\text{тр}}$  -сила трения в месте контакта катков.

В зависимости от назначения различают фрикционные передачи 1) с не регулируемым передаточным числом; 2) с бесступенчатым (плавным) регулированием передаточного числа. Такие передачи называют вариаторами.

В зависимости от взаимного расположения осей валов фрикционные передачи бывают: 1) цилиндрические при параллельных осях; 2) конические при пересекающихся осях; 3) лобовые при скрещивающихся осях.

В зависимости от условий работы фрикционные передачи подразделяют на 1) открытые — работают всухую и 2) закрытые — работают в масляной ванне.

В открытых фрикционных передачах коэффициент трения  $f$  выше, прижимное усилие катков  $T$  меньше. В закрытых фрикционных передачах масляная ванна обеспечивает хороший отвод тепла, делает скольжение менее опасным, увеличивает долговечность передачи.

В передаче с цилиндрическими катками

$$i = \omega_1 / \omega_2 = D_2 / [D_1(1 - \varepsilon)] \approx D_2 / D_1$$

где  $\varepsilon$  - коэффициент скольжения.  $\varepsilon = 0,005$  —  $0,03$ .

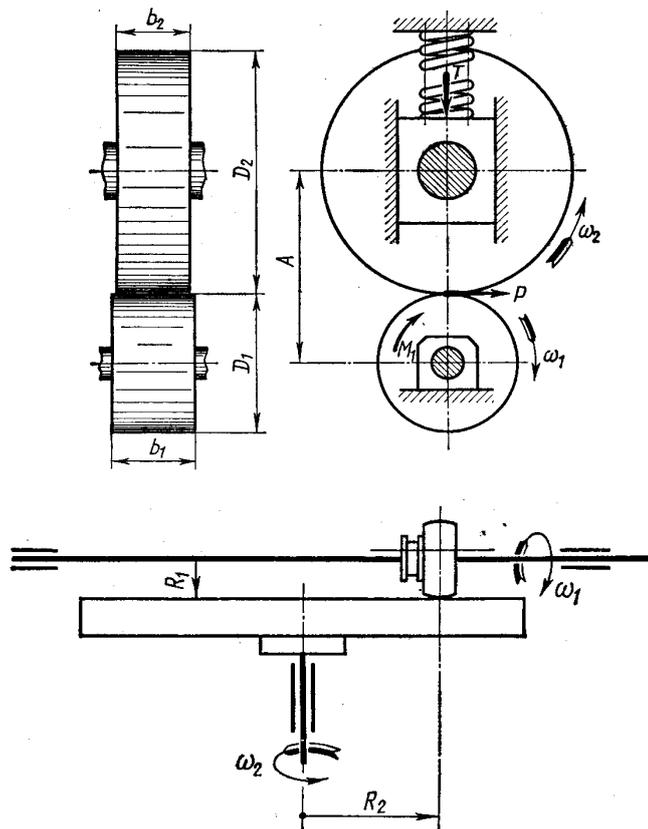


Рисунок 12.12 - Фрикционные передачи

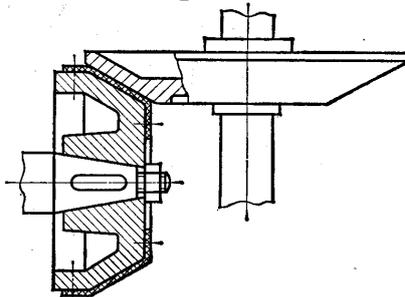


Рисунок 12.13- Коническая фрикционная передача

В связи с проскальзыванием ведомого катка относительно ведущего угловая скорость ведомого вала  $\omega_2$ , несколько меньше теоретической скорости  $\omega_2'$ , подсчитанной без учета скольжения. Величина скольжения оценивается коэффициентом скольжения  $\varepsilon = (\omega_2' - \omega_2) / \omega_2'$ .

При работе фрикционных передач должно соблюдаться условие  $T_{тр} > P$ , где сила трения  $T_{тр} = fT$ .

Прижимное усилие

$$T = K \frac{M_1(1+i)}{fA} = K \frac{P}{f}$$

где  $K$ - коэффициент нагрузки (запас сцепления), вводится для предупреждения пробуксовывания катков от перегрузок, в частности, в период пуска.

Последовательность расчета:

1. Выбирают материалы катков в зависимости от условий работы и для менее прочного материала принимают допустимое напряжение  $[\sigma]_K$  или допустимую нагрузку на единицу длины контактной линии  $[q]$ .

2. Определяют требуемое межосевое расстояние передачи  $A$  из условия контактной прочности или из условия ограничения погонной нагрузки.

3. Определяют геометрические размеры катков, уточняя фактическое межосевое расстояние  $A'$ .

5. Полученные размеры передачи проверяют по контактным напряжениям  $\sigma_K$  или по нагрузке на единицу длины контактной линии  $q$ , сравнивая их с допустимой величиной  $[\sigma]_K$  или  $[q]$ . Проверка нужна не только при уменьшении размеров, полученных при проектном расчете, но и для выявления вычислительных ошибок.

Разрешается недогрузка передачи до 10% и перегрузка до 5%.

### **Расчет зубчатых передач на изгиб и контактную прочность**

Для зубчатых передач, работающих в жидком смазочном материале и в закрытом корпусе, расчет на прочность сводится к определению их работоспособности по следующим критериям: 1) контактной выносливости; 2) выносливости при изгибе; 3) контактной прочности при действии пиковой нагрузки; 4) изгибной прочности при действии пикового момента. Запишем условия прочности для рассматриваемых критериев.

1. Контактная выносливость - это способность активных поверхностей зубьев обеспечить требуемую безопасность против прогрессирующего усталостного выкрашивания. Условие прочности имеет вид:

$$\sigma_H \leq [\sigma]_H$$

где  $\sigma_H$  - контактное напряжение в полюсе зацепления;  $[\sigma]_H$  - допустимое контактное напряжение (здесь и далее индекс  $H$  относится к контактной, а  $F$  - к изгибной прочности).

2. Выносливость при изгибе - это способность зубьев обеспечить требуемую безопасность против усталостного излома зуба. Условие прочности:

$$\sigma_F \leq [\sigma]_F$$

где  $\sigma_F$  - напряжение изгиба в опасном сечении;  $[\sigma]_F$  - допустимое напряжение изгиба зуба.

3. Контактная прочность при действии пикового момента - это способность предотвращения остаточной деформации или хрупкого разрушения поверхностного слоя. Условие прочности:

$$\sigma_{H \max} \leq [\sigma]_{H \max}$$

где  $\sigma_{H \max}$  - контактные напряжения при пиковой (максимальной) нагрузке;  $[\sigma]_{H \max}$  - допустимое контактное напряжение при пиковой (максимальной) нагрузке.

4. Изгибная прочность при действии пикового (максимального) момента - это способность предотвращения остаточной объемной деформации или хрупкого излома зуба. Условие прочности:

$$\sigma_{F \max} \leq [\sigma]_{F \max}$$

где  $\sigma_{F \max}$  - напряжение изгиба при пиковой (максимальной) нагрузке;  $[\sigma]_{F \max}$  допускаемое напряжение изгиба зуба при пиковой (максимальной) нагрузке.

### **Особенности проектирования конического редуктора**

1. В конических и цилиндрико-конических редукторах применяются конические зубчатые передачи, позволяющие передавать вращение между двумя непараллельными валами. Причем конические зубчатые передачи с прямым, косым и криволинейным зубом позволяют передавать вращение только между пересекающимися под любым углом

2. Прямозубые конические передачи могут применяться при малых окружных скоростях (до 3 м/сек) и при числе оборотов в минуту не более 1000, поскольку неточности в изготовлении тихоходных колес при таких скоростях не вызывают значительного шума и динамических нагрузок при работе. Кроме того, прямозубые конические колеса применяются в тех случаях, когда нежелательно изменение направления осевого усилия при реверсировании, что имеет место в передачах с криволинейным зубом. Прямозубые конические передачи обеспечивают передаточное отношение до 3.

3. При окружных скоростях, больших 3 м/сек, в конических редукторах применяют зубчатые передачи с косыми или криволинейными зубьями, которые благодаря постепенному входу в зацепление и меньшим изменением величины деформации зубьев в процессе зацепления работают с меньшим шумом и меньшими динамическими нагрузками. Кроме того, зубчатые колеса с косыми или криволинейными зубьями лучше работают на изгиб, чем прямозубые. Однако для полного контакта зубьев этих передач требуется прилегание зубьев не только по их ширине, но и по высоте, что вызывает повышенные требования к изготовлению косозубых передач и колес с криволинейными зубьями. Благодаря своим преимуществам такие передачи могут применяться при передаточных отношениях до 5 и даже выше.

4. Конические зубчатые колеса с косыми зубьями могут работать с окружной скоростью до 12 м/сек, а колеса с криволинейными зубьями — до 35—40 м/сек. Наибольшее распространение получили передачи с криволинейными зубьями, нарезанными по спирали, эвольвенте (паллоидные) или окружности (круговые).

5. В конических колесах со спиральным зубом, очерченным по логарифмической спирали (или эписиноиде), углы наклона спирали в разных точках ее равны (рис. 12.14,а). Паллоидные колеса характеризуются переменным углом наклона зуба, возрастающим к внешней окружности (рис. 12.14 в). Угол наклона зуба в круговых зубьях изменяется в пределах  $25 / 45^\circ$  (рис. 12.14,б).

6. Конические колеса с шевронными зубьями не нашли применения из-за сложности изготовления и трудности регулировки, хотя технически возможно изготовление подобных передач.

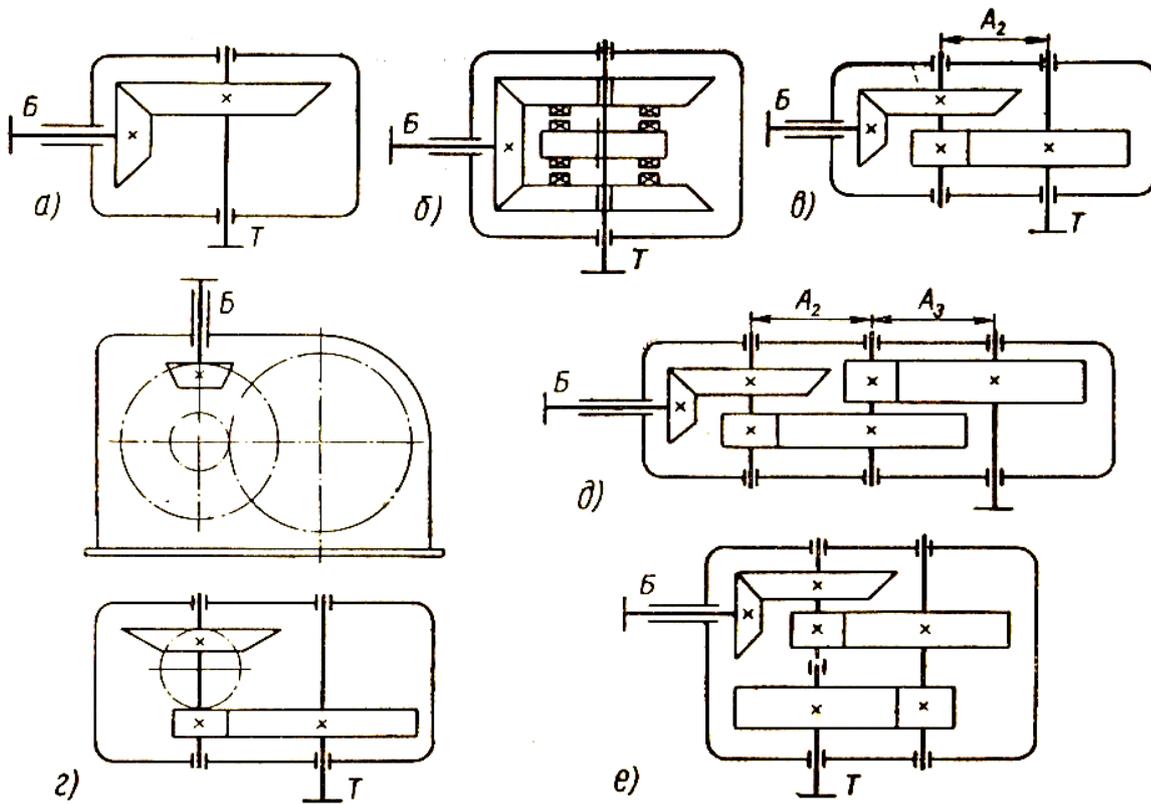


Рисунок 12.14 - Конические редукторы

7. По форме зуба к шевронным коническим колесам приближаются колеса с круговым зубом с нулевым средним углом наклона, так называемые зерол (рис. 12.14,г). Колеса с зубьями типа зерол имеют меньшие осевые усилия, направление которых не меняется при изменении вращения колес. Это позволяет применять в подшипниковых узлах таких передач облегченные упорные подшипники. На рис. 12.14,а, б, в, г, представлены развертки начального конуса.

8. Гипоидные зубчатые колеса позволяют передавать вращение между скрещающимися валами, что определило их применение в некоторых машинах (чаще в автомобилях). Шестерня и колесо гипоидной передачи имеют разные углы наклона зубьев и зацепляются при вращении колес в прямом и обратном направлениях с различными углами зацепления. При выборе направления спирали колеса и шестерни рекомендуется придерживаться правила: если со стороны вершины начального конуса колеса шестерня будет находиться слева вверху или справа внизу, то следует брать шестерню левого хода и колесо правого хода, если же шестерня будет находиться слева внизу или справа вверху, то следует брать шестерню правого хода и колесо левого хода.

9. Гипоидные передачи более долговечны, имеют большую плавность зацепления и работают с меньшим шумом, чем конические колеса с круговым зубом.

10. Благодаря смещению валов шестерни и колеса в гипоидной передаче валы можно устанавливать на двух подшипниках, расположенных по обе

стороны колес, что улучшает работу конической передачи. Однако в гипоидной передаче благодаря скольжению зубьев не только в поперечном, но и в продольном направлении значительно повышается температура и ухудшаются гидродинамические условия образования масляной пленки. Это приводит к заеданию колес особенно при большом модуле и малой твердости зубьев передачи. Поэтому для таких передач требуется применение специальной противозадирной смазки с прочной масляной пленкой.

11. Конические колеса с криволинейными зубьями и гипоидные колеса могут иметь различное направление спирали. Зубчатое колесо называется правоспиральным, если со стороны вершины конуса зубья наклонены наружу в сторону движения часовой стрелки, в противном случае колесо называется левоспиральным. Зубчатая пара называется правой или левой в зависимости от направления спирали конической шестерни.

12. При различном направлении вращения зубчатых колес будет меняться направление осевой реакции, что необходимо учитывать при конструировании подшипниковых узлов реверсивных передач. При неревверсивных передачах направление спирали следует выбирать таким, чтобы осевая реакция была направлена в сторону от вершин начального конуса. При этом осевое смещение колес будет приводить к увеличению зазоров в зацеплении, и заклинивание передач становится невозможным.

13. Допуски на конические зубчатые передачи устанавливает ГОСТ 3058-54. Стандарты охватывают колеса с прямыми, косыми и криволинейными зубьями с диаметрами делительной окружности до 2000 мм и модулями от 1 до 30 мм.

14. Стандарты распространяются на зубчатые передачи с осями, пересекающимися под любым углом. Установлено 12 степеней точности, причем допуски и отклонения указаны только для 5—11-й степеней. Для первых четырех степеней точности допуски не предусмотрены, поскольку в настоящее время невозможно изготовить колеса точнее 5-й степени.

15. В зависимости от ширины зубьев конические редукторы могут выполняться узкими и широкими. В узких редукторах ширина зубьев принимается равной 0,3 от длины образующей начального конуса ( $B = 0,3 L$ ).

16. Иногда в тяжелых редукторах и при невысокой точности изготовления и монтажа передачи принимают  $B = 0,25 L$ . Узкие редукторы применяются при передаточных отношениях 3—5, причем число зубьев шестерни рекомендуется брать в пределах 20—23. В широких редукторах ширина зубьев принимается  $B = 0,35 L$ . Эти редукторы рекомендуется применять при передаточных отношениях до 2,5 и при числе зубьев шестерни 25—28.

17. Одноступенчатые конические редукторы, выполненные в виде отдельных узлов, применяются сравнительно редко. Основное распространение получили комбинированные двух-, трех- и более ступенчатые цилиндрико-конические редукторы. Цилиндрические передачи могут быть любого типа с прямыми либо косыми зубьями.

18. Трехступенчатые коническо-цилиндрические редукторы могут применяться при общих передаточных числах до 315. В конических и

цилиндро-конических редукторах ведомый и ведущий валы могут быть расположены горизонтально и вертикально. Редукторы могут быть выполнены по развернутой либо по соосной схеме.

### Особенности червячной передачи

Червячные передачи относят к передачам со скрещивающимися осями под углом  $90^\circ$ . Ведущее звено – червяк – представляет цилиндрический или глобоидный винт. Ведомое звено – червячное колесо – нарезают по методу обкатывания червячной фрезой. После такого нарезания зубья колеса получают форму, при которой они имеют линейный контакт с витком червяка, образуя с ним высшую кинематическую пару. За один оборот червяка зуб колеса, зацепляющийся с данным витком, переместится по делительной окружности на величину подъема винтовой линии витка.

Червячные передачи применяют при необходимости редуцирования скорости и передачи движения между перекрещивающимися (в большинстве случаев – взаимно перпендикулярными) валами. Объем применения зубчатых передач от передач зацеплением (зубчатых и червячных) составляет около 10 %.

Широкое применение червячные передачи имеют в подъемно – транспортирующих машинах, в станках, автомобилях и других машинах.

Передаточное число червячной передачи определяют по условию, что за каждый оборот червяка колесо поворачивается на число зубьев, равное числу заходов червяка:

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1},$$

где  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – угловые скорости валов червяка и червячного колеса,  $\text{с}^{-1}$ ;

$n_1$  и  $n_2$  – частоты вращения червяка и колеса,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$z_1$  и  $z_2$  – число заходов червяка и число зубьев колеса.

В силовых червячных передачах число заходов червяка выбирают в пределах  $z_1 = 1 - 4$ , а число зубьев червячного колеса  $z_2 = 27 - 70$  (при небольших нагрузках в отдельных, сравнительно редких, случаях до 120). Таким образом, посредством одноступенчатой силовой червячной передачи можно получить примерно от 7 до 70 и в некоторых случаях до 120; в специальных случаях, например в приводе столов станков большого диаметра, до 1000. применение червячных редукторов при малых передаточных числах ( $u \leq 10$ ) нецелесообразно.

Червячные передачи вследствие относительно низкого к.п.д. ( $\eta = 0,65 - 0,91$ ) применяют для небольших и средних мощностей от долей киловатта до 200 кВт, как правило, до 50 кВт, для моментов до 500 кН · м.

С увеличением числа заходов червяка возрастает угол подъема линии витка, а следовательно, и к.п.д. передачи, поэтому применение червяков  $z_1 = 1$  без крайней необходимости не рекомендуется.

Если необходимо иметь самотормозящую передачу (например, в грузоподъемных механизмах с ручным приводом), червяк делают длиной с  $z_1 = 1$  и углом подъема линии витка червяка меньше, чем угол трения.

### Особенности ременной передачи

Ременная передача относится к передачам трением с гибкой связью. Состоит из ведущего и ведомого шкивов, огибаемых ремнем (рис. 12.15). Нагрузка передается силами трения, возникающими между шкивом и ремнем вследствие натяжения последнего. Параметрам ведущего шкива приписывают индекс 1, параметрам ведомого — индекс 2.

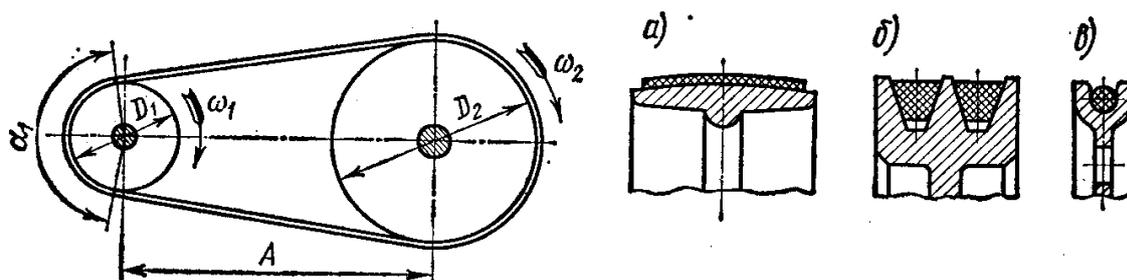


Рисунок 12.15- Схема ременной передачи

В зависимости от формы поперечного сечения ремня передачи бывают: плоскоремные (рис. 12.15, а), клиноремные (рис. 12.15, б) и круглоремные (рис. 12.15, в). Передача с круглым ремнем имеет ограниченное применение (швейные машины, настольные станки).

Достоинства:

1. Простота конструкции и малая стоимость.
2. Возможность передачи мощности на значительные расстояния (до 15 м).
3. Плавность и бесшумность работы.
4. Смягчение вибрации и толчков вследствие упругой натяжки ремня.

Недостатки:

1. Большие габаритные размеры, в особенности при передаче значительных мощностей.
2. Малая долговечность ремня в быстроходных передачах.
3. Большие нагрузки на валы и подшипники от натяжения ремня.
4. Непостоянное передаточное число из-за неизбежного упругого проскальзывания ремня.
5. Необходимость в постоянном надзоре во время работы из-за возможного соскакивания и обрыва ремня.
6. Неприменимость во взрывоопасных местах вследствие электризации ремня.

Ременные передачи применяют в большинстве случаев как замедлительные, когда по конструктивным соображениям межосевое расстояние  $A$  должно быть достаточно большим, а передаточное число  $i$  не строго постоянным.

Плоскоременная передача имеет простую конструкцию шкивов и вследствие большой гибкости ремня обладает повышенной долговечностью.

Эта передача рекомендуется при:

больших межосевых расстояниях (до 15 м), весьма высоких скоростях (до 100 м/сек).

Различают следующие основные типы плоскоременных передач:

1. Открытые - оси валов параллельны, вращение шкивов в одном направлении (рис. 12.16, а). *Открытые передачи получили наибольшее распространение* вследствие благоприятных условий работы ремня, обеспечивающих большую его долговечность.

2. Перекрестные - оси валов параллельны, вращения шкивов в противоположных направлениях (рис. 12.16, б). Вследствие взаимного трения ветвей имеют повышенный износ ремня. В настоящее время встречаются редко.

3. Передача с натяжным роликом, обеспечивающим постоянное натяжение ремня (рис. 12.16, в). Применяется при больших передаточных числах или при малых межосевых расстояниях. В настоящее время успешно заменяется клиноременной передачей.

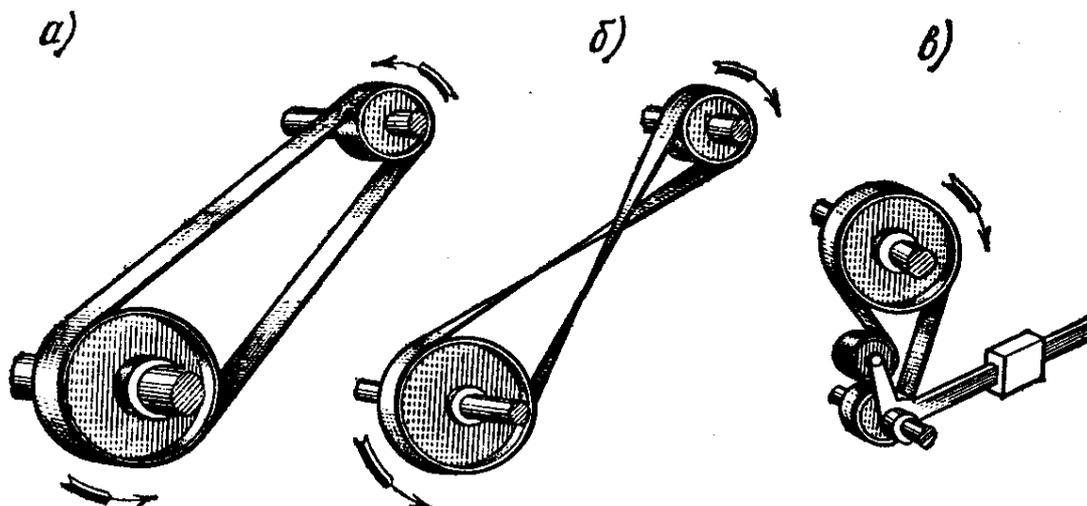


Рисунок 12.16- Типы плоскоременных передач

а) открытая передача; б) перекрестная передача; в) передача с натяжным роликом

Материал ремня должен обладать достаточной прочностью, износостойкостью, эластичностью и долговечностью, хорошо сцепляться со шкивами и иметь низкую стоимость.

В машиностроении применяют различные типы плоских ремней.

**Прорезиненные ремни** (ГОСТ 101 — 54). Состоят из нескольких слоев хлопчатобумажной ткани - прокладок, связанных вулканизированной резиной.

Ткань передает основную часть нагрузки, а резина предохраняет ткань от повреждений и повышает коэффициент трения. Будучи прочными, эластичными, малочувствительными к влаге прорезиненные ремни получили большое применение для широкого диапазона мощностей при передаче

спокойных нагрузок. Эти ремни непригодны в помещениях с повышенным содержанием паров нефтепродуктов, которые разрушают резину.

Прорезиненные ремни выпускаются трех типов:

**ремни типа А** - нарезанные, с резиновыми прослойками между тканевыми прокладками (рис. 12.17, а). Рекомендуются для шкивов малого диаметра при  $v < 30$  м/сек;

**ремни типа Б** - послойно завернутые с прослойками или без прослоек между прокладками (рис. 12.17, б). Рекомендуются для тяжелых условий работы при  $v < 20$  м/сек;

**ремни типа В** — спирально завернутые из одного куска ткани, без резиновых прослоек (рис. 12.17, в). Рекомендуются для небольших нагрузок при  $v < 15$  м/сек.

Прорезиненные ремни всех типов могут иметь резиновые обкладки для работы в сырых помещениях.



Рисунок 12.17. Типы прорезиненных ремней

**Хлопчатобумажные цельнотканые ремни** (ГОСТ 6982- 54). Изготавливают из хлопчатобумажной ткани с пропиткой специальным составом для увеличения срока их службы.

Будучи легкими и гибкими хорошо работают на шкивах малых диаметров. По сравнению с прорезиненными ремнями обладают меньшей тяговой способностью и долговечностью. Рекомендуются для небольших переменных нагрузок при  $v < 20$  м/сек. Для работы в сырых помещениях непригодны.

**Шерстяные ремни** (ОСТ НКТП 3157). Изготавливают из шерстяной пряжи, переплетенной и прошитой хлопчатобумажными нитями, с последующей пропиткой специальным составом. Обладая большой упругостью, могут работать при резких колебаниях нагрузки. Мало чувствительны к влаге, пыли, кислотам и повышенной температуре, что и определяет область их применения. Имеют высокую стоимость.

**Кожаные ремни** (ОСТ НК ЛН 5773/176) изготавливают из кожи, выработанной из шкур крупного рогатого скота. Обладают высокой тяговой способностью и долговечностью. Рекомендуются для передачи переменных и ударных нагрузок. Из-за дефицитности и дороговизны имеют ограниченное применение.

В настоящее время в промышленности применяют также специальные нестандартные ремни из синтетических волокон. Такие ремни достаточно прочны, легки, эластичны; допускают работу со скоростями до 100 м/сек.

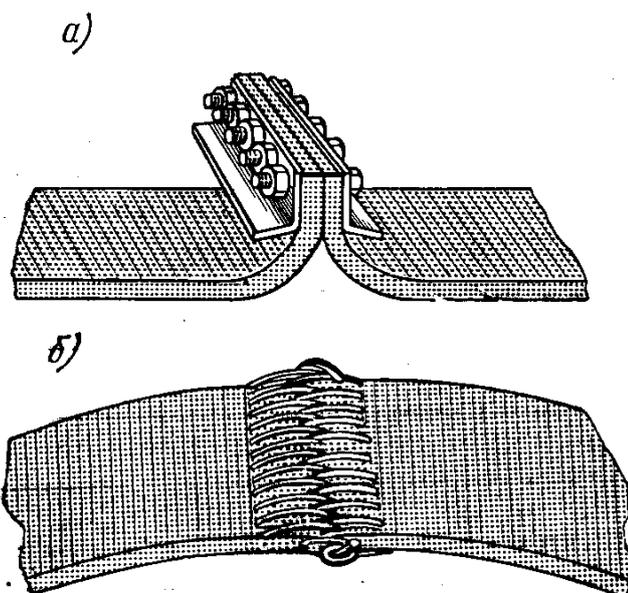


Рисунок 12.18- Металлическое крепление концов ремней:  
а - гребешком; б - спиралью

**Соединение концов плоских ремней.** В большинстве случаев плоские ремни выпускают в рулонах, от которых затем отрезают ремень необходимой длины. Соединение концов выполняют склеиванием, сшивкой или металлическим креплением в зависимости от типа ремня и окружной скорости шкивов.

Клиноременная передача применяется в виде открытой передачи и работает с одним или несколькими ремнями. В этой передаче благодаря клиновидной форме канавки на шкиве сила сцепления ремня со шкивом больше, чем в плоскоремненной, вследствие чего клиноременной передачей можно передавать большую мощность, допускать меньшее межосевое расстояние  $A$  и меньший угол обхвата  $\alpha_1$ .

Недостатками клиноременной передачи в сравнении с плоскоремненной является меньшая долговечность ремней вследствие значительной их толщины, более низкий к.п.д. и большая стоимость шкивов.

Клиноременные передачи рекомендуются при: малых межосевых расстояниях, больших передаточных числах, в вертикальном расположении осей валов.

Скорость ремней клиноременной передачи не должна превышать 30 м/сек, так как при больших скоростях клиновые ремни вибрируют. Наибольшую нагрузку клиновые ремни передают при  $v=20-25$  м/сек. Невыгодны скорости меньше 5 м/сек.

Для приводов общего назначения по ГОСТ 1284 — 68 клиновые ремни выпускают семи сечений (О, А, Б, В, Г, Д, Е) в виде бесконечных колец.

Кроме того, по ГОСТ 5813 -64 для автомобилей, тракторов и комбайнов выпускают вентиляторные клиновые ремни пяти сечений (1; 2; 3; 4; 5).

По конструкции клиновые ремни бывают двух типов: кордтканевые и кордшнуровые. Во-первых, корд состоит из нескольких рядов ткани,

расположенных в зоне нейтрального слоя ремня. Во-вторых, выше и ниже корда расположены резиновые прослойки. Снаружи ремень завернут в два-три слоя прорезиненной ткани. Кордтканевые ремни применяют в приводах общего назначения.

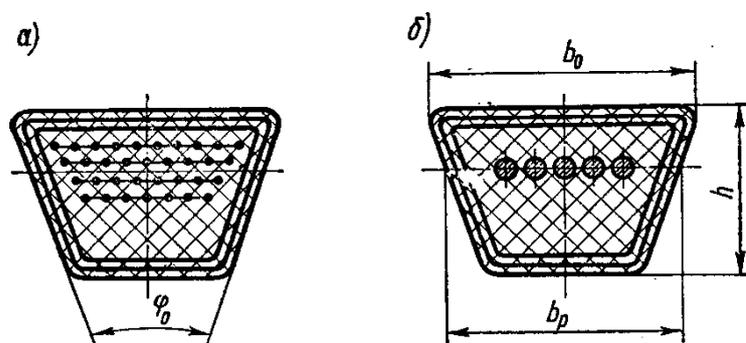


Рисунок 12.19 - Конструкции клиновых ремней

Более совершенными являются кордшнуровые ремни, в которых корд состоит из одного ряда толстых шнуров. Эти ремни более гибки и долговечны и предназначены для быстроходных передач. Замена текстильных нитей корда синтетическими волокнами или стальными тросами значительно повышает прочность ремней.

Все клиновые ремни в сечении имеют форму трапеции с углом профиля  $\varphi = 40^\circ$  в недеформированном состоянии. Расчетная длина  $L$  клинового ремня соответствует длине по нейтральному слою.

1. Межосевое расстояние  $A$  ременной передачи определяется в основном конструкцией привода машины.

**Рекомендуется:**

для плоскоремennых передач

$$15m > A > 2(D_2 + D_1)$$

для клиноремennых передач

$$2(D_2 + D_1) > A > 0,55(D_2 + D_1) + h$$

где  $D$  и  $D$ -диаметры шкивов;

$h$  -высота сечения ремня.

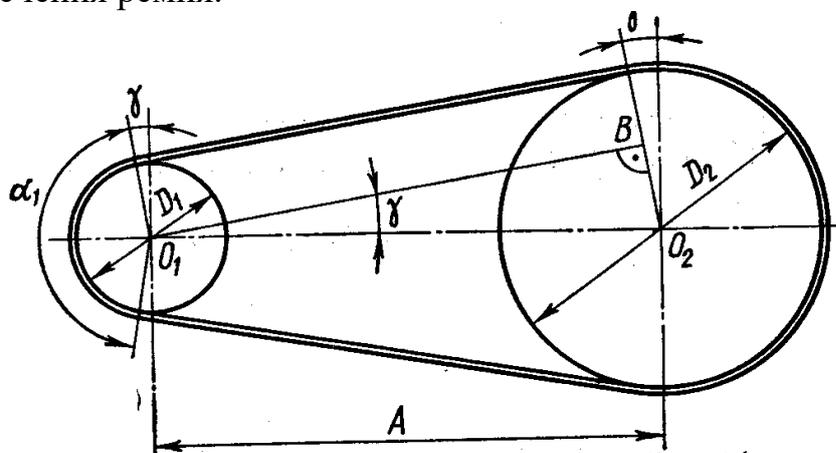


Рисунок 12.20- Геометрические параметры открытой ременной передачи

2. Расчетная длина ремня  $L$  равна сумме длин прямолинейных участков и дуг обхвата шкивов. Значение длины ремня

$$L = 2A + \pi/2 (D_2 + D_1) + (D_2 - D_1)^2/4A$$

При наличии сшивки длину ремня увеличивают на  $\Delta L = 100 \dots 400$  мм.

3. Межосевое расстояние при окончательно установленной длине ремня

$$A = \{2L + \pi (D_2 + D_1) + [(2L - \pi(D_2 + D_1))^2 - 8(D_2 - D_1)^2]^{1/2}\} / 8$$

4. Угол обхвата ремнем малого шкива

$$\alpha_1 = 180^\circ - 2\gamma^\circ.$$

Для плоскоременной передачи рекомендуется  $[\alpha_1] \geq 150^\circ$ , а для клиноременной  $[\alpha_1] \geq 120^\circ$ .

Основными критериями работоспособности ременных передач являются:

-тяговая способность, которая зависит от величины сил трения между ремнем и шкивом;

-долговечность ремня, т. е. его способность сопротивляться усталостному разрушению.

Основным расчетом ременных передач, обеспечивающим требуемую прочность ремней, является расчет по тяговой способности.

Для создания трения между ремнем и шкивом ремень надевают с предварительным натяжением  $S_0$ . Чем больше  $S_0$ , тем выше тяговая способность передачи. В состоянии покоя или холостого хода каждая ветвь ремня натянута одинаково с усилием  $S_0$ , (рис. 12.21, а). При приложении рабочей нагрузки  $M_1$ , происходит перераспределение натяжений в ветвях ремня: ведущая ветвь дополнительно натягивается до усилия  $S_1$ , а натяжение ведомой ветви уменьшается до  $S_2$ , (рис. 12.21, б).

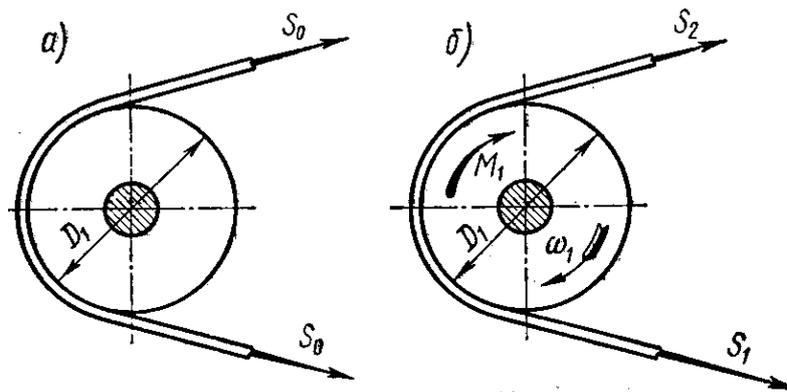


Рисунок.12.21 - Усилия в ветвях ремня

Окружное усилие на шкиве

$$P = \frac{2M_1}{D_1}.$$

Общая геометрическая длина ремня во время работы передачи остается неизменной, так как дополнительное удлинение ведущей ветви компенсируется равным сокращением ведомой ветви. Следовательно, насколько возрастает натяжение ведущей ветви ремня, настолько же оно снижается в ведомой, т. е.

$$S_1 = S_0 + \Delta S \quad \text{и} \quad S_2 = S_0 - \Delta S$$

или

$$S_1 + S_2 = 2S_0.$$
$$S_1 = S_0 + \frac{P}{2}; \quad S_2 = S_0 - \frac{P}{2}$$

При обегании ремнем шкивов в ремне возникает центробежная сила

$$S_v = \rho F v^2,$$

где  $\rho$  - плотность ремня;

$F$  - площадь сечения ремня.

Сила  $S_v$ , отбрасывая ремень от шкива, уменьшает полезное действие предварительного натяжения  $S_0$ , понижая нагрузочную способность передачи. Таким образом, натяжение в ведущей и ведомой ветвях ремня при работе будет  $S_1 + S_v$ ,  $S_2 + S_v$  и для холостого хода  $S_0 + S_v$ .

### Особенности цепной передачи

Цепные передачи относят к передачам зацеплением с гибкой связью. Передача состоит из ведущей 1 и ведомой 2 звездочек (рис 12.22), установленных

на параллельных валах, цепи 3 (гибкой связи), охватывающей звёздочки и зацепляющейся за их зубья, и натяжного устройства 4.

Передача, состоящая из двух звёздочек, называется двухзвёздной, при нескольких ведомых звёздочках – многозвёздной (рис.12.22).

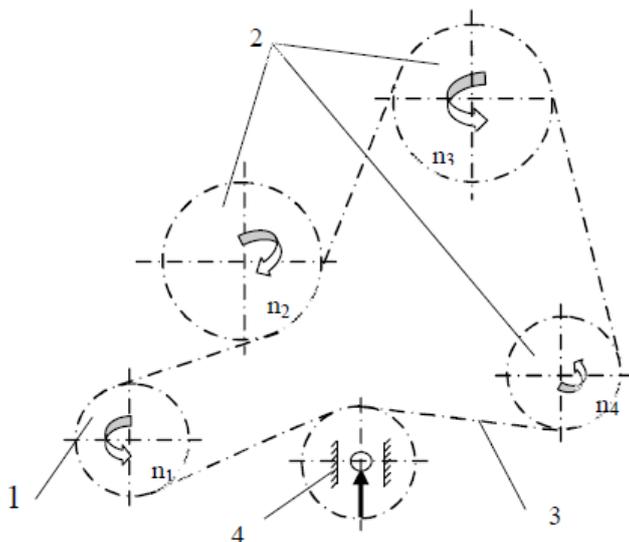


Рисунок 12.22- Цепная передача

В зависимости от конструктивного исполнения передачи подразделяются на закрытые и открытые. Закрытые передачи имеют сварной или литой пыленепроницаемый корпус с поддоном для смазочного масла. В большинстве случаев (более 80%) цепные передачи выполняют открытыми, а смазывание цепи осуществляется периодически.

Достоинством цепных передач являются:

- возможность применения в широком диапазоне межосевых расстояний;
- постоянство среднего передаточного отношения;

- меньшие, чем у ременных передач, габариты;
- меньше, чем у ременных передач, нагрузка на валы и опоры, т. к., вследствие зацепления цепи со звездочками, отпадает необходимость в большом предварительном натяжении цепи;
- относительно высокий КПД;
- возможность передачи движения одним цепным контуромнескольким валам, в т.ч. с противоположным направлением вращения

К недостаткам цепных передач следует отнести:

- неизбежный износ шарниров цепи, приводящий к её удлинению, провисанию и возможному проскакиванию по звёздочкам, что требует применения натяжного устройства;
- наличие шума в скоростных передачах, возникающего из-за соударения звеньев цепи о зубья звездочек при входе в зацепление;
- некоторая неравномерность движения цепи, особенно при малых числах зубьев звёздочек и большом шаге цепи;
- необходимость более тщательного монтажа и технического ухода, чем для ременных передач.

Передачи применяют в транспортном, сельскохозяйственном и химическом машиностроении, в подъемно – транспортных устройствах и нефтебуровом оборудовании. Наибольшее распространение получили цепные передачи мощностью до 100 кВт и окружных скоростях до 15 м/с. Известны цепные передачи, передающие мощность до 5000 кВт и работающие при скорости до 35 м/с, однако стоимость таких передач выше, чем зубчатых.

Основным элементом цепной передачи, определяющим её надежность, является приводная цепь.

Цепи приводные стандартизованы, их выпускосуществляется на специализированных заводах и предприятиях.

Существуют следующие виды приводных цепей: роликовые, втулочные,и зубчатые.

По ГОСТ 13568-97 изготавливают приводные роликовые и втулочные цепи следующих типов: ПР – приводные роликовые однорядные; 2ПР – роликовые двухрядные; 3ПР – роликовые трехрядные;

4ПР – роликовые четырехрядные; ПВ – втулочные однорядные; 2ПВ - втулочные двухрядные и ПРИ – роликовые с изогнутыми пластинами.

Выбор типа и шага приводной цепи, удовлетворяющей критериям работоспособности при заданных условиях эксплуатации и передаваемой нагрузки; определение геометрических размеров передачи и звездочек.

Требуемая мощность транспортера:

$$P_{PM} = F \cdot v$$

где F - тяговая сила, Н;

v - линейная скорость, м/с;

## Шлицевые, шпоночные и профильные соединения

Шпоночные и шлицевые соединения предназначены для передачи крутящего момента от вала к ступицам зубчатых (червячных) колес, звездочек цепных передач, шкивам ременных передач и т. д.

Различают ненапряженные и напряженные шпоночные соединения. Ненапряженные шпоночные соединения осуществляются с помощью призматических или сегментных шпонок, а напряженные – клиновыми шпонками.

Длину шпонок принимают на 5-10 мм короче длины ступицы и выравнивают до стандартного значения.

Размеры шпонок (ширину и высоту) выбирают по соответствующему стандарту в зависимости от диаметра вала  $d$ .

После определения размеров шпонок производится проверочный расчет их прочности.

Прочность соединений призматическими и сегментными шпонками рассчитывают по напряжениям смятия  $\sigma_{см}$  и среза  $\tau_c$  (рис. 12.23).

Напряжения смятия  $\sigma_{см}$  возникают по длине шпонки  $l$  на высоте  $k$ .

Для призматических шпонок со скругленными концами вместо длины  $l$  в расчетные формулы напряжений подставляют рабочую длину шпонки  $l_p$ :

$$l_p = l - b, \text{ мм}$$

где  $b$  – ширина шпонки, мм.

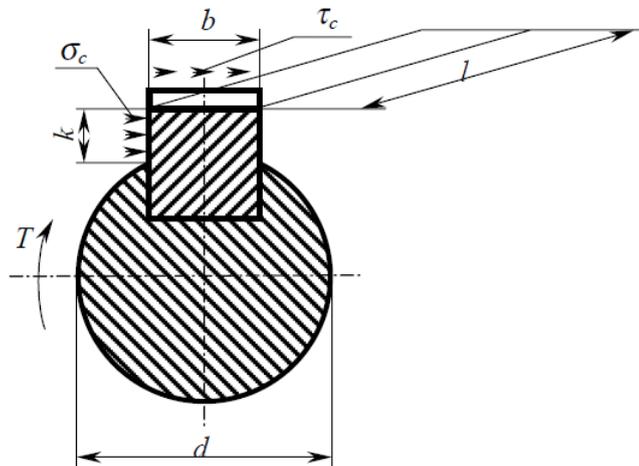


Рисунок 12.23-К расчету призматических и сегментных шпонок

Расчетные напряжения смятия  $\sigma_{см}$  определяются по формуле

$$\sigma_{см} = \frac{2T}{dl_p k} \leq [\sigma_{см}]$$

где  $T$  – передаваемый шпонкой крутящий момент, Нмм;

$d$  – диаметр вала, мм;

$l_p$  – рабочая длина шпонки, мм;

$k$  – высота расположения шпонки в пазу ступицы, мм.

При стальной ступице и спокойной нагрузке допускаемые напряжения смятия  $[\sigma_{см}] \leq 100$  МПа (Н/мм<sup>2</sup>); при колебаниях нагрузки их следует снижать на 20-25 %; при ударной нагрузке – снижать на 40- 50 %; при насаживаемых на вал чугунных деталях приведенные значения  $[\sigma_{см}]$  снижать вдвое.

Напряжения среза  $\tau_c$  возникают по ширине шпонки  $b$  на рабочей длине  $l_p$  и рассчитываются по следующей формуле

$$\tau_c = \frac{2T}{dl_p b} \leq [\tau_c]$$

где  $b$  – ширина шпонки, мм.

Допускаемые напряжения на срез  $[\tau_c] = 0,6 [\sigma_{см}]$ .

### Соединения клиновыми шпонками

Соединения клиновыми шпонками рассчитывают по напряжениям смятия  $\sigma_{см}$  (рис. 12.24).

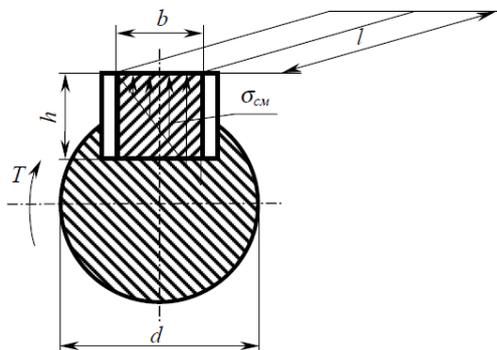


Рисунок 12.24 – К расчету прочности клиновых врезных шпонок

Напряжения смятия  $\sigma_{см}$  распределяются по ширине шпонки  $b$  по закону треугольника и могут быть рассчитаны по формуле

$$\sigma_{см} = \frac{12T}{[lb(b + 6fd)]} \leq [\sigma_{см}]$$

где  $T$  – передаваемый крутящий момент, Нмм;

$l$  – длина шпонки, мм;

$b$  – ширина шпонки, мм;

$d$  – диаметр вала, мм;

$f$  – коэффициент трения между шпонкой и ступицей,

$f = 0,15 - 0,2$ .

Допускаемое напряжение смятия  $[\sigma_{см}] = 100- 150$  МПа.

Если расчет на прочность не сходится, то есть расчетные напряжения смятия и среза превышают допускаемые более чем на 5%, то устанавливают две шпонки. Призматические шпонки устанавливаются под углом 180°, клиновые – под углом 120°, сегментные – в один ряд по длине ступицы.

### Шлицевые соединения

Конструкции шлицевых соединений различаются по форме шлицев (зубьев). Зубья шлицевого соединения имеют прямоугольную, эвольвентную или треугольную форму. Наибольшее распространение получили прямоугольные и

эвольвентные шлицевые соединения. Шлицевые соединения с треугольным профилем не стандартизированы.

### Расчет и конструирование

Длина шлицев равна длине ступицы. Размеры шлицев (высота и ширина) и их число  $z$  определяются по соответствующему стандарту в зависимости от диаметра вала  $d$ , где они расположены.

Стандартом предусмотрены три серии шлицев с прямобочными зубьями: легкая, средняя и тяжелая в зависимости от режима их работы.

После определения размеров и длины шлицев производится проверочный расчет их прочности по напряжениям смятия  $\sigma_{см}$  (рис. 12.25).

Расчетные напряжения смятия  $\sigma_{см}$  рассчитываются по формуле

$$\sigma_{см} = \frac{2T}{[d_c l h z \psi]} \leq [\sigma_{см}]$$

где  $T$  – передаваемый крутящий момент, Нмм;

$l$  – длина шлицев, мм;

$h$  – рабочая высота шлица, мм;

$d_c$  – средний диаметр шлица, мм;  $d_c = 0,5(D+d)$  – для прямобочных и  $d_c =$

$mz$  – для эвольвентных шлицев;

$z$  – число шлицев;

$\psi$  – коэффициент неравномерности распределения нагрузки между шлицами,  $\psi = 0,7-0,8$ .

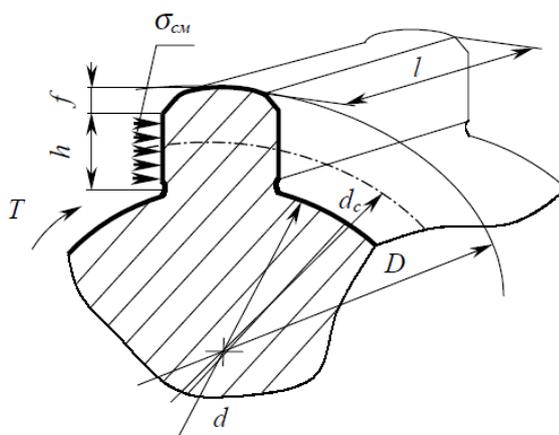


Рисунок 12.25 - К расчету прочности шлицевого соединения

### Особенности расчета сварного соединения

Существуют пять видов сварных соединений: стыковые, нахлесточные, угловые, тавровые и комбинированные.

Затвердевший после сварки слой материала, расположенный между соединяемыми деталями, называется сварным швом.

Сварные швы стыковых соединений называются стыковыми, а сварные швы остальных (кроме комбинированных) – угловыми.

По расположению сварных швов относительно действующей силы различают лобовые, фланговые и косые сварные швы.

Расчет сварных соединений сводится к расчету и конструированию стыковых и угловых сварных швов.

### Расчет и конструирование стыковых сварных швов

В зависимости от вида нагружения стыковых швов их соответственно рассчитывают (рис. 12.26) на:

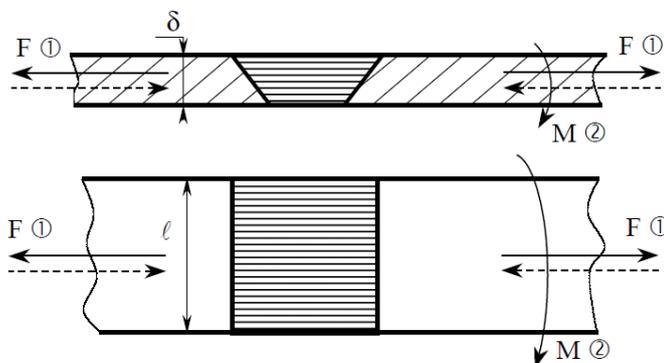


Рисунок 12.26- Виды нагружения стыковых сварных швов

а) растяжение (сжатие) при действии силы F (случай нагружения на рис. 12.26):

$$\sigma'_{p(c)} = \frac{F}{\delta \ell} \leq [\sigma'_p]$$

где

$\sigma'_{p(c)}$  - расчетное напряжение в шве при растяжении (сжатии);

$\delta$  - толщина более тонкой свариваемой детали;

$\ell$  - длина шва.

б) по нормальным напряжениям  $\sigma'$  при действии на шов изгибающего момента M в плоскости приварки:

$$\sigma' = \frac{6M}{\delta \ell^2} \leq [\sigma'_p]$$

в) по нормальным напряжениям  $\sigma'$  при совместном действии момента M и растягивающей (сжимающей) силы F:

$$\sigma' = \frac{6M}{\delta \ell^2} + \frac{F}{\delta \ell} \leq [\sigma'_p]$$

где  $[\sigma'_p]$  - допускаемое напряжение на растяжение в сварном шве, определяемое в зависимости от допускаемого напряжения  $[\sigma_p]$  основного материала соединяемых деталей для каждого рода материала, вида сварки и типа электрод.

Расчет и конструирование угловых сварных швов

Угловые швы рассчитывают по наименьшей площади сечения, расположенного в биссектрисной плоскости прямого угла поперечного сечения шва (рис. 12.27).

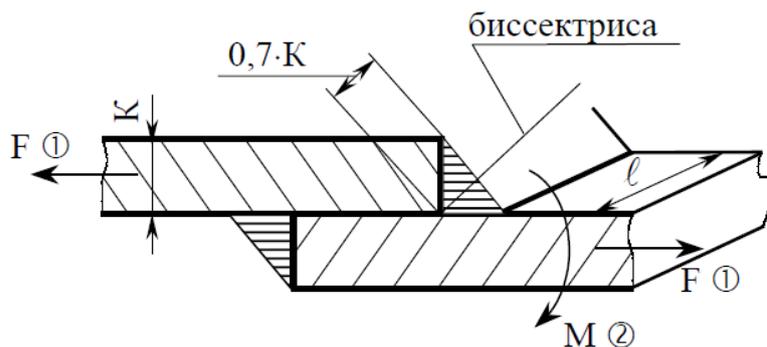


Рисунок 12.27-К расчету углового шва

В расчетном сечении толщину углового шва принимают равной  $0,7K$ ; где  $K$  – катет поперечного сечения шва.

При действии на угловой шов растягивающей силы  $F$ :

$$\tau'_c = \frac{F}{0,7Kl} \leq [\tau'_c]$$

где  $\tau'_c$ -расчетное напряжение среза в шве;

$l$ - длина шва

$[\tau'_c]$ - допускаемое напряжение на срез шва.

Если соединение угловым швом нагружено изгибающим моментом  $M$  в плоскости приварки, то расчет производят по формуле:

$$\tau'_c = \frac{6M}{0,7Kl^2} \leq [\tau'_c]$$

При действии на угловой шов изгибающего момента  $M$  и силы  $F$ , перпендикулярной шву:

$$\tau'_c = \frac{6M}{0,7Kl^2} + \frac{F}{0,7Kl} \leq [\tau'_c]$$

В случае несимметричных угловых швов фланговых швов, посредством которых приваривают деталь несимметричного профиля, например уголок (рис.12.28), каждый из этих швов рассчитывают по своей нагрузке.

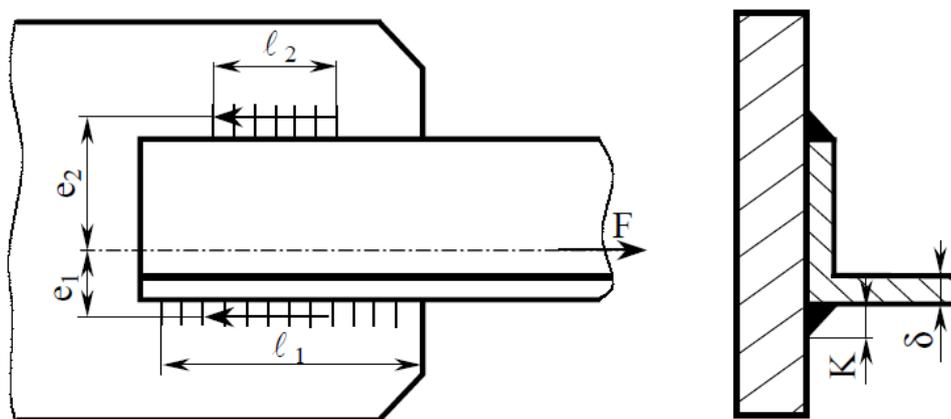


Рисунок 12.28- К расчету несимметричного углового шва

При действии силы  $F$  на уголок сварного соединения силы, действующие на швы, определяются следующим образом:

$$F_1 + F_2 = F \text{ и } F_1 e_1 = F_2 e_2$$

### **13 ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИХ РАСЧЕТА**

#### **Параметры, характеризующие динамические свойства машин**

Законы динамики описывают движение механических систем. Явления, которые возникают в процессе их движения, зависят, с одной стороны, от характера воздействия внешней среды на данный объект (машину или отдельные ее элементы), а, с другой стороны, от таких параметров объекта, как масса  $m$ , момент инерции  $J$  (кг·м<sup>2</sup>) относительно оси вращения, маховой момент  $GD^2$  (Н·м<sup>2</sup>) и жесткость. Первые три параметра, характеризуют инерционные свойства системы и связаны между собой простыми соотношениями:

$$J = mR^2$$
$$GD^2 = 4gJ,$$

где  $R$  - радиус инерции (расстояние до оси вращения);  $g$  - ускорение свободного падения.

Жесткостью характеризуются упругие свойства объекта, которые обуславливают возникновение колебательных процессов при воздействии на него внешних переменных сил.

#### **Инерциальная и неинерциальная системы отсчета**

Построение расчетной схемы для определения сил или иных параметров динамических систем должно связываться с системой отсчета или системой координат, относительно которой рассматривается движение объекта. От выбора системы отсчета во многом зависит сложность или простота поставленной задачи и получаемых результатов.

Исследуя, например, колебания стрелы самоходного крана, возникающие при движении крана, мы можем принять за систему отсчета некоторую неподвижную систему координат, жестко связанную с дорогой (поверхностью земли), но можем рассматривать колебания стрелы не относительно поверхности земли, а относительно системы координат, жестко связанной с движущимся краном. В первом случае неподвижная система координат называется инерциальной, а движение объекта по отношению к этой системе - абсолютным. Во втором случае подвижная система координат называется неинерциальной, а движение объекта относительно этой системы координат - относительным.

Инерциальные системы координат обладают таким свойством, что позволяют выявить причины, вызывающие движение объекта, так как любое отклонение от равномерного и прямолинейного движения или нарушение состояния покоя, наблюдаемое в инерциальной системе отсчета, можно

объяснить только одним - соответствующим силовым взаимодействием окружающих тел.

Инерциальной системой будет любая система отсчета, движущаяся относительно инерциальной системы отсчета прямолинейно и равномерно, так как все механические процессы в этих двух системах отсчета протекают одинаково. В механике это положение называется принципом относительности.

### Основные задачи динамики и способы их решения

Все динамические задачи можно свести к двум основным: к определению сил и реакций связей по заданному закону движения (прямая задача) и к нахождению закона движения по заданным силам (обратная задача). Наиболее широкое применение нашли метод кинетостатики и метод, основанный на описании законов движения дифференциальными уравнениями.

Метод кинетостатики называется так потому, что его применение связано с предварительным кинематическим анализом и определением ускорения объекта  $j$ , по которому затем определяют силу инерции  $P_{и}$ , равную произведению массы  $m$  объекта на его ускорение. Если эту силу инерции добавить к силам, действующим на данный объект, то условно можно считать, что он будет находиться в покое и условие его равновесия записать в форме уравнения статики, из которого и определить искомые динамические реакции или напряжения. Для поступательного движения это уравнение имеет вид

$$P + R + P_{и} = 0,$$

для вращательного движения

$$M(P) + M(R) + M(P_{и}) = 0,$$

где  $P$  - вектор равнодействующей задаваемых сил;  $R$  - вектор равнодействующей реакций связей;  $M(P)$ ,  $M(R)$ ,  $M(P_{и})$  - моменты сил  $P$ ,  $R$  и  $P_{и}$ .

Записанные в таком виде уравнения справедливы только в инерциальной системе отсчета.

При применении дифференциальных уравнений движения для решения прямой задачи по известному перемещению  $x$ , заданному в функции времени  $t$  дважды дифференцируя его по времени, находят ускорение  $\ddot{x} = d^2x/dt^2$ , а затем, умножая ускорение на массу объекта  $m$ , определяют в функции времени проекцию на ту же координатную ось равнодействующей всех сил, действующих на объект, включая и реакции связей:

$$m \ddot{x} = P_{изб.}$$

В этом уравнении величина  $P_{изб}$  представляющая собой силу, сообщающую ускорение объекту, в общем случае равна разности между движущими силами, сообщающими объекту движение, и силами статического сопротивления движению; в прикладных задачах динамики эта сила называется избыточной.

Дифференциальное уравнение вращательного движения имеет вид

$$\ddot{\varphi} J = M_{изб.}$$

где  $M_{изб}$  - избыточный момент.

Очевидно, что при  $P_{изб} = 0$  или  $M_{изб} = 0$ , т. е., когда движущее усилие (под усилием в дальнейшем будем понимать силу или момент) равно статическим сопротивлениям, ускорение объекта равно нулю и он находится в состоянии покоя или равномерного движения.

При постановке обратной задачи заданными следует считать действующие усилия ( $P_{изб}$  или  $M_{изб}$ ), по которым определяют ускорения

$$\ddot{\varphi} = P_{изб} / m; \quad \ddot{\varphi} = M_{изб} / J$$

а затем, дважды интегрируя их по времени, последовательно находят скорости движения и перемещения.

Записанные в инерциальной системе отсчета дифференциальные уравнения движения имеют более простую форму, нежели в неинерциальной системе.

### **Способы изображения расчетных схем**

Расчетные схемы динамических систем отличаются от расчетных схем статических систем тем, что к задаваемым силам добавляется сила инерции. Расчетные схемы могут быть также представлены в виде приведенных (эквивалентных) схем, на которых массы объекта изображают в виде плоских или пространственных фигур, имеющих форму прямоугольников, кубов, маховиков, соединенных между собой жесткими или упругими связями.

### **Приведение масс и моментов инерции**

Из-за относительной сложности динамических расчетов нередко используют искусственный прием — замену нескольких подвижных масс, расположенных в разных местах механизма, одной суммарной массой, которая, однако, с точки зрения динамического эффекта будет эквивалентна суммарному динамическому эффекту заменяемых ею масс. Для этого все учитываемые при расчете массы механизма нужно привести к одному, заранее обусловленному месту, например к валу двигателя или к исполнительному органу, а затем все приведенные массы сложить. С той же целью по определенным правилам выполняют приведение сил (моментов сил) и жесткостей соответствующих звеньев механизма.

### **Правила приведения масс и моментов инерции**

Приведенные масса и момент инерции определяются из условия равенства кинетической энергии приведенной массы сумме кинетических энергий масс, которые она заменяет.

Но какие массы объекта и какое число масс необходимо и достаточно учитывать при определении приведенных динамических параметров? Можно отметить, что значение  $k$  не обязательно должно соответствовать общему числу масс рассчитываемого объекта; чаще всего ограничиваются учетом небольшого числа масс, принимая в отдельных случаях  $k = 1$ , т. е. динамическую модель представляют как одномассовую систему.

## **Правила приведения рассмотренных динамических параметров и определения их суммарных значений.**

При приведении масс и моментов инерции от двигателя в сторону исполнительного органа механизма нужно соответствующий параметр каждого учитываемого элемента умножить на квадрат передаточного числа между данным элементом и местом приведения и полученные таким образом значения параметров сложить. При приведении масс и моментов инерции от исполнительного органа в сторону двигателя нужно соответствующие параметры каждого учитываемого элемента разделить на квадрат передаточного числа между данным элементом и местом приведения и полученные значения параметров сложить.

В общем случае, когда за место приведения выбран какой-либо элемент, расположенный между двигателем и исполнительным органом, динамические параметры элементов, расположенные до места приведения со стороны двигателя, нужно умножить на квадраты соответствующих передаточных чисел, а параметры элементов, расположенных по другую сторону от места приведения (со стороны исполнительного органа), разделить на квадраты соответствующих передаточных чисел.

### **Приведение сил и моментов сил**

Приведенные силы или моменты определяют из условия равенства их работы сумме работ тех сил и моментов, которые они заменяют.

В отличие от масс и моментов инерции, которые не зависят от механических потерь, обусловленных трением в кинематических парах механизма (эти потери учитываются КПД), силы и моменты сил зависят от трения в механизме: при передаче движущих сил и моментов от ведущего звена механизма, например вала двигателя, к ведомому звену (барабану лебедки) силы трения снижают их, что учитывается путем умножения усилия, которое приводится от ведущего звена к ведомому, на КПД между этими звеньями (оно всегда меньше единицы). При приведении сил или моментов от ведомого звена к ведущему их нужно разделить на КПД, так как те же силы трения в механизме вызывают необходимость несколько увеличить потребное значение движущего усилия на ведущем звене.

Общие правила приведения сил и моментов.

1. При работе привода на силовом режиме при приведении усилия (сил или моментов) от вала двигателя в сторону исполнительного органа его нужно умножить на передаточное число и КПД передачи между двигателем и звеном приведения.

При приведении усилия от исполнительного органа в сторону двигателя его необходимо разделить на передаточное число и КПД передачи между исполнительным органом и звеном приведения.

2. При работе на тормозном режиме при приведении усилия от вала двигателя в сторону исполнительного органа его нужно умножить на передаточное число и разделить на КПД передачи от двигателя к звену приведения.

При приведении усилия от исполнительного органа в сторону двигателя его необходимо разделить на передаточное число и умножить на КПД передачи от исполнительного органа к звену приведения.

### **Приведение жесткостей**

Приведение жесткостей имеет те же цели, что и приведение других динамических параметров — упростить расчетную схему и вместо учета жесткостей большого числа звеньев ввести в расчет некоторую приведенную жесткость, которая с точки зрения динамического эффекта была бы эквивалентна жесткостям, которые она заменяет. Для этого жесткости отдельных элементов нужно привести к одному, заранее обусловленному месту (к тому же, к которому приводились и другие динамические параметры), а затем приведенные жесткости отдельных элементов сложить по определенному правилу, заменив их одной суммарной приведенной жесткостью.

Правила приведения жесткостей для силового режима.

1. При приведении жесткости вала двигателя или другого ведущего звена привода в сторону исполнительного органа (ведомого звена) нужно эту жесткость умножить на квадрат передаточного числа и КПД механизма между ведущим звеном и местом приведения.

Если при этом угловая жесткость ведущего звена приводится к элементу, обладающему линейной жесткостью (как в рассмотренном примере лебедки), то предварительно нужно угловую жесткость разделить на квадрат радиуса исполнительного органа (с тем, чтобы размерность угловой жесткости привести к размерности линейной жесткости), а затем умножить на квадрат передаточного числа и КПД механизма.

2. При приведении жесткости исполнительного органа (ведомого звена механизма) в сторону двигателя (ведущему звену) нужно приводимую жесткость разделить на квадрат передаточного числа и КПД механизма между ведомым звеном и местом приведения.

Если при этом линейная жесткость ведомого элемента приводится к звену, обладающему угловой жесткостью, то нужно сначала приводимую (т. е. линейную) жесткость умножить на квадрат радиуса исполнительного органа, а затем эту величину разделить на квадрат передаточного числа и КПД механизма.

Для тормозного режима правило приведения жесткостей можно сформулировать следующим образом:

- при приведении жесткости от вала двигателя в сторону исполнительного органа нужно ее умножить на квадрат передаточного числа и разделить на КПД передачи между ведущим звеном и местом приведения;

- при приведении жесткости от исполнительного органа в сторону двигателя нужно ее разделить на квадрат передаточного числа и умножить на КПД передачи между соответствующими звеньями механизма.

Для тормозного режима сохраняется правило приведения угловой жесткости к линейной и наоборот.

## **14 ОСНОВЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ МАШИН ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**

### **Кинематика рабочего оборудования.**

Рабочее оборудование машины, предназначенное для выполнения определенных операций, состоит из рабочего органа, непосредственно взаимодействующего с разрабатываемыми, перегружаемыми или перемещаемыми материалами и грузами, исполнительных механизмов, обеспечивающих заданные движения рабочего органа, и несущих конструкций, воспринимающих нагрузки от рабочего органа и передающих их остову базовой машины.

Первым этапом кинематического расчета и анализа рабочего оборудования является построение его структурной схемы, которая должна обеспечить заданные движения соответствующих звеньев механизма и, в частности, необходимую траекторию движения рабочего органа.

Траектория движения рабочего органа во многом определяет эффективность работы машины. Известно, например, что если траектория движения режущей кромки ковша на активном участке при копании и зачерпывании материала близка к направлению плоскостей наименьшего сопротивления сдвига частиц материала, то в этом случае заметно снижается сопротивление копанию и улучшается наполнение ковша.

Структурная схема рабочего оборудования должна также обеспечить такое направление движения рабочего органа, которое бы позволило получить заданный профиль того или иного земляного сооружения.

Во избежание высыпания материала из ковша в процессе его подъема желательно, чтобы ковш в течение всего времени подъема сохранял запрокинутое положение. Достигается это двумя способами — либо путем соответствующего перемещения штока гидроцилиндра, управляющего положением ковша в процессе его подъема, либо с помощью соответствующей структурной схемы рабочего оборудования.

Таким образом, рационально выбранная структурная схема рабочего оборудования, правильно установленные соотношения между размерами отдельных его звеньев во многом определяют основные технико-экономические показатели машины и качество выполняемых ею работ.

Кроме траектории движения и размеров звеньев рабочего оборудования, определяющих конфигурацию и размеры зоны его действия, кинематика рабочего оборудования определяется также скоростями и ускорениями его отдельных звеньев. Очевидно, что если нет каких-либо ограничений, налагаемых на скорости рабочих органов, обусловленных спецификой их взаимодействия со средой, то увеличение скорости с точки зрения повышения производительности машины является весьма желательным. Целесообразным может оказаться и повышение ускорений рабочего органа. Так, например, повышение ускорения поворота ковша при запрокидывании в процессе копания способствует отбрасыванию материала, находящегося в ковше, к его задней стенке, что улучшает наполнение ковша. При опрокидывании ковша на раз-

грузку наклон его днища к горизонту, составляющий обычно 45... 50°, может оказаться недостаточным для полного опорожнения ковша, особенно при разгрузке липких материалов. В этом случае повышение ускорения поворота ковша, что достигается резкой его остановкой в конце разгрузки, способствует более полному его опорожнению.

В других случаях, в целях снижения динамических нагрузок на рабочее оборудование процессы их разгона и торможения стремятся несколько растянуть по времени, чтобы сделать их более плавными.

При кинематическом расчете любых механизмов могут решаться задачи двух типов: анализа и синтеза. При решении задач анализа нужно ответить на вопрос: какую траекторию, какие скорости и ускорения будет иметь рабочий орган при выбранных параметрах механизма — его кинематической схемы (эта схема отличается от структурной тем, что она уже имеет определенные размеры звеньев) и заданного движения ведущего звена. Задача синтеза является как бы обратной и сводится к определению параметров механизма по заданным траекториям, скоростям и ускорениям рабочего органа, по заданной глубине копания, высоте разгрузки ковша и т. п. Задачи синтеза обычно решаются при проектировании механизмов.

Кинематическое исследование и определение кинематических параметров рабочего оборудования может выполняться различными методами: аналитическими, графоаналитическими (построение планов скоростей и ускорений), экспериментальными. Аналитический метод, не требуя точно вычерченной кинематической схемы, обеспечивает достаточно высокую точность расчетов, но его применение возможно лишь в том случае, когда получены или известны формулы для определения необходимых кинематических параметров. Менее точен графоаналитический метод, но он более наглядный.

## **Определение расчетных нагрузок, действующих на рабочее оборудование**

### **Нагрузки, действующие на рабочие органы бульдозеров и погрузчиков при копании**

#### **Нагрузки, возникающие при напорном движении машины и упоре рабочего органа в труднопреодолимое препятствие**

К машинам напорного действия относятся, например, фронтальные погрузчики и бульдозеры, рабочие органы которых внедряются в массив или штабель материала при движении машины, когда кроме силы тяги часто используется и кинетическая энергия машины, развиваемая при разгоне. Характер нагружения рабочих органов при этом аналогичен характеру нагружения их при взаимодействии с труднопреодолимым препятствием, в которое они упираются при движении машины. Такие же нагрузки действуют и на рабочие органы других машин, например, рыхлителей, автогрейдеров, канаты тяговых лебедок трелевочных тракторов, ковши скреперов, встречающие на своем пути труднопреодолимые препятствия.

В основу расчета динамического нагружения рабочего оборудования во всех этих случаях может быть положена эквивалентная схема. В этой схеме масса, к которой приложено движущее усилие, соответствует суммарной приведенной (к ведущим колесам) массе поступательно движущихся и вращающихся частей машины, а масса соответствует массе препятствия, с которым взаимодействует рабочий орган машины; со стороны препятствия действует сила сопротивления.

При заданной скорости движения динамическую нагрузку, воспринимаемую рабочим оборудованием машины, можно уменьшить за счет снижения суммарных приведенных масс и жесткостей, в свою очередь зависящих от передаточного числа привода машины и, следовательно, от ее компоновочного решения и параметров передачи.

Если внедрение рабочего органа в массив материала или упор в препятствие сопровождается проскальзыванием ведущих колес относительно поверхности качения, то движущая сила, которую может развить машина, ограничивается силой сцепления  $T_{сц}$  ее ведущих колес с поверхностью качения.

**Нагрузки, возникающие при выглублении или заглужении рабочего органа.** Расчетные нагрузки, как и расчетные положения рабочего оборудования и базовой машины, определяются для наиболее неблагоприятных ситуаций, которые, например, могут вызвать поломку рабочего оборудования или опрокидывание машины. Рассмотрим возможные расчетные случаи для фронтальных погрузчиков и бульдозеров.

1. Упор рабочего органа в препятствие средней точкой при движении машины по горизонтальной поверхности; гидроцилиндры рабочего оборудования заперты.

2. Упор рабочего органа в препятствие средней точкой и одновременное его выглубление при движении машины вперед по горизонтальной поверхности

3. Упор рабочего органа в препятствие крайней точкой и одновременное его выглубление при движении машины вперед по горизонтальной поверхности.

4. Упор рабочего органа в препятствие средней точкой и одновременное заглужение при движении машины вперед по горизонтальной поверхности.

5. Упор рабочего органа в препятствие крайней точкой и одновременное его заглужение при движении машины вперед по горизонтальной поверхности.

## **15 ОСНОВЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО И ВИБРАЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ**

### **Классификация, область применения машин и оборудования непрерывного действия**

В качестве рабочего оборудования непрерывного действия наибольшее распространение получили ленточные, цепные (ковшовые и скребковые) и

винтовые (шнековые) конвейеры. Они применяются как самостоятельное технологическое оборудование, или являются оборудованием машин, работающих по принципу непрерывного действия. Так, экскаваторы непрерывного действия с помощью ковшовых и скребковых конвейеров выполняют операции копания траншей, пород, образования глубоких выемок и т. д.

В шнекороторных снегоочистителях применяют шнеки с правой и левой навивкой спирали. Такие шнеки разрабатывают забой и подают снег к ротору лопастного типа; последний отбрасывает снег в сторону. В этих машинах шнеки выполняют роль питателя, подающего материал к другому рабочему органу - ротору.

В многоковшовых погрузчиках основным рабочим органом является ковшовый элеватор, установленный на самоходном шасси. Такие погрузчики зачерпывают и перегружают в транспортные средства песок, щебень, каменный уголь и другие материалы.

В асфальто- и бетоносмесительных установках ленточные, пластинчатые или винтовые конвейеры являются составной частью сортировочно-дозировочной системы. Через бункеры и специальные дозаторы материал (песок или щебень) равномерным потоком подается на конвейер, выполняющий роль питателя, и от него поступает в мешалку, где готовится нужная по составу смесь.

В асфальтоукладчиках, предназначенных для укладки асфальтобетонных и битумоминеральных смесей на предварительно подготовленное основание, составной частью рабочего оборудования являются скребковые конвейеры — питатели и шнеки. Первыми поступающая из бункера асфальтоукладчика смесь подается на основание дороги, а вторыми осуществляется равномерное распределение смеси по основанию.

В комплект машин для скоростного строительства автомобильных дорог входит ленточный конвейер-перегрузатель, который является навесным оборудованием к профилировщику. С помощью этого конвейера производится отсыпка излишков грунта и материалов из рабочей зоны профилировщика в транспортные средства или на обочину дороги.

### **Теория ленточных, канатных и цепных конвейеров**

В ленточных и канатных конвейерах ведущими звеньями являются приводной барабан или канатоведущий шкив, приводимые во вращение от двигателя через редуктор, а ведомыми - специальные ленты, чаще всего резинотканевые, или канаты, свитые из стальной проволоки. Движение ленте сообщается барабаном за счет трения между его поверхностью и лентой, а канату - также за счет трения между канатом и поверхностью шкива.

В конвейерах ленты выполняют функции тягового и грузонесущего элементов, а канаты - только тягового элемента, сообщающего движение грузу.

С точки зрения лучшей сохранности и надежности гибкого тягового элемента последние два способа повышения тягового усилия являются более предпочтительными.

Для резиновой ленты и чугунного обточенного барабана  $f=0,25...0,35$ ; для барабана, футерованного резиной,  $f=0,35...0,45$ . Коэффициент трения для каната, свитого из стальной проволоки, и чугунного обода канатоведущего шкива в среднем равен  $0,07...0,12$ ; для шкивов, футерованных деревянными брусками, кожаной лентой или алюминием -  $0,20...0,30$ ; для шкивов, футерованных специальной пресс-массой -  $0,30...0,35$ . Коэффициент трения для канатов крестовой свивки несколько выше, чем для канатов односторонней свивки.

Одним из способов, повышающих коэффициент трения между канатом и канатоведущим шкивом или барабаном, является увеличение поверхности контакта трущихся поверхностей, что достигается нарезанием на обode приводного элемента специальных канавок (желобов), в которые при навивке укладываются витки каната.

В цепных конвейерах ведущими элементами являются приводные звездочки, а ведомыми - цепи, движение которым сообщается путем зацепления их звеньев с зубьями звездочек.

В цепных конвейерах цепи чаще всего выполняют функции тягового элемента, а грузонесущими элементами могут быть ковши, пластины, специальные траверсы, соединенные со звеньями цепи, или конструкции, выполненные в виде настилов и лотков.

В отличие от лент и канатов тяговые цепи при равномерном вращении приводной звездочки с частотой перемещаются неравномерно, их движение сопровождается продольными и вертикальными колебаниями, период которых соответствует времени поворота звездочки на один зуб.

Ускорение в свою очередь вызывает динамические нагрузки. Считают, что расчетная динамическая нагрузка, действующая по ходу цепи, равна утроенному произведению приведенной массы  $m$  движущейся цепи и груза на продольное ускорение.

### **Определение сопротивлений движению гибкого тягового элемента**

Сопротивление движению гибкого тягового элемента зависит от его типа и конструкции плоскости, на которую опирается движущийся тяговый орган или перемещаемый груз, а также от угла наклона конвейера.

На участках загрузки и разгрузки определенное влияние на сопротивление движению оказывают конструкции и расположение загрузочных и разгрузочных устройств. При огибании тяговым элементом приводных и направляющих барабанов, шкивов и звездочек и при прохождении криволинейных участков возникают сопротивления, обусловленные трением в подшипниках барабанов, шкивов и звездочек, а также изгибом тягового элемента на них.

При расчете конвейеров массовые нагрузки обычно выражают через распределенную массу (кг/м) грузонесущего элемента и перемещаемого груза, приходящуюся на единицу длины.

Для ковшовых конвейеров, используемых в качестве рабочего оборудования землеройных машин, грузовой является нижняя ветвь гибкого

тягового органа, а холостой - верхняя. Нижняя ветвь тягового элемента (цепи) может перемещаться в направляющих, но чаще она является свободно провисающим участком цепи; в последнем случае усилия на режущей кромке ковша уравниваются начальным (монтажным) натяжением гибкого тягового органа.

Для расчетов можно рекомендовать приближенные значения  $\varphi$ : при перемещении ленточного тягового элемента по опорным роликам с подшипниками качения 0,03...0,04; при перемещении роликовой цепи с роликами на подшипниках скольжения по направляющим 0,08...0,12; то же, с роликами на подшипниках качения 0,03...0,04; при перемещении безроликовой цепи по опорным роликам с подшипниками скольжения 0,12 ... 0,16; то же, но ролики на подшипниках качения 0,05...0,08.

### **Определение натяжений гибкого тягового элемента**

Натяжения в отдельных точках гибкого тягового элемента определяют путем последовательного обхода его замкнутого контура, считая, что натяжение в каждой последующей по ходу точке контура равно натяжению в предыдущей точке плюс сопротивление между этими точками.

Необходимое начальное натяжение гибкого тягового элемента обеспечивается натяжным устройством конвейера, с помощью которого регулируется осевое расстояние между приводным и отклоняющим барабанами (звездочкой).

### **Классификация, область применения машин и оборудования вибрационного действия.**

Вибрационные приводы сообщают колебательное движение рабочим органам машин и оборудования, применяемых для уплотнения, разрушения или перемещения материалов. Возникающие при этом возмущающие силы способствуют лучшему преодолению внутренних и внешних сопротивлений при взаимодействии рабочих органов со средой, что позволяет затрачивать меньшие усилия на выполнение этих процессов.

Источниками колебаний являются вибраторы: механические, электромагнитные, гидравлические и пневматические.

К механическим относятся инерционные и эксцентриковые вибраторы, которые сообщают рабочим органам сотрясательное движение. В инерционных вибраторах возмущающая сила создается при вращении одной или нескольких неуравновешенных масс, а в эксцентриковых — при вращении эксцентрикового вала, который через шатун передает колебательные движения рабочему органу.

Гидравлические и пневматические вибраторы относятся к поршневым, в них жидкость или сжатый воздух через определенную систему отверстий попеременно поступают в подпоршневую и надпоршневую полости цилиндра, сообщая поршню возвратно-поступательное движение. Гидравлические вибраторы могут быть и одностороннего действия; в них прямой ход

совершается под давлением рабочей жидкости, а обратный — под действием возвратных пружин.

В электромагнитных вибраторах якорь при прямом ходе притягивается к электромагниту, обратный его ход совершается с помощью пружин или противоположно расположенного электромагнита.

По характеру действия различают приводы вибрационного и виброударного действия. В приводах виброударного действия в процессе работы одно звено ударяется о другое (например, якорь, снабженный специальным бойком, ударяется о буфер статора электромагнитного вибратора). В этом случае рабочему органу сообщаются не только гармонические колебания, но и передаются дополнительные ударные импульсы.

В оборудовании вибрационного действия, например: в вибрационных отвалах бульдозеров, вибромолотах, виброплитах, в вибровальцах катков, привод передает рабочему органу лишь силовые импульсы, не накладывая какие-либо дополнительные связи на его движение. В этом случае вибратор располагается непосредственно на рабочем органе. Для такого оборудования характерны малая амплитуда и высокая частота колебаний.

Разновидностью вибрационного оборудования являются установки сотрясательного действия или качающиеся конвейеры, приводимые от двигателя через кривошипно-шатунный механизм. В этом случае двигатель (возбудитель колебания) располагается вне конвейера и кинематически связан с ним через ведомое звено передаточного механизма - шатун.

### **Принцип действия инерционных вибраторов**

Наибольшее распространение в дорожно-строительных машинах и оборудовании вибрационного действия получили инерционные вибраторы, в которых возмущающей силой является центробежная сила, создаваемая при вращении неуравновешенной массы (массы дебаланса), соединенной с валом двигателя.

Возмущающая сила, создаваемая дебалансом, вращающимся с некоторой постоянной угловой скоростью  $\omega$ , в каждый момент времени, соответствующий повороту дебаланса на угол  $\varphi = \omega t$ , будет непрерывно изменять свое направление по отношению к координатным осям  $X$  и  $Y$ . Такая возмущающая сила является ненаправленной.

Для того чтобы возмущающая сила была направленной, т. е. действовала бы только в каком-то определенном направлении, например, только вдоль оси  $X-X$  или только вдоль оси  $Y-Y$ , применяют вибраторы типа «самобаланс». Они представляют собой два спаренных вибратора с симметрично расположенными дебалансами, имеющими одинаковые массы, которые вращаются с одинаковыми угловыми скоростями навстречу друг другу.

Принцип работы таких вибраторов заключается в следующем.

При горизонтальном расположении вибраторов дебалансы создают центробежные силы, направленные по горизонтали навстречу друг другу, и так как они равны по значению, их равнодействующая обращается в нуль. В

вертикальном положении дебалансы создают центробежные силы, направленные по вертикали вниз; поэтому их равнодействующая, соответствующая возмущающей силе, равна удвоенному значению центробежной силы каждого дебаланса, т. е.  $F(t) = 2P_{ц}$ .

Таким образом, рассмотренный вибратор обеспечивает направленное действие возмущающей силы только по вертикали вверх- вниз; возмущающая сила  $F(t)$  изменяется от нуля до максимального значения, равного  $2P_{ц}$ .

Существуют схемы действия вибратора того же типа, но у которого спаренные вибраторы расположены по вертикали. В положениях обоих дебалансов горизонтально центробежные силы направлены по горизонтали в одну сторону и так как по значению эти силы равны, то их равнодействующие равны удвоенному значению центробежных сил, т. е.  $F(t) = 2P_{ц}$ . В положениях вертикально разнонаправленно центробежные силы обоих вибраторов направлены по вертикали в разные стороны и их равнодействующие, т. е. возмущающие силы, равны нулю. Во всех промежуточных положениях дебалансов горизонтальные составляющие центробежных сил каждого вибратора будут суммироваться, а вертикальные составляющие - взаимно уравновешиваться.

Таким образом, при вертикальном расположении вибратора типа «самобаланс» возмущающая сила действует только по горизонтали вдоль оси  $X$ , изменяясь от нуля до  $2P_{ц}$ .

Чтобы направление действия возмущающей силы было отлично от горизонтального или вертикального, вибратор «самобаланс» располагают под некоторым углом  $\beta$  к горизонту. В этом случае возмущающая сила  $F(t)$  действует только вдоль оси  $\eta$ , составляющей с горизонталью угол  $\beta$ , и изменяется от нуля до  $2P_{ц}$ .

Если в рабочем оборудовании вибрационного действия желательно получить не только возмущающую силу, но и возмущающий момент, то можно использовать двухбалансовый вибратор, в котором дебалансы одинаковой массы смещены на некоторый угол относительно вертикальной оси и вращаются в разные стороны.

## **16 ОСНОВЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА ПРИВОДОВ И МЕХАНИЗМОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ**

### **Классификация и назначение приводов**

Привод является источником движения машины. Сама машина представляет собой совокупность механизмов, осуществляющих преобразование одного вида энергии в другой, или, кроме того, сообщающих движение рабочим органам, с помощью которых выполняются те или иные рабочие операции.

Основным конструктивным признаком машин является наличие трех основных механизмов: двигательного, передаточного и исполнительного, а также исполнительных или рабочих органов. К этим машинам относятся, в

частности, строительные и дорожные, грузоподъемные, транспортные и многие другие машины, которые отличаются своим назначением и конструкцией.

Двигатели могут быть первичными и вторичными. К первым относятся, например, двигатели внутреннего сгорания (дизели и карбюраторные двигатели), паровые и газовые двигатели. Применяемые в строительных, дорожных и других машинах электрические и гидравлические двигатели являются вторичными, так как они всегда приводятся от первичных (приводных) двигателей и могут работать только совместно с ними.

Передачный механизм (его называют также силовой передачей или трансмиссией) служит для передачи механической энергии от двигателя к исполнительному механизму. Последний непосредственно сообщает рабочим (исполнительным) органам заданные движения.

Передачи могут быть механическими, электрическими, гидравлическими, пневматическими и комбинированными.

Двигатель, передача и аппаратура для управления двигателем и передачей образуют привод машины.

Механические приводы состоят из двигателя и механической передачи.

Основными элементами механических приводов являются:

- коробка передач, служащая для изменения передаваемого от двигателя крутящего момента и частоты вращения выходного вала.

- раздаточные коробки, необходимые для распределения крутящего момента между отдельными механизмами машины, а также между ведущими мостами полноприводных колесных машин; раздаточные коробки могут быть одноступенчатые и двухступенчатые; последние позволяют расширить диапазон передаточных чисел, обеспечиваемых коробкой передач; в состав раздаточной коробки обычно входит дифференциальный механизм;

- коробки (редуктор) отбора мощности — для отбора мощности от общего двигателя (при групповом приводе) и передачи ее к исполнительным органам (рабочему оборудованию) машины;

- карданные передачи, служащие для передачи вращения от одного вала к другому при изменяющемся угле между их продольными осями (карданная передача состоит из специальных карданных шарниров, которые закреплены по обоим концам карданного вала);

- редукторы, служащие для дополнительного увеличения передаточного числа трансмиссии; в механизмах передвижения (хода) такие редукторы образуют так называемую главную передачу [главные передачи колесных машин включают также дифференциальный механизм, позволяющий ведущим колесам вращаться с различными угловыми скоростями, и конечные редукторы, расположенные за дифференциалом рядом или в ступицах ведущих колес; главные передачи гусеничных машин состоят из центрального редуктора, механизма поворота (бортовых фрикционов) и конечных (бортовых) редукторов, непосредственно связанных с ведущими колесами].

Основной частью гидромеханических приводов является гидродинамическая передача (гидравлическая муфта или гидротрансформатор), передающая вращающий момент от двигателя к исполнительным органам

машины через коробки передач, раздаточные коробки, карданные валы и другие элементы.

Основными элементами гидротрансформатора являются насосное колесо, непосредственно или через согласующий редуктор соединенное с валом двигателя; турбинное колесо, жестко связанное с выходным валом; направляющий аппарат (реактор), установленный между насосным и турбинным колесами; шестеренный насос, подающий рабочую жидкость из картера гидротрансформатора через золотник в рабочую полость, образуемую насосным и турбинным колесами.

У гидравлических муфт реактор отсутствует и поэтому они способны только при равенстве моментов изменять передаточное число в зависимости от частоты вращения.

Гидротрансформатор как бы выполняет роль редуктора; силовое передаточное число такого «редуктора» или, как его называют, коэффициент трансформации.

В гидрообъемных приводах энергия передается статически, давлением жидкости, заключенной в некотором объеме, сообщающемся с входом и выходом системы.

Основными элементами объемного гидропривода являются источник гидравлической энергии — насос или аккумулятор; приемник гидравлической энергии — гидродвигатель; органы распределения и регулирования гидравлической энергии; органы защиты — предохранительные клапаны; вспомогательная аппаратура и устройства — баки, фильтры, трубопроводы.

### **Переходные процессы приводов**

Режимы работы приводов характеризуются продолжительностью включения двигателя в течение одного цикла; продолжительностью работы двигателя под нагрузкой и холостую или степенью использования максимальной мощности двигателя; частотой и значением перегрузок при разгоне и торможении.

По продолжительности включения электродвигателей различают длительные режимы работы, для которых продолжительность включения ПВ = 100%, и повторно-кратковременные режимы, когда в течение одного цикла двигатель периодически включается и выключается (ПВ < 100 %). Длительные режимы работы характерны для машин непрерывного действия, а повторно-кратковременные — для машин периодического действия.

Каждое включение и выключение двигателя сопровождается его пуском и остановом. В период пуска частота вращения вала двигателя и связанных с ним элементов привода изменяется от нуля до заданного (номинального) значения, соответствующего установившемуся движению; в период торможения («выбега» двигателя) их скорость изменяется от скорости установившегося движения до нуля. Как видим, в обоих случаях возникают ускорения — положительные при пуске или разгоне и отрицательные — при торможении, в результате чего на элементы механизма кроме усилий, обусловленных

полезными сопротивлениями на рабочем органе и сопротивлениями трения в сочленениях звеньев механизма, действуют еще и инерционные.

Динамические явления, возникающие при разгоне и торможении, характеризуют так называемые переходные процессы приводов (в эти периоды имеет место переход от неустановившегося движения к установившемуся и обратно). Рассмотрим основные характеристики этих процессов.

**Разгон машины.** Для сообщения движения машине при трогании ее с места необходимо затратить работу, равную сумме работ  $A_c$  всех сил сопротивления в течение времени разгона и кинетической энергии, которую при разгоне накапливают движущиеся массы машины.

**Установившееся движение машины.** Чтобы машина двигалась с постоянной скоростью, работа движущих сил должна быть равна работе всех сил сопротивления, или избыточное усилие, развиваемое на движущем звене механизма, должно равняться нулю ( $M_{изб} = 0$ ;  $P_{изб} = 0$ ).

**Торможение машины.** Чтобы остановить машину, нужно поглотить кинетическую энергию, накопленную при движении, для чего необходимо затратить дополнительную работу, численно равную накопленной кинетической энергии.

Эффект торможения можно достигнуть разными способами:

а) выключением двигателя и остановкой механизма за счет трения в его кинематических парах и внешних сопротивлениях движению;

б) уменьшением момента двигателя до значения, меньшего значения момента от сил сопротивления, приведенного к валу двигателя;

в) изменением направления момента на валу двигателя; этот способ применяется при резком торможении;

г) приложением тормозящего усилия от внешнего источника (механических тормозов) при работающем или одновременно выключаемом двигателе.

К переходным процессам относится также стопорение приводов, возникающее при встрече машины или ее рабочего органа с труднопреодолеваемым препятствием. В этом случае ввиду скоротечности процесса остановка двигателя и нагружение машины динамическими силами не сопровождаются какими-либо перемещениями корпуса машины и ее рабочего оборудования, что вызывает повышение напряжения в элементах механизма.

В зависимости от характера сопротивлений, возникающих в механизме, они могут либо помогать его затормаживанию (например, силы трения в механизмах передвижения и вращения), либо препятствовать ему (например, сила тяжести груза в механизмах подъема). В первом случае величину  $M_c$  учитывают со знаком «минус», так как при этом потребный тормозящий момент снижается, а во втором случае — со знаком «плюс».

**Продолжительность переходных процессов.** Пусковой и тормозной режимы работы приводов, а также их стопорение, относятся к переходным (нестационарным, неустановившимся) процессам. От характера и продолжительности их протекания во многом зависит физическая картина формирования динамических нагрузок в элементах привода и на рабочих

органах машины. От продолжительности процесса разгона зависит такое важное качество машин, как приемистость, т. е. способность машины быстро набирать заданную скорость движения и переходить от одного режима движения к другому, а это является немаловажным фактором, определяющим продолжительность рабочего цикла машины и ее производительность.

От продолжительности процесса торможения, кроме того, во многом зависит безопасность работы машины: чем меньше время торможения, тем выше безопасность.

Движущее и тормозящее усилия, а следовательно, и избыточные усилия при разгоне и торможении в общем случае изменяются во времени в соответствии с характеристиками привода и тормозных систем.

## **17 ХОДОВЫЕ СИСТЕМЫ МАШИН**

Ходовая система помимо удовлетворения общих требований, предъявляемых ко всем агрегатам и системам трактора, должна обеспечивать:

- высокие тягово-сцепные качества и проходимость трактора;
- малое сопротивление движению трактора;
- допустимое уплотняющее воздействие движителя сельскохозяйственного трактора на почву (ГОСТ 26955-86);
- необходимую плавность хода трактора.

### **Ходовая система колесного трактора**

Ходовая система колесного трактора состоит из движителя в виде ведущих и ведомых колес, которые могут быть одновременно управляемыми, и подвески, соединяющей колеса с оловом трактора.

**Установка управляемых колес** на переднем мосту должна обеспечивать устойчивое прямолинейное движение, легкость поворота трактора, а также качение колес с минимальной затратой мощности, минимальным износом шин и отсутствием колебаний.

Для удовлетворения указанных требований управляемые колеса и их поворотные цапфы устанавливают под определенными углами в продольной, поперечной и горизонтальной плоскостях трактора.

Боковой наклон (развал) колес выполняют в поперечной плоскости под с целью:

- облегчения поворота трактора, так как при этом уменьшается плечо обкатки и, следовательно, момент, необходимый для поворота колеса;
- разгрузки малого наружного подшипника ступицы колеса и мест крепления подшипников, так как при такой установке колес возникает осевая сила, прижимающая ступицу колеса к внутреннему большому подшипнику;
- компенсации износа в шарнирах и подшипниках, а также деформации деталей переднего моста, не допуская при этом нулевого и отрицательного развала.

Вместе с тем установка управляемых колес с развалом под углом вызывает стремление колеса повернуться в сторону наклона. Однако колеса, связанные с трактором, будут двигаться по прямой, но с некоторым боковым скольжением, вызывающим ускоренный износ шин и увеличение расхода топлива.

Для устранения этого явления применяют схождение управляемых колес в горизонтальной плоскости. Для этого их устанавливают с некоторым наклоном вперед под углом  $\delta$ . Схождение колес определяют разностью расстояний  $B_2$  и  $B_1$ , что составляет 2... 12 мм и соответствует углу схождения  $\delta$ , не превышающему  $1^\circ$ .

Боковой наклон шкворня поворотной цапфы в поперечной плоскости под углом  $\beta$  уменьшает плечо  $a$  обкатки и улучшает устойчивость прямолинейного движения трактора, так как при повороте колес действует стабилизирующий момент, возвращающий колесо в продольную плоскость. Стабилизирующий момент возникает вследствие подъема передней части трактора при обкатывании колеса вокруг наклонного шкворня. Поэтому его очень часто называют весовым стабилизирующим моментом. При этом весовой стабилизирующий момент зависит от угла наклона  $\beta$  шкворня (у современных тракторов 2...10°), веса трактора, приходящегося на управляемые колеса, и не зависит от скорости движения.

### **Расчет элементов балки переднего моста**

Отечественные колесные тракторы классов 0,6... 1,4 имеют передние мосты с балками порталного типа, выполненными из телескопически сопряженных труб, позволяющих изменять ширину колеи, и Г-образных поворотных цапф, обеспечивающих необходимый дорожный просвет. На универсальных тракторах и тракторах общего назначения применяют, как правило, передние ведущие мосты соосного типа, отличающиеся расположением на одной оси балки ведущего моста и колес. При этом на универсальных тракторах передний мост может быть выполнен управляемым с балкой, качающейся вокруг поперечной оси, или с балкой, установленной на рессорах. На тракторах общего назначения передний мост выполняют неуправляемым с балкой, установленной на рессоры или жестко закрепленной на остовае.

Условия нагружения балок зависят от конструкции подвески, режима движения трактора и конструкции полуосей ведущего моста. Обычно балки мостов рассчитывают на изгиб и кручение. При этом динамический характер нагружения балки учитывают коэффициентом динамичности. При расчете принимают следующие допущения:

- 1) вес трактора в статическом положении распределяется по бортам равномерно;
- 2) момент, передаваемый через межколесный дифференциал ведущего моста, распределяется между колесами поровну;
- 3) ведущие мосты имеют полностью разгруженные полуоси.

Напряжения в балке моста определяют в зависимости от конструкции моста (ведущий или ведомый, управляемый или неуправляемый и есть ли в нем

тормоза) для различных случаев нагружения. Так, напряжения в ведущем мосту с тормозами определяют: при максимальной силе тяги и максимальной тормозной силе; при заносе на повороте и при переезде препятствия. При отсутствии тормозов - при максимальной силе тяги, заносе на повороте и при переезде препятствия. Если мост является только управляемым и без тормозов, то напряжения определяют при заносе на повороте и при переезде препятствия. Если управляемый мост выполнен с тормозами, то дополнительно определяют напряжения в балке моста при максимальной тормозной силе на передних колесах.

Рассмотрим наиболее общий случай, когда передний мост является ведущим и управляемым и в нем установлены тормоза.

При действии максимальной силы тяги или максимальной тормозной силы принимают, что коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью  $f = 0,7 \dots 0,8$ .

Расчет балки моста выполняют отдельно для тягового и тормозного режимов работы трактора.

При расчете балки моста в режиме заноса трактора на повороте принимают допущение, что продольная сила на колесах отсутствует и коэффициент сопротивления боковому сдвигу каждого из колес  $\varphi' = 1$ .

При переезде препятствия предполагают, что продольные и поперечные силы в точках контакта колес с опорной поверхностью отсутствуют, а вертикальные реакции на левых и правых колесах моста равны и достигают максимального значения.

**Расчет балок задних мостов** тракторов выполняется аналогично.

Ось поворотной цапфы рассчитывают на изгиб. Максимальный изгибающий момент зависит от режима нагружения балки моста:

- для тягового или тормозного режима;
- в режиме заноса трактора;
- переезде препятствия.

Шкворень поворотной цапфы рассчитывают на изгиб и срез для тягового и тормозного режимов нагружения балки моста и в режиме заноса трактора.

### **Ходовые системы с гусеничным движителем**

Ходовая система гусеничного трактора состоит из гусеничного движителя и подвески. Первая функция выполняется двумя гусеничными движителями, расположенными по обеим сторонам трактора, а последняя - подвеской, соединяющей движители с остовом.

Гусеничные тракторы по сравнению с колесными более материалоемки, их движители конструктивно сложнее, металлические гусеницы создают более высокий уровень шума, а срок их службы в большинстве случаев меньше. Они менее универсальны при использовании в сельскохозяйственном производстве и на транспортных работах, так как имеют более низкие транспортные скорости и в ряде случаев движение с металлическими грунтозацепами по дорогам с твердым покрытием запрещено.

Кроме общих требований, предъявляемых ко всем агрегатам и системам трактора гусеница должна обеспечивать высокие сцепные качества независимо от фона опорной поверхности, небольшое сопротивление движению трактора, а для сельскохозяйственных тракторов - допустимое уплотняющее воздействие на почву (ГОСТ 26955-86).

Современные гусеницы классифицируют:

по типу их общей конструкции - традиционные, состоящие из отдельных металлических шарнирно соединенных звеньев; монолитные резиноармированные (РАГ);

по конструктивному выполнению металлических звеньев - составные и цельнолитые;

по типу беговой дорожки опорных катков - рельсовые и плоские;

по расположению шарнира на звене - приподнятый и опущенный;

по типу шарнира - закрытый, открытый, упругий (резинометаллический).

Звено составной гусеницы состоит из штампованных рельсов, к которым крепится опорная плита с грунтозацепами. Шарнирное соединение звеньев осуществляется с помощью запрессованных в рельсы пальцев и втулок. При этом получается закрытый металлический шарнир (ЗМШ). Для повышения долговечности таких шарниров и снижения в них потерь на трение в некоторых их конструкциях применяют жидкостное смазывание пар трения и дополнительные уплотнения.

Основные недостатки составных гусениц:

- большая металлоемкость (до 25 % массы трактора);

- сложность и трудоемкость изготовления по сравнению с цельнолитыми гусеничными звеньями;

- сложность в эксплуатации, требующая специальных прессовых приспособлений для их разборки и сборки во время ремонта.

Однако несмотря на отмеченные недостатки, составные гусеницы имеют весьма широкое применение на промышленных тракторах, особенно больших тяговых классов, работающих на песчаных грунтах, главным образом из-за высокой долговечности шарниров закрытого типа и ремонтпригодности составных звеньев гусениц.

Цельнолитые звенья гусениц изготавливают отливкой из высокомарганцовистых сталей Г13Л или 110Г13Л. По типу беговой дорожки они могут быть плоскими или рельсовыми.

Звенья гусеницы соединены между собой закаленными пальцами, выполненными из стали 65Г или 55. В результате получается открытый металлический шарнир (ОМШ).

Преимуществом литых плоских звеньев по сравнению с составными являются простота изготовления и обслуживания, небольшая стоимость и относительно малая масса (10... 15 % и массы трактора).

Основные недостатки этих звеньев низкая долговечность, не превышающая на обычных почвах 1200...2000 ч, а на песчаных даже 250...350 ч. Объясняется это тем, что ОМШ низкого расположения позволяет абразиву свободно проникать в проушины и в результате быстрого изнашивания их и

соединительных пальцев звено становится неремонтопригодным. Кроме того, у гусениц с цельнолитыми звеньями выше сопротивление качению опорных катков по плоским беговым дорожкам, покрытым землей при работе трактора на мягких и рыхлых грунтах.

Чтобы повысить срок службы шарниров плоских литых гусениц предложено много способов, среди которых наиболее перспективным является применение резинометаллических шарниров (РМШ). Долговечность современных конструкций цельнолитых гусениц с РМШ достигает 5000...6000 ч. Однако, несмотря на значительное повышение долговечности РМШ и меньшую шумность работы гусеницы, их широкое применение на тракторах ограничено повышенной стоимостью производства и сложностью обслуживания в эксплуатации.

Более перспективны РАГ с закладными металлическими элементами, зацепляющимися с ведущим колесом.

РАГ начинают находить все более широкое применение в современных тракторах, благодаря следующим положительным качествам:

- высокой долговечности (до 6000 ч), примерно в два раза больше по сравнению с гусеницами с открытыми металлическими шарнирами;
- возможностью выполнения трактором транспортных работ на асфальтовом и бетонном покрытиях без их разрушения;
- меньшим на 25...30 % уплотняющим воздействием на почву при одинаковой ширине с металлическими гусеницами;
- возможностью установки РАГ на серийный гусеничный трактор без переделки конструкции движителя.

Кроме того, они обладают хорошей самоочищаемостью от грязи при любой влажности, а форма грунтозацепов исключает сползание трактора при работе на склонах.

Недостатками РАГ подобного являются сложность производства и установки гусеницы на трактор в полевых условиях.

С целью снижения напряжений кручения в резиновых втулках шарнира звенья гусеницы при сборке соединяют под углом. В результате уменьшается угол закручивания резиновых втулок шарнира. В существующих конструкциях гусениц с последовательными РМШ угол между звеньями  $p = 10...14^\circ$ , а с параллельными РМШ угол между звеньями и скобами  $p = 6...8^\circ$ .

Для изготовления РМШ используют резины марок ИПР-1392 (на основе натурального каучука) и ИПР-1393 (на основе синтетического каучука).

## **18 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ Коробки передач с неподвижными осями валов Общие сведения о коробках передач**

Коробка передач (КП) предназначена для изменения общего передаточного числа трансмиссии, что обеспечивает:

- получение необходимой величины крутящего момента на ведущих колесах трактора при неизменном крутящем моменте двигателя;
- получение различных скоростей движения трактора вперед при наиболее рациональной нагрузке двигателя;
- движение трактора задним ходом и длительную его стоянку при работающем двигателе вхолостую или при приводе стационарных агрегатов от ВОМ.

По способу изменения передаточного числа КП подразделяют на бесступенчатые, ступенчатые и комбинированные.

Бесступенчатые КП позволяют в определенном диапазоне передаточных чисел иметь любое его значение, что позволяет МТА работать в наиболее благоприятном режиме.

Ступенчатые КП позволяют в заданном диапазоне передаточных чисел иметь определенное число постоянных их значений, выбранных исходя из наиболее производительной и экономичной работы МТА на каждой из них.

Комбинированные КП применяют в тех случаях, когда необходимо бесступенчатое регулирование передаточных чисел, но их заданный диапазон выше возможностей обычных бесступенчатых КП. В этом случае применяют комбинацию двух КП: ступенчатая с небольшим числом передач охватывает весь диапазон передаточных чисел, а в полученных интервалах работа МТА обеспечивается бесступенчатой КП.

Кроме общих, предъявляемых ко всем механизмам требований (минимальная собственная масса, простота и надежность конструкции, невысокая стоимость), КП должна обеспечивать:

- достаточный диапазон передаточных чисел для производительной работы трактора в заданном интервале тяговых усилий;
- возможность выбора передаточных чисел для наиболее производительной и экономичной работы МТА при оптимальной нагрузке его двигателя;
- высокий КПД;
- быстроту и легкость переключения передач.

В большинстве промышленных тракторов применяют комбинированные гидромеханические передачи, где наряду с гидротрансформаторами обязательно имеются ступенчатые диапазонные КП. Гидрообъемные и электрические трансмиссии, в которых практически не используются диапазонные КП, применяют в весьма ограниченных количествах, причем последние - только в особо мощных промышленных тракторах. Бесступенчатые механические КП в тракторах практически не применяют ввиду недостаточной их надежности.

Таким образом, в современном тракторостроении ступенчатые КП, как основные, так и диапазонные продолжают занимать доминирующее положение.

Ступенчатые КП классифицируют:

- по способу образования шестеренной передачи;
- по способу зацепления шестерен;
- по методу переключения передач;
- по способу управления;
- по расположению валов КП относительно продольной оси трактора;

- по конструктивной компоновке;
- по кинематической схеме.

По кинематической схеме КП подразделяют на двухвальные, трехвальные, составные и специальные. Термины двух- и трехвальные КП относят только к способу получения передач рабочего диапазона. Для получения передач других диапазонов и заднего хода в этих КП обычно имеются дополнительные валы и шестерни. Входной и выходной валы этих КП обычно называют первичным и вторичным.

В двухвальной КП поток мощности с первичного на вторичный вал передается только через одну пару шестерен, в трехвальной - через две пары шестерен, что приводит к снижению КПД передачи.

Составные КП представляют собой комбинации двухвальных, трехвальных и планетарных КП, которые соединяют последовательно для увеличения общего передаточного числа и числа передач.

Специальные КП имеют кинематические схемы, отличные от рассмотренных. К ним относят и разнообразные схемы планетарных КП.

### **Выбор основных параметров коробки передач**

Проектирование КП можно разделить на два этапа: определение передаточных чисел, обеспечивающих заданные тяговые и экономические показатели трактора; определение режимов нагружения, расчет и конструирование основных узлов и деталей.

Расчет КП выполняется в следующей последовательности.

1. На основании технических и эксплуатационных требований к трактору, а также с учетом возможностей производства выбирают тип КП и ее кинематическую схему.

2. На основании тягового расчета определяют общие передаточные числа трансмиссии трактора на рабочих передачах, а с учетом заданных в техническом задании скоростей движения - передаточные числа трансмиссии на остальных передачах.

3. Распределяют передаточные числа трансмиссии по агрегатам трактора.

4. Находят передаточные числа КП на всех передачах.

5. Устанавливают расчетные режимы и определяют основные размеры деталей КП, одновременно производя компоновку и увязку размеров.

Современные КП обеспечивают получение от 5 до 36 и более передач переднего хода. Все передачи подразделяются на четыре диапазона, характерные для назначения трактора: рабочий, резервный, транспортный и технологический.

Анализ тенденций развития мирового тракторостроения показывает, что в ближайшие годы транспортные скорости гусеничных тракторов возрастут до 7...8,3 м/с (25...30 км/ч), а колесных - до 11,1 ...13,9 м/с (40...50 км/ч), что потребует иметь в КП в зависимости от назначения трактора 1-6 транспортных передач с разбивкой передаточных чисел по геометрической прогрессии.

В последние годы появились колесные тракторы, максимальная транспортная скорость движения которых составляет 22,2... 25 м/с (80...90 км/ч).

Технологический диапазон необходим для выполнения работ, требующих стабильных небольших технологических скоростей движения МТА, особенно в сельскохозяйственном производстве и для тракторов трубоукладчиков. Так, в соответствии с требованиями сельскохозяйственного производства технологические скорости трактора составляют 0,056... 1,0 м/с (0,2... 3,6 км/ч). Число передач в этом диапазоне в современных универсальных тракторах наибольшее - достигает 12-16.

Количество передач заднего хода обычно одна-две, но встречается и большее их число, вплоть до полностью реверсивных КП, когда число передач вперед и назад одинаковое.

В промышленных тракторах-бульдозерах желательно иметь КП с полным реверсом. При этом для повышения производительности МТА скорости заднего хода должны примерно 1,25 раза превышать скорости переднего хода.

Общее передаточное число трансмиссии является произведением передаточных чисел механизмов, из которых она состоит.

### **Конструирование и расчет элементов коробки передач**

**Зубчатые передачи.** Габаритные размеры, металлоемкость и срок службы трансмиссии трактора в значительной степени зависят от параметров зубчатых передач. Передачи с параллельными валами осуществляются цилиндрическими зубчатыми колесами, с пересекающимися валами - коническими зубчатыми колесами, а с перекрещивающимися валами - гипоидными передачами.

В тракторных трансмиссиях для изготовления зубчатых колес применяют, в основном, малоуглеродистые легированные стали марок 20Х, 12ХНЗА, 18ХГТ, 20ХНЗА и другие, подвергаемые цементации. После цементации и термической обработки твердость поверхности зубьев составляет 56...63 НРС при глубине слоя цементации 0,8...1,5 мм. Применяют также и среднеуглеродистые легированные стали 35ХГТ, 45Х, 45ХН и другие, которые после закалки ТВЧ обеспечивают твердость поверхности зубьев НРС 53...58.

Форма и размеры зубчатых колес определяются кинематической схемой КП, способом изготовления, а также силами, действующими в зацеплении колес.

Термической обработке подвергают и ступицы колес с целью повышения долговечности их шлиц.

Цилиндрические зубчатые колеса применяют как с прямым, так и с косым зубом. Более перспективны косозубые цилиндрические колеса, так как при одинаковых размерах с прямозубыми они обладают большей несущей способностью и меньшей шумностью. Однако они дополнительно нагружают опоры валов осевой силой. Поэтому в случае применения косозубых цилиндрических зубчатых колес в КП стремятся по возможности уравновесить осевые силы в зацеплениях рядом расположенных зубчатых колес.

Конические зубчатые колеса применяют только с круговым зубом и в большинстве случаев с нулевым средним углом наклона зуба.

Конические гипоидные передачи на тракторах применяют редко.

**Валы.** Правильно подобранные размеры и материал валов во многом определяют надежность зубчатых колес и подшипников. Форма вала и нагрузки, которые он воспринимает, зависят от кинематической схемы КП.

В зависимости от конструкции валов для их изготовления используют различные материалы. Если валы не имеют зубчатых колес, выполненных с ними как одно целое, то применяют углеродистые стали 40, 45 и др. Если же вал выполняют за одно целое с зубчатым колесом, то материал вала определяется материалом зубчатого колеса.

Валы тракторных КП рассчитывают на прочность, сопротивление усталости и жесткость.

Одним из основных требований, предъявляемых к валам, является жесткость. При недостаточной жесткости деформация вала вызывает нарушение зацепления и быстрый выход из строя зубчатых колес, а также разрушение подшипников.

При проектировании валов исходными данными служат размеры и расположение сопрягаемых деталей и действующие нагрузки (крутящий момент и силы в зацеплении зубчатых колес).

Проектный расчет вала выполняют на кручение по пониженным допускаемым напряжениям кручения (для учета напряжений изгиба).

**Шлицевые и шпоночные соединения валов** рассчитывают на смятие. Твердость шлицев после термической обработки должна быть 50...60 HRC. При этом допускаемое напряжение смятия для подвижного шлицевого соединения  $[\sigma]_{ш} = 25...30 \text{ МПа}$ , а для неподвижного  $[\sigma]_{см} = 100...120 \text{ МПа}$ . Шлицы могут иметь как прямобочный, так и эвольвентный профиль.

**Подшипники.** В трансмиссиях тракторов чаще всего применяют подшипники качения. Исключением являются передачи заднего хода и шестерни постоянного зацепления, для которых иногда применяют подшипники скольжения. Наибольшее распространение получили однорядные шарикоподшипники и реже роликоподшипники. Последние применяют в тех случаях, когда шарикоподшипники не проходят по грузоподъемности или габаритным размерам.

В случае восприятия опорами валов и осей одновременно с радиальными и осевыми нагрузками применяют радиально-упорные шарикоподшипники или конические роликоподшипники. Здесь необходимо отметить, что эти типы подшипников требуют обязательной регулировки.

В конструкциях привода управления сцеплением наряду с радиальными шариковыми с повышенным радиальным зазором применяют радиально-упорные шарико- и роликоподшипники и упорные шарикоподшипники.

Игольчатые подшипники служат для восприятия повышенных радиальных сил при малых частотах вращения и малых радиальных размерах места для размещения подшипника.

Двухрядные шариковые и роликовые сферические подшипники устанавливаются в условиях значительных перекосов валов (до  $2...3^\circ$ ).

Подшипники качения рассчитывают на контактную прочность и сопротивление усталости рабочих поверхностей на основе формулы Герца-Беляева.

**Картер коробки передач** при минимальной массе должен обладать высокой жесткостью для исключения перекоса валов и подшипников при рабочих нагрузках. Форма и размеры картера зависят от кинематической схемы КП, расположения валов и размеров зубчатых колес. Конструктивно картеры КП разделяют на разъемные по осям валов и неразъемные. Более высокой жесткостью обладают неразъемные картеры.

Долговечность трущихся деталей КП в значительной степени определяется способом смазывания и качеством смазочного материала. Наибольшее распространение получило смазывание деталей КП разбрызгиванием. В современных конструкциях КП широко используется принудительное и комбинированное смазывание.

Принудительное смазывание примерно в 1,7 раза повышает долговечность зубчатых колес и в 2 раза долговечность подшипников.

### **Планетарные коробки передач**

Планетарная коробка передач (ПКП) представляет собой соединение нескольких планетарных рядов, различное сочетание которых обеспечивает получение необходимого диапазона передаточных чисел и числа передач. Включение передач в ПКП достигается торможением или блокировкой отдельных ее звеньев.

Применение ПКП дает **ряд преимуществ** по сравнению с коробками передач с неподвижными осями валов:

- увеличивается средняя скорость машины за счет сокращения времени на переключение передач;
- малые габариты и более высокий КПД за счет передачи части энергии в переносном вращательном движении без потерь;
- в ПКП центральные звенья планетарных рядов разгружены от усилий, что облегчает работу подшипников.

**К недостаткам ПКП** относят:

- сложность проектирования и изготовления;
- высокая стоимость;
- склонность к возбуждению крутильных колебаний из-за больших вращающихся масс;
- необходимость специального обеспечения работы в условиях низких температур.

Несмотря на отмеченные недостатки и ввиду ряда серьезных преимуществ ПКП широко применяют в трансмиссиях быстроходных гусеничных машин, мощных промышленных тракторов и автомобилей. ПКП часто используют в качестве увеличителя крутящего момента в сельскохозяйственных тракторах.

## **Классификация планетарных коробок передач**

ПКП классифицируются по числу степеней свободы, типу применяемых трехзвенных дифференциальных механизмов - планетарных рядов и числу передач.

По числу степеней свободы в выключенном положении ПКП подразделяются на коробки с двумя, тремя и четырьмя степенями свободы.

Для получения вполне определенного передаточного числа в ПКП необходимо иметь только одну степень свободы. Все остальные должны быть сняты путем наложения связей.

Следовательно, число степеней свободы ПКП равно числу наложенных связей плюс единица.

Если для включения заданной передачи необходимо включить один тормоз или один фрикцион, т.е. наложить одну связь, то такая ПКП имеет две степени свободы.

В ПКП с тремя степенями свободы для включения передачи нужно наложить две связи, т.е. затянуть одновременно один или два тормоза и включить один или два фрикциона.

При необходимости получения большого числа передач применяют составные коробки передач, включающие две ПКП, соединенные последовательно.

По типу применяемых трехзвенных дифференциальных механизмов (ТДМ) - планетарных рядов - ПКП классифицируют на использующие ТДМ со смешанным зацеплением шестерен, с внешним зацеплением шестерен, а также те и другие механизмы.

В настоящее время наиболее широкое распространение получили ПКП, выполненные из ТДМ со смешанным зацеплением шестерен.

Классификация ПКП по числу передач учитывает все передачи, включая и передачи заднего хода.

## **19 РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ СЦЕПЛЕНИЯ**

### **Назначение и требования к сцеплению**

Сцепление представляет собой узел трансмиссии, передающий во включенном состоянии крутящий момент и имеющий устройство для кратковременного его выключения. Сцепление предназначено для плавного трогания автомобиля и кратковременного разъединения двигателя и трансмиссии при переключении передач и предотвращения воздействия на трансмиссию больших динамических нагрузок, возникающих на переходных режимах.

С учетом назначения, места в схеме передачи энергии трансмиссией автомобиля, к сцеплению предъявляются следующие специфические требования:

1. Надежная передача крутящего момента от двигателя к коробке передач. Обеспечивается необходимым запасом момента сцепления (момента трения) на всех режимах работы двигателя, сохранением нажимного усилия в необходимых пределах в процессе эксплуатации.

2. Полнота включения, т. е. отсутствие пробуксовывания ведущих и ведомых деталей сцепления, обеспечивающая надежную передачу крутящего момента двигателя. Достигается в эксплуатации наличием зазора в механизме выключения и недопущением попадания смазочного материала на трущиеся поверхности.

3. Полнота («чистота») выключения, обеспечивающая полное разъединение двигателя и трансмиссии. Достигается заданной величиной рабочего хода подшипника выключения и соответственно рабочим ходом педали сцепления.

4. Плавное включение, обеспечивающее заданную интенсивность трогания с места автомобиля или после включения передачи. Достигается конструкцией сцепления, его привода и темпом отпуска педали водителем.

5. Предохранение трансмиссии и двигателя от перегрузок и динамических нагрузок. Достигается оптимальной величиной запаса момента сцепления, установкой в нем гасителя крутильных колебаний, специальными мероприятиями в конструкции ведомых дисков.

6. Малый момент инерции ведомых деталей сцепления, снижающий ударные нагрузки на зубья колес при переключении передач.

7. Обеспечение нормально теплого режима работы и высокой износостойкости за счет интенсивного отвода тепла от поверхностей трения.

8. Хорошая уравновешенность с целью исключения «биений» и соответственно динамических нагрузок при работе сцепления.

9. Легкость и удобство управления, возможность автоматизации процессов включения и выключения.

К сцеплениям предъявляют и общие конструкционные требования, такие как: простота устройства, малая трудоемкость и удобство технического обслуживания; минимальные размеры и масса; технологичность и низкая стоимость производства; ремонтпригодность; низкий уровень шума.

### **Анализ существующих конструкций сцепления**

В современном автостроении применяются фрикционные, гидравлические и электромагнитные типы сцепления.

Фрикционные сцепления бывают: полуцентробежные, с созданием нажимного усилия пружинами, с автоматической регулировкой нажимного усилия, с созданием нажимного усилия электромагнитными силами (Рис. 19.1)

Фрикционные сцепления получили основное распространение.

Данный тип сцеплений неприхотлив в эксплуатации, конструктивно прост, имеет малые трудовые затраты в изготовлении и эксплуатации. Конструкция данного типа сцепления обеспечивает выполнение всех требований, предъявляемых к автомобильным транспортным средствам. Передача крутящего момента осуществляется за счет сил трения нажимным, фрикционным и опорным дисками. Обеспечение величины силы трения

осуществляется нажимными пружинами. Сцепление оборудовано узлами гашения крутящих колебаний. Выключение и плавное включение сцепления осуществляется системой рычагов и упорным подшипником.

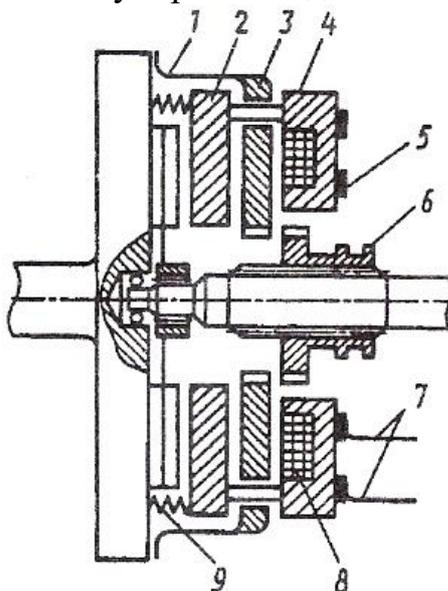


Рисунок 19.1 - Фрикционное сцепление с созданием нажимного усилия электромагнитными силами: 1 – кожух; 2 – нажимной диск; 3 – якорь электромагнита; 4 – диск; 5 – контактные кольца; 6 – муфта блокировки сцепления; 7 – щетки; 8 – электромагнит; 9 – пружины.

Гидравлическое сцепление (рис. 19.2) в основе нашло применение в транспортной технике, работающей в трудных дорожных условиях, где требуется мягкая передача крутящего момента от двигателя к трансмиссии. Конструктивно данное сцепление сложное, критично к эксплуатационному обслуживанию, требуется постоянный контроль за состоянием деталей сцепления и рабочей гидрожидкости. Конструкция сцепления представляет собой гидронасос и турбину. Передача крутящего момента и плавность работы происходит за счет движения рабочей жидкости между насосом и турбиной. Выключение сцепления производится за счет удаления рабочей жидкости из сцепления.

Электромагнитное сцепление (рис. 19.3) предназначено для применения в автоматических системах трансмиссии. Конструктивно данный тип сцеплений представляет собой электромагнит с ферромагнитным рабочим веществом. Включение сцепления производится подачей в катушки электромагнита рабочего напряжения. Основной недостаток данного типа сцепления заключается в том, что катушка сцепления во все время работы находится под напряжением, что сокращает срок эксплуатации, жесткое включение сцепления. Данный тип сцепления применяется в ограниченных видах транспортной техники.

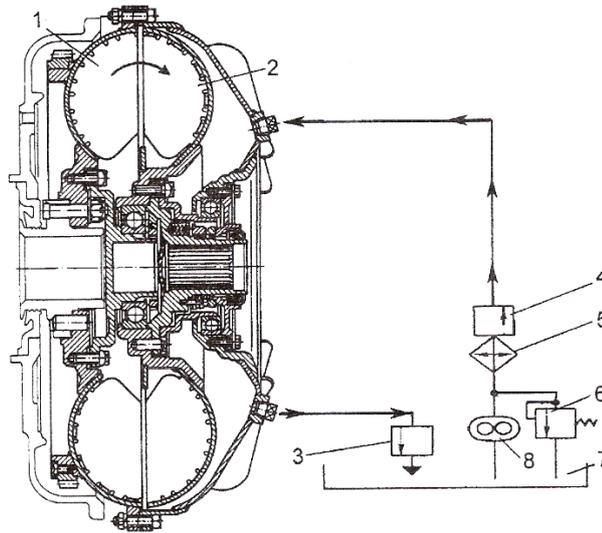


Рисунок 19.2 - Гидромуфта: 1 – насосное колесо; 2 – турбинное колесо; 3 – клапаны опорожнения; 4 – клапаны заполнения; 5 – радиатор; 6 – предохранительный клапан; 7 – бак; 8 – насос питания.

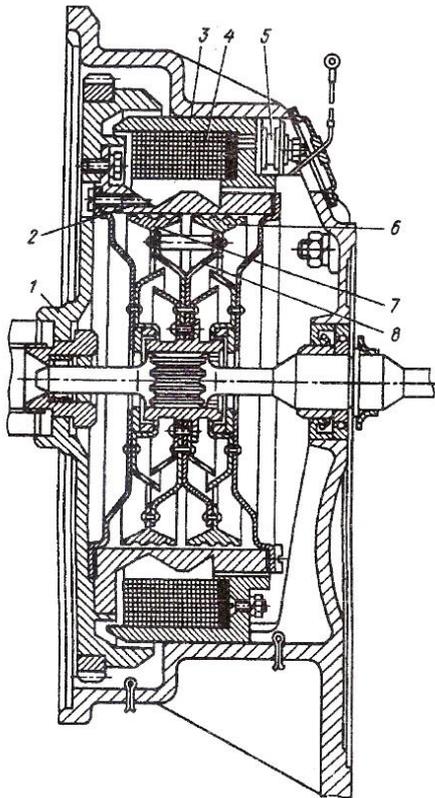


Рисунок 19.3 - Электромагнитное порошковое сцепление

1 – маховик; 2,3,6,7 – магнитопровод; 4 – обмотка возбуждения; 5 – вывод; 8 – диски из немагнитного материала

Выбор конструктивной схемы включения принятия решений по следующим вопросам: тип сцепления и привода, число ведомых дисков, тип и число нажимных пружин, размеры фрикционных накладок, значение коэффициента запаса сцепления.

В современных автомобилях наибольшее распространение получили сухие фрикционные одно- и двухдисковые сцепления с неавтоматическим механическим приводом. Другие типы сцепления применяются, в основном, на специальных автомобилях. Механический привод применяется при размещении педали сцепления вблизи от сцепления. Гидравлический привод имеет более

высокий КПД, обеспечивающий лучшую герметичность кабины (кузова), позволяет использовать подвесную педаль и проще по конструкции при значительном удалении педали от сцепления и опрокидывающейся кабине.

На основании вышеизложенного, а также достаточно высокого КПД соответствия всем требованиям к сцеплению выбираю на проектируемый автомобиль сухое фрикционное однодисковое сцепление с гидравлическим приводом.

Диафрагменные (тарельчатые) пружины получили широкое применение в сцеплениях легковых и изготовленных на их шасси грузовых автомобилях. Обычно применяют пружину, хотя известны конструкции с двумя пружинами (грузовые автомобили). На грузовых автомобилях, как правило, используются сцепления с периферийным расположением цилиндрических витых пружин.

Требуемое нажимное усилие на поверхностях трения вычисляется по формуле

$$P_{\text{нж}} = \frac{4 \cdot M_{\text{EMAX}} \cdot \beta}{\mu \cdot i \cdot (D_{\text{H}} + D_{\text{B}})}$$

где  $\beta$  - коэффициент запаса сцепления, принимаем  $\beta = 1,8$ ;

$\mu$  - коэффициент трения, принимаем  $\mu = 0,3$ ;

$i$  - число поверхностей трения, у однодискового сцепления  $i = 2$

Удельное давление на фрикционные накладки

$$q = \frac{4 \cdot P_{\text{нж}}}{\pi \cdot (D_{\text{H}}^2 - D_{\text{B}}^2)}$$

Величина  $q$  оказывает существенное влияние на интенсивность износа накладок и не должна превышать рекомендуемых значений (0,15...0,25 МПа)

Для расчета работы буксования используют формулы, базирующиеся на статической обработке экспериментальных данных. Для практических расчетов может быть использована следующая формула

$$L_{\text{б}} = \frac{0,5 \cdot J_{\text{A}} \cdot M_{\text{EMAX}} \cdot \omega_{\text{E}}^2}{M_{\text{EMAX}} - M_{\psi}}$$

где  $J_{\text{A}}$  - приведенный момент инерции автомобиля, Н·м·с<sup>2</sup>;

$\omega_{\text{E}}$  - угловая скорость вращения коленчатого вала, с<sup>-1</sup>;

$M_{\psi}$  - момент сопротивления движению автомобиля, приведенный к коленчатому валу двигателя, Н·м

Момент инерции  $J_{\text{a}}$  определяют по формуле

$$J_{\text{A}} = (1,04 + 0,05 \cdot i_{\text{K}}^2) \cdot \frac{(m_{\text{A}} + m_{\text{IP}}) \cdot r_{\text{K}}^2}{i_{\text{K}}^2 \cdot i_0^2}$$

где  $i_{\text{K}}$  и  $i_0$  - передаточные числа коробки перемены передач и главной передачи, по заданию  $i_{\text{K}} = 3,1$  и  $i_0 = 5,3$ ;

$m_{\text{A}}$  - полная масса автомобиля,

Угловая скорость коленчатого вала двигателя при максимальной скорости

$$\omega_{\text{H}} = \frac{\pi \cdot n}{30},$$

Угловая частота вращения коленчатого вала двигателя в момент включения сцепления

$$\omega_E = \frac{\omega_H}{6} + 50 \cdot \pi,$$

Приведенный момент сопротивления движению

$$M_\psi = \frac{g \cdot (m_A + m_{\text{пр}}) \cdot \psi \cdot r_K}{i_K \cdot i_0 \cdot \eta_{\text{тр}}},$$

где  $\psi$  - коэффициент суммарного сопротивления дороги;

$\eta_{\text{тр}}$  – коэффициент полезного действия трансмиссии

Удельная работа буксования

$$L_{\text{уд}} = \frac{4 \cdot L_B}{\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot i}$$

Массу нажимного диска находим из формулы

$$m_H = \frac{\gamma \cdot L_B}{c \cdot \Delta t}$$

где  $\gamma$  - доля теплоты, приходящаяся на рассчитываемую деталь,  $\gamma = 0,5$ ;

$c$  – удельная массовая доля чугуна,  $c = 481,5$  (Дж/(кг·град))

Исходя из массы диска и плотности материала определим толщину нажимного диска

$$h_d = \frac{4 \cdot m_H}{\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot \rho},$$

Нажимной диск обычно выполняется из чугуна, который имеет низкое сопротивление растяжению и при воздействии центробежных сил может разрушиться. Поэтому он проверяется по величине окружной скорости

$$v_{d\text{max}} = \frac{\pi \cdot n_H \cdot D_d}{60},$$

Нажимное усилие одной пружины вычисляют по формуле

$$P_1 = \frac{P_{\text{нж}}}{Z_N}$$

где  $P_1$  – номинальная сила, действующая на пружину;

$Z_N$  – число пружин;

$\Delta l$  – рабочий ход пружины, принимаем равным 3,0 мм

При выключении сцепления деформация пружин увеличивается на величину хода  $\Delta l$ , в результате чего сила упругости возрастает до значения  $P_2$ . Управление сцеплением не затрудняется, если усилие пружин при деформации увеличится на величину не более 10-20%, т.е.

$$P_2 = 1,1 \cdot P_1,$$

Задаемся индексом пружины

$$c = \frac{D_0}{d} = 6$$

Определяем коэффициент, учитывающий кривизну витков и влияние поперечной силы

$$k = \frac{4 \cdot c + 2}{4 \cdot c - 3},$$

Диаметр проволоки

$$d \geq \sqrt{\frac{8 \cdot P_2 \cdot k \cdot c}{\pi \cdot [\tau]_k}};$$

Средний диаметр пружины:

$$D_0 = c \cdot d,$$

Жесткость пружины составляет величину

$$Z = \frac{P_2 - P_1}{\Delta l},$$

Число рабочих витков пружины:

$$n = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_0^3 \cdot Z},$$

где  $G$  – модуль упругости при кручении;

Полное число витков

$$n_1 = n + 2,$$

Так как посадка витка на виток не допустима, то при предельной нагрузке  $P_2$ , должен оставаться зазор между витками

$$\delta \geq 0,1 \cdot d,$$

Шаг пружины  $t$ , в свободном состоянии

$$t = \frac{P_2}{Z \cdot n} + d + \delta,$$

Высота полностью сжатой пружины

$$H_3 = (n_1 - 0,5) \cdot d,$$

Высота пружины в свободном состоянии

$$H_0 = H_3 + n \cdot (t - d),$$

Высота пружины при предварительной деформации (под нагрузкой  $P_1$ )

$$H_1 = H_0 - \frac{P_1}{Z},$$

Вал сцепления рассчитывают на кручение по максимальному крутящему моменту двигателя  $M_{E \text{ MAX}}$ . Диаметр вала в самом узком сечении должен быть не менее

$$d_B \geq \sqrt[3]{\frac{M_{E \text{ MAX}}}{0,2 \cdot [\tau]}},$$

где  $[\tau]$  – допускаемые касательные напряжения,  $[\tau] = 100$  МПа

Для применяемых соотношений элементов шлицевых соединений основным является расчет на смятие

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{M_{E \text{ MAX}} \cdot \beta}{\alpha \cdot z \cdot F \cdot r_{\text{CP}}}$$

где  $\alpha$  – коэффициент точности прилегания шлицев,  $\alpha = 0,75$ ;

$z$  – число шлицев;

$F$  – расчетная площадь шлицев,  $m^2$ ;

$r_{cp}$  – средний радиус шлицев, м

Рабочая площадь шлицев

$$F \approx 0,5 \cdot (D - d - 4 \cdot f) \cdot l,$$

где  $l$  – рабочая длина шлицев;

$D$  и  $d$  – диаметр вершин и диаметр впадин шлицев, соответственно, м;

$f$  – фаска у головки зуба

Средний радиус шлицев

$$r_{cp} = 0,25 \cdot (D + d),$$

Для применяемых соотношений элементов шлицевых соединений основным является расчет на смятие.

### **Подшипник выключения сцепления**

Динамическая нагрузка на подшипник выключения

$$C = P \cdot \sqrt[n]{L},$$

где  $P$  – эквивалентная динамическая нагрузка, Н;

$L$  – долговечность подшипника, млн. об.;

$n$  – степень для шариковых подшипников,  $n = 3$

Эквивалентная динамическая нагрузка определяется по формуле

$$P = Q \cdot Y \cdot k_B \cdot k_M,$$

где  $Q$  – осевое усилие на подшипник, Н;

$Y$  – переводной коэффициент осевой нагрузки,  $Y = 2,3$ ;

$k_B$  – коэффициент безопасности,  $k_B = 1,55$ ;

$k_M$  – температурный коэффициент,  $k_T = 1,0$

Осевое усилие, действующее на подшипник, вычисляется по формуле

$$Q = \frac{P_2 \cdot z_N}{i_p},$$

где  $i_p$  – передаточное число рычагов выключения,  $i_p = 4$

Эквивалентная динамическая нагрузка

Долговечность подшипника вычисляется по формуле

$$L = \frac{0,1 \cdot S}{V_{cp}} \cdot \frac{60 \cdot n}{10^6}$$

где  $0,1$  – коэффициент, показывающий, что время работы подшипника составляет 10% от времени работы автомобиля;

$S$  – пробег автомобиля до капитального ремонта, км;

$n$  – обороты подшипника при выключении сцепления,  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ ;

$V_{cp}$  – средняя скорость автомобиля,  $V_{cp} = 35 \text{ км/ч}$

Динамическая нагрузка на подшипник выключения

### **Расчет привода фрикционного сцепления**

Передаточное число гидравлического привода выключения сцепления

$$i_{г.пр} = \frac{c_2}{c_1} \cdot \frac{b_2}{b_1} \cdot \frac{a_2}{a_1} \cdot \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2,$$

где  $\frac{c_2}{c_1}$  - передаточное число педали, в существующих конструкциях;

$\frac{b_2}{b_1}$  - передаточное число вилки;

$\frac{a_2}{a_1}$  - передаточное число рычага выключения;

$\frac{d_2}{d_1}$  - соотношение диаметров поршней

Полный ход педали сцепления

$$S_N = \Delta l \cdot i_{г.пр} + \Delta \cdot \frac{c_2}{c_1} \cdot \frac{b_2}{b_1} \cdot \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2,$$

Определяем максимальное усилие на педаль сцепления

$$P_{N.MAX} = \frac{P_2 \cdot z_N}{i_{пр} \cdot \eta_{пр}},$$

где  $\eta_{пр}$  – КПД привода,  $\eta_{пр} = 0,9$ .

## 20 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМ ГИДРОПРИВОДА

При проектировании схем гидропривода машин различного назначения, инженер исходит из возможности использования готовой гидравлической аппаратуры и агрегатов и рекомендаций по рациональному использованию возможностей объемного гидропривода (ГП). В связи с этим кратко остановимся на классификации наиболее распространенных схем ГП и на некоторых вопросах его проектирования.

Принципиальная гидравлическая схема строительного-дорожной машины разрабатывается на основе типовых схем, а именно:

- а) схемы ГП поступательного движения, в которых выходным элементом является гидроцилиндр (или поворотный гидродвигатель), перемещение поршня которого может осуществляться как без регулирования скорости с фиксацией и без фиксации его положения, так и с регулированием скорости перемещения;
- б) схемы ГП поступательного движения с последовательным включением гидроцилиндров, последовательность включения которых осуществляется с помощью гидравлических устройств, а управление осуществляется по пути, по нагрузке или по времени;
- в) схемы ГП поступательного движения с синхронизацией движения

нескольких гидроцилиндров, синхронизация которых осуществляется с помощью регуляторов и делителей расхода и т.п. устройств; г) схемы ГП вращательного движения, в которых выходным элементом являются различные типы гидромоторов, соединенных параллельно, последовательно или независимо друг от друга и запитанных от одного или нескольких насосов.

В названных схемах ГП могут использоваться различные типы насосов, которые должны работать эффективно в данных условиях эксплуатации.

Вышеприведенный перечень типовых схем, безусловно, не является полным, но дает возможность использовать типовую схему, исходя из общих принципов работы того или иного механизма.

Принципиальная схема ГП определяет состав его элементов и связи между ними, дает детальное представление о принципах работы ГП. Элементы на схеме изображаются с помощью стандартных обозначений. Основанием для разработки принципиальной схемы ГП являются требования к гидроприводу и условия его работы.

При разработке гидравлической схемы рекомендуется применять нормализованную аппаратуру, т.к. применение специальной гидроаппаратуры приводит к повышению стоимости гидропривода.

При расчете ГП необходимо задаваться давлением, которое обеспечивает заданное усилие или момент, а расход жидкости определяется скоростью или частотой вращения исполнительного механизма и геометрическими размерами гидродвигателя.

Величина давления определяет размеры элементов ГП: высокое давление уменьшает размеры, но требует дорогих насосов и высокой герметичности соединений.

Для определения оптимального давления, а также общей минимальной стоимости ГП при централизованном изготовлении его элементов на современном техническом уровне, был проведен ряд сравнительных исследований ГП различных машин. Результаты этих исследований показали, что в настоящее время в качестве рациональных приняты следующие значения рабочего давления (табл.20.1)

Таблица 20.1

Вид гидропривода	Рекомендуемое рабочее давление
ГП станочный	$P \leq 6,3$ МПа
ГП валочно-пакетирующих и трелевочных машин	$P = 10$ МПа
ГП строительно-дорожных машин	$P = 32 \dots 40$ МПа

На эти значения давлений и нужно ориентироваться. При этом следует помнить, что величина рабочего давления (МПа) может быть взята только из ряда номинальных давлений по ГОСТ 12445-80.

Выбор давления из указанного ряда обусловлен тем, что именно на эти давления ориентируются при разработке конструкций насосов, гидромоторов и всех других элементов гидропривода.

Исходя из заданной скорости (частоты вращения) перемещения рабочего органа номинальный расход  $Q^*$  (л/мин), выбирают по ГОСТ 13825 80.

При правильно выбранном расходе общие потери давления в гидросистеме не должны превышать 5-6% от давления насоса.

После принятия решений по всем указанным выше пунктам, вычерчивается принципиальная схема ГП и составляется краткое описание его работы.

### **Выбор способа регулирования**

В зависимости от требований, связанных с эксплуатацией машины, в гидроприводе могут применяться объемное и дроссельное регулирование скорости или сочетание этих способов. Объемное регулирование скорости осуществляется изменением подачи насоса или гидромотора в зависимости от рабочего объема, который изменяется автоматически или с помощью управляющих устройств. При дроссельном регулировании изменяются размеры проходных сечений дросселей или неполным включением золотников гидрораспределителя.

Выбор способа регулирования должен производиться с учетом оценки объемного и дроссельного регулирования по трем показателям: по нагрузочным характеристикам, КПД и стоимости элементов ГП.

Нагрузочная характеристика ГП выражает зависимость скорости движения выходного звена (штока гидроцилиндра, или вала гидромотора) от нагрузки на нем, т.е.

$$v = f_1 ( R ) \text{ или } \omega = f_2 ( M_{кр} ).$$

При этом значения рабочих объемов гидромашин (в случае объемного регулирования) или проходного сечения дросселя (в случае дроссельного регулирования) остаются неизменными. Нагрузочная характеристика отражает степень стабильности скорости выходного звена при изменяющейся нагрузке. По этому показателю оценка вариантов регулирования такова: наибольшей стабильностью обладают ГП с объемным регулированием, значительно хуже в этом отношении дроссельное регулирование.

ГП с объемным регулированием имеют существенно более высокий КПД по сравнению с ГП, у которых применено дроссельное регулирование.

Как видно, по двум важнейшим показателям - нагрузочным характеристикам и КПД - лучшие качества имеет ГП с объемным регулированием. В отношении экономического показателя дело обстоит несколько иначе. Регулируемые насосы и гидромоторы более дорогостоящие, чем нерегулируемые. Поэтому у ГП с объемным регулированием получаются значительные капитальные затраты, но зато, благодаря более высокому КПД, меньшие эксплуатационные расходы.

Поэтому объемное регулирование обычно применяют, когда существенными являются энергетические показатели, например, в ГП большой

мощности и с длительными режимами их непрерывной работы. ГП с дроссельным регулированием применяют для маломощных систем (до 5 кВт), а также, когда режимы непрерывной работы ГП кратковременные. При этом стремятся применить недорогие гидромашины, например шестеренные.

В заданиях, приведенных в данных методических указаниях, во всех схемах ГП применяется дроссельное регулирование.

При определении места установки дросселя нужно учитывать следующее. При знакопеременной нагрузке возможно только одно местоположение дросселя - за гидродвигателем (гидромотором или гидроцилиндром), поскольку при других положениях не обеспечивается регулирование в момент, когда направление внешней нагрузки совпадает с направлением движения выходного звена ГП. Другими словами схемы с дросселем в сливной магистрали обеспечивают двухстороннюю жесткость двигателя гидросистемы (рис.20.1, а), обеспечивая наибольшую устойчивость против автоколебаний, и в особенности при малых скоростях движения гидравлического двигателя.

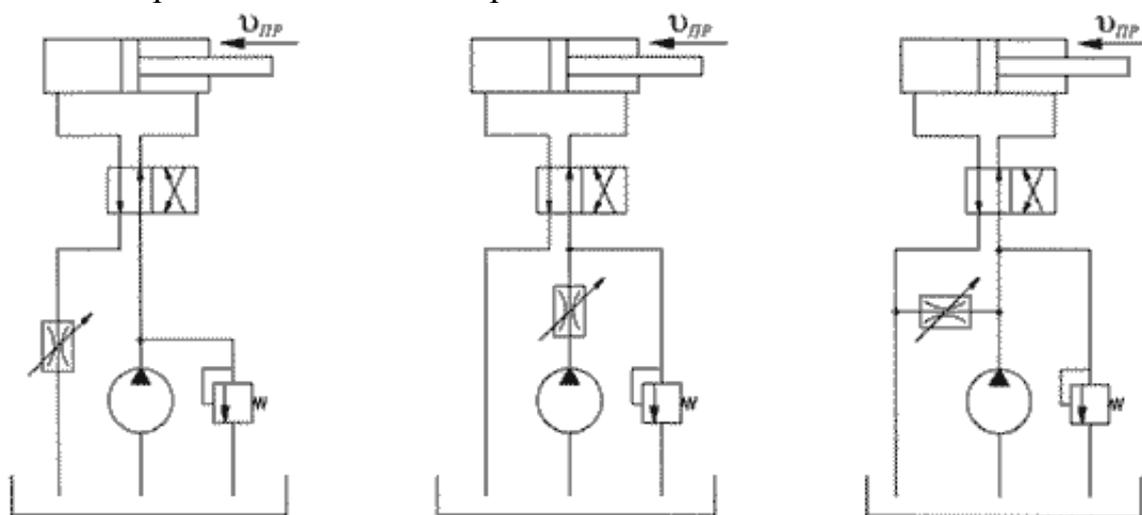


Рисунок 20.1 - Варианты включения дросселя в гидросистему

Из схемы (рис.20.1, б) видно, что при резком снижении подачи жидкости на входе в цилиндр путем дросселирования, поршень будет перемещаться под действием силы инерции движущейся массы. Применение такой схемы особенно нецелесообразно в системах с гидродвигателем вращательного движения, который может работать в переходных режимах с высокими ускорениями выходного вала, в результате чего инерция вращающихся узлов двигателя и присоединенной к нему массы внешней нагрузки может достигать значительной величины. Эту схему нельзя применять, например, в грузоподъемных машинах из-за возможности падения груза. Этому падению противодействуют лишь сила трения поршня о цилиндр и сопротивление сливной гидролинии. При установке же дросселя в сливной магистрали, увеличению (забросу) скорости выходного звена оказывает сопротивление этого дросселя. Однако при резком торможении гидромотора в линии между гидромотором и дросселем могут возникнуть недопустимо высокие давления.

Для предохранения системы и гидромотора от подобного давления в этой линии необходимо установить предохранительный клапан.

Реже применяются системы с дросселем, подключенным параллельно гидродвигателю (рис.20.1, в). Жидкость, подаваемая насосом в объеме  $Q_H$ , делится на два параллельных потока, один из которых  $Q_{Ц}$  поступает в силовой цилиндр (гидродвигатель), а другой  $Q_{ДР}$  переливается через дроссель в бак, причем количественно эти потоки обратно пропорциональны сопротивлениям ветвей. Основным недостатком этой схемы является пониженная жесткость и необходимость индивидуального источника питания для каждого потребителя. Однако при этом получается более высокий КПД, и меньше нагревается рабочая жидкость. К тому же нагретая жидкость сливается в бак, минуя гидродвигатель.

При установке дросселя перед гидродвигателем нагретая в процессе дросселирования жидкость поступает в гидродвигатель, ухудшая тем самым тепловой режим ГП. Для обеспечения плавности страгивания выходного звена, приходится дополнительно включать в сливную магистраль подпорный клапан. Поэтому из двух вариантов последовательного включения дросселя предпочтительным является расположение дросселя за гидродвигателем.

Регулируемый дроссель с обратным клапаном применяется в том случае, когда регулирование требуется только при движении выходного звена в одном направлении.

### **Выбор распределителя, напорного клапана и делителя потока**

Гидрораспределители относятся к направляющей гидроаппаратуре и применяются для изменения направления или пуска и остановки потока рабочей жидкости. Они изменяют направление движения выходного звена гидродвигателя.

Число позиций распределителя определяется по числу операций, которые он должен обеспечить. Если, например, требуется обеспечить движение выходного звена гидродвигателя в двух направлениях, то распределитель должен быть двухпозиционным. Кроме того, если требуется обеспечить остановку выходного звена и разгрузку насоса - то он должен быть трехпозиционным.

- По типу управления распределители бывают:
- с ручным (ножным) управлением;
  - с механическим управлением от кулачка;
  - с гидравлическим управлением от вспомогательного распределителя (пилота);
  - с электрическим управлением от толкающего электромагнита постоянного или переменного тока;
  - с электрогидравлическим управлением;
  - с пневматическим управлением;
  - с пневмогидравлическим управлением.

Распределители с электрическим управлением применяются в ГП, в которых требуется высокое быстродействие, поскольку время срабатывания у них не превышает 0,01...0,02 сек. Т.к. тяговое усилие и ход электромагнита ограничены, такие распределители обычно имеют условный проход не более 10 мм. Для больших типоразмеров применяется электрогидравлическое управление.

Гидроклапаны относятся к регулирующей гидроаппаратуре и служат для изменения давления, расхода и направления потока рабочей жидкости путем частичного открытия рабочего проходного сечения. Предохранительные клапаны предохраняют систему от давления, превышающего установленное значение. Они действуют лишь при аварийных ситуациях (пропускают масло из напорной линии в сливную) в отличие от переливных клапанов, предназначенных для поддержания заданного давления путем непрерывного слива масла во время работы.

Напорный клапан типа Г54-3 может применяться в случае, когда требуется предохранить систему от чрезмерного давления, а также в качестве переливного. Напорный (предохранительный) клапан регулируется на максимально допустимое давление, а переливной - на рабочее давление. Клапаны выбираются по номинальному расходу и давлению (1; 2,5; 6,3; 10; 20 и 32 МПа).

Делители потока типа КД в обычном исполнении предназначены для деления потока жидкости на две части с целью синхронизации движения исполнительных органов независимо от значения действующих на них нагрузок. Выбор делителей потока производится по расходу на входе в клапан.

### **Выбор фильтра и места его установки**

Применение гидрооборудования высокого класса точности, предъявляет повышенные требования к очистке гидросистем машин и чистоте рабочих жидкостей. Фильтр может эффективно защищать только тот элемент гидропривода, который установлен непосредственно после него, остальные элементы получают лишь частичную защиту. Поэтому в ГП применяют различные сочетания фильтров, установленных на разных линиях гидросистемы.

Существует три способа установки фильтров в гидросистемах: во всасывающей, напорной или сливной магистралях. Для каждого способа установки промышленностью выпускаются специально предназначенные конструкции фильтров.

Приемные (всасывающие) фильтры, работающие, как правило, в режиме полнопоточной фильтрации, предотвращают попадание в насос сравнительно крупных частиц. Поскольку приемные фильтры ухудшают условия всасывания насосов, перепад давления на фильтроэлементе не должен превышать 0,018 - 0,02 МПа. Предпочтительно использование приемных фильтров типа ФВСМ с указателем загрязненности (тонкость фильтрации 80 мкм), а также фильтры С41-2 – 80.

Сливные фильтры позволяют обеспечить тонкую фильтрацию рабочей жидкости; они компактны, могут встраиваться в баки, однако в ряде случаев создают нежелательное повышение давления подпора в сливной линии. Установка фильтра в сливную линию применяется наиболее часто, т.к. в этом случае он не испытывает высокого давления, не создает дополнительного сопротивления на входе в насос. Это очень важно с точки зрения предупреждения возникновения в насосе кавитации. Установленный таким образом фильтр задерживает все механические примеси в рабочей жидкости, возвращающейся в бак. В сливных магистралях устанавливаются фильтры типа ФС и С42-5.

Напорные фильтры обеспечивают полнопоточную фильтрацию. Их применение целесообразно для защиты высокочувствительных к засорению элементов гидросистемы. Такие фильтры металлоемки, а также сравнительно дороги. В напорных гидрелиниях устанавливаются фильтры типа ФГМ32, Ф10, фильтры напорные по ГОСТ 16026-80 и ГОСТ 21329-75.

Выбор фильтров необходимо производить по давлению, номинальному расходу рабочей жидкости и тонкости фильтрации.

### **Использование гидроаккумулятора**

Гидравлические аккумуляторы используются в ГП для решения разнообразных задач. Чаще всего это накопление энергии при медленных движениях рабочих органов с тем, чтобы кратковременно получать достаточно большие потоки рабочей жидкости под давлением при ускоренных перемещениях. Это дает возможность существенно уменьшить номинальную подачу насоса и, следовательно, повысить КПД ГП. В зажимных механизмах применение аккумуляторов позволяет компенсировать утечки в гидросистеме и поддерживать необходимое давление зажима при включенном (или разгруженном) насосе, часто аккумуляторы используются для уменьшения пульсации давления или исключения пиков давления в переходных режимах.

Из трех типов аккумуляторов (грузовые, пружинные и пневмогидравлические) наибольшее применение имеют пневмогидравлические.

### **Выбор рабочей жидкости**

Рабочая жидкость для ГП подбирается исходя из конкретных условий его эксплуатации. Например, одноковшовые экскаваторы, бульдозеры, автогрейдеры, стреловые самоходные краны, погрузчики, копровое оборудование эксплуатируются в течение всего года, а шнекороторные и плужные снегоочистители, снегопогрузчики, рыхлители мерзлого грунта предназначены для эксплуатации в осенне-зимний и преимущественно зимний период. Машины стройиндустрии, машины для разработки пород способом гидромеханизации и др. эксплуатируются при температуре воздуха не ниже 0 °С. Температура внешней среды оказывает наибольшее влияние на надежность и работоспособность ГП.

Для обеспечения работоспособности ГП в районах с холодным климатом жидкость должна иметь температуру застывания на  $10...15^{\circ}\text{C}$  ниже возможной рабочей температуры, вязкость при  $+50^{\circ}\text{C}$  - не менее  $10 \text{ мм}^2/\text{сек}$ , при  $-40^{\circ}\text{C}$  - не более  $1500 \text{ мм}^2/\text{сек}$ , а также широкий температурный предел применения по условию прокачиваемости насосами различных типов. Лучшей принято считать такую рабочую жидкость, вязкость которой мало изменяется при изменении температуры.

В данном комплексе заданий во всех вариантах предлагаются положительные и невысокие температуры окружающей среды  $T_0$  и масла  $T_M$ , что соответствует исполнению машин - УЗ.

### Определение основных параметров гидроприводов поступательного движения

Расчеты гидроприводов поступательного движения поясним применительно к схеме гидропривода, представленной на рис.20.2.

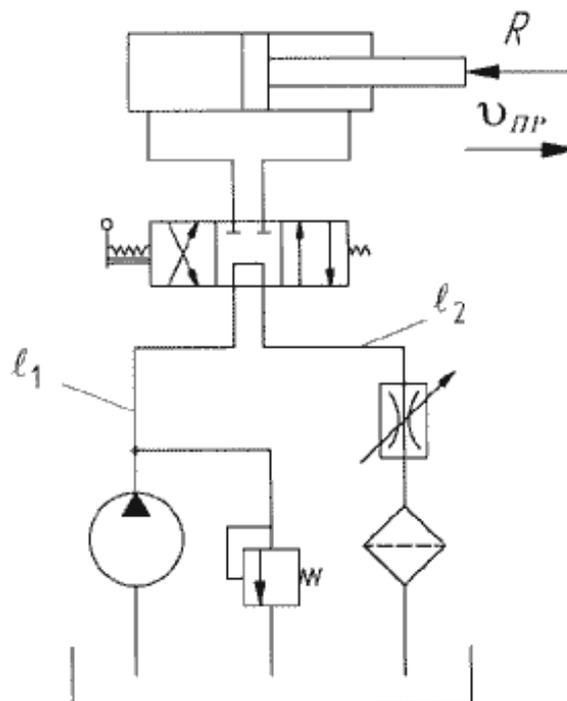


Рисунок 20.2 - Схема гидропривода поступательного движения

Заданными величинами являются:

- усилие  $R$ , приложенное к штоку поршня;
- ход  $S$  поршня;
- длины труб  $l_1$  и  $l_2$ , с помощью которых соединяются все элементы привода;
- время рабочего  $t_r$  и обратного (холостого)  $t_x$  хода поршня;
- рекомендуемый для использования в системе насос (регулируемый или нерегулируемый);
- сорт масла, используемый в ГП;
- допустимая температура масла  $T_M$  и температура окружающей среды  $T_0$ .

Решение задачи необходимо начать с определения давлений в полостях силового цилиндра и выбора его диаметра. Обозначим полезные площади силового цилиндра через  $F_1$  и  $F_2$ , а давления в этих полостях через  $P_1$  и  $P_2$ .

Составим уравнение равновесия поршня силового цилиндра, пренебрегая силами инерции:

$$P_1 F_1 = P_2 F_2 + R + T$$

где  $T$  - сила трения, приложенная к поршню.

Применительно к гидроприводу, представленному на рис.2, давление  $P_1$  в поршневой полости определится:

$$P_1 = P_H - \Delta P_{\text{зол } 1} - \Delta P_1$$

а давление  $P_2$  в штоковой полости

$$P_2 = \Delta P_{\text{зол } 2} + \Delta P_2 + \Delta P_{\text{др}} + \Delta P_{\text{ф}}$$

где  $P_H$  - давление развиваемое насосом, МПа;

$\Delta P_{\text{зол } 1}$  и  $\Delta P_{\text{зол } 2}$  - перепады давлений на гидрораспределителе, МПа;

$P_1$  и  $P_2$  - перепады давлений в трубах  $l_1$  и  $l_2$ , МПа;

$\Delta P_{\text{др}}$  - перепад давления на дросселе, МПа;

$\Delta P_{\text{ф}}$  - перепад давления на фильтре, МПа.

Расход жидкости, поступающий в силовой цилиндр можно определить по формуле

$$Q = v_{\text{п}} \cdot F$$

Если расход жидкости, поступающий в силовой цилиндр при рабочем и холостом ходе одинаков, то

$$Q = v_{\text{пр}} \cdot F_1 \text{ и } Q = v_{\text{пх}} \cdot F_2$$

где  $v_{\text{пр}}$  и  $v_{\text{пх}}$  - скорости поршня при рабочем и холостом ходе.

Для определения диаметра поршня цилиндра  $D$  нужно найти силу трения  $T$  и перепады давлений. Сила трения  $T$  увеличивается с ростом давления жидкости в цилиндре и лежит в диапазоне

$$T = (0.02 \dots 0.01)R$$

Схемой гидропривода, представленной на рис.20.1, предусматривается нерегулируемый насос.

Стандартные диаметры цилиндров, мм: 5; 8; 10; 14; 16; 18; 20; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 70; 80; 90; 100; 110; 125; 140; 160; 180; 200; 220; 250; 280; 320; 360; 400; 500; 630; 800.

Таблица 20.2 - Справочные данные для определения перепадов давлений в гидроаппаратуре при номинальном расходе\*

(Здесь и далее параметры, обозначенные \*, относятся к номинальным)

Гидроаппаратура	Перепад давлений, МПа	Гидроаппаратура	Перепад давлений, МПа
Золотник	0,2	Клапан редукционный	0,5
Обратный клапан	0,15	Гидроклапан давления	0,6
Дроссель	0,3	Напорные золотники	0,3
Регулятор потока (скорости)	0,3 (0,5)	Фильтр пластинчатый	0,1

Давление в гидроцилиндре назначается ориентировочно в зависимости от величины полезного усилия  $R$ .

При  $R = 10 \dots 20$  кН давление  $P_H \leq 1,6$  МПа;  
 при  $R = 20 \dots 30$  кН -  $P_H \leq 3,2$  МПа;  
 при  $R = 30 \dots 50$  кН -  $P_H \leq 6,3$  МПа;  
 при  $R = 50 \dots 100$  кН -  $P_H \leq 10$  МПа.

Для штоков, работающих на сжатие, должно соблюдаться условие  $S < 10D$ . При  $S > 10D$  шток следует проверить на продольный изгиб. Величину заделки штока принимают равной диаметру  $D$  гидроцилиндра, а длину образующей поршня  $0,8D$ .

Допускаемые напряжения на растяжение принимаются равными для стали  $[\sigma] = 50 \dots 60$  МПа ( $1 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>), для чугуна  $[\sigma] = 15$  МПа ( $1 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>). Коэффициент запаса  $k = 1,25 \dots 2,5$ .

Подача насоса с учетом утечек рабочей жидкости определится по формуле:

$$Q_H = (Q_{Ц} + \Delta Q_{Ц}) \cdot z + \Delta Q_{зол} + \Delta Q_{ПК}$$

где  $\Delta Q_{Ц}$  - утечки жидкости в силовом цилиндре;

$\Delta Q_{зол}$  - утечки в золотнике;

$\Delta Q_{ПК}$  - утечки через предохранительный клапан;

$z$  - число гидроцилиндров.

Утечки через предохранительный клапан примем  $\Delta Q_{ПК} = 0,1Q_H$ . Утечки в силовом цилиндре  $\Delta Q_{Ц}$  приведены в табл.20.3.

Стандартные значения внутреннего диаметра труб: 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250.

В гидроприводе применяются стальные бесшовные холоднодеформированные трубы по ГОСТ 8734-75, медные трубы по ГОСТ 617-72, алюминиевые трубы по ГОСТ 18475-82, латунные трубы по ГОСТ 494-76 и рукава высокого давления по ГОСТ 6286-73.

Таблица 20.3- Основные параметры гидроцилиндров

Основные параметры	Диаметр цилиндра D, мм								
	40	50	63	70	80	90	100	110	125
Номинальный расход $Q^*$ , л/мин	20	25	40	50	50	50	80	100	100
Максимальное (теоретическое) толкающее усилие, кН	7.75	12.0	18.8	23.7	31	39.2	48.5	58.6	75.8
Ход поршня, мм	200	200	200	300	400	630	630	630	800
Утечки $\Delta Q_{Ц}$ при давлении $P^*=6,3$ МПа, см <sup>3</sup> /мин	25	32	40	45	50	56	63	70	80

Таблица 20.4 –Рекомендуемые значения скорости рабочей жидкости

$P_H$ , МПа	2,5	6,3	16	32	63	100
$v_{РЖ}$ , м/с	2	3,2	4	5	6,3	10

### Подбор гидроаппаратуры

Согласно выбранной схемы гидропривода, а также учитывая значения расходов и давлений, произведем подбор гидроаппаратуры. Для конкретизации в качестве расчетного условно принят расход  $Q = 20$  л/мин. Применительно к гидроприводу, представленному на рис.20.1, необходимо выбрать предохранительный клапан, распределительный золотник, дроссель и фильтр. Все данные по выбранной аппаратуре сводим воедино на примере табл.20.5.

Таблица 20.5

Гидроаппаратура	Кол-во	Тип	Расход, л/мин	Давление, МПа	Перепад давлений, МПа
Предохранительный клапан	1	Г52-22	20	6.3	0.15
Золотник с ручным управлением	1	ПГ74-22	20	20	0.2
Дроссель	1	ПГ-77	20	20	0.3
Фильтр сетчатый	1	С42-51	16	0.63	0.1

Зная перепады давлений, находим давления в полостях силового цилиндра:

$$P_2 = \Delta P_{зол 2} + \Delta P_2 + \Delta P_{др} + \Delta P_{ф}$$

и уточняем давление, развиваемое насосом:

$$P_H = P_1 + \Delta P_{зол 1} + \Delta P_1$$

При определении перепадов давлений исходят из расходов, на которые рассчитана гидроаппаратура. Действительные расходы отличаются от справочных.

Таблица 20.6- Кинематическая вязкость некоторых промышленных масел

Масло индустриальное	t, °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\nu_{50^\circ} \cdot 10^{-4}$ , м <sup>2</sup> /с
И-5	50	890	0,04...0,05
И-8	50	900	0,06...0,08
И-12	50	880	0,10...0,14
И-20	50	885	0,18
И-25	50	890	0,24...0,27
И-30	50	890	0,28...0,33
И-40	50	895	0,35...0,45
И-45	50	900	0,42
И-50	50	910	0,50
И-70	50	910	0,65...0,75
И-100	50	920	0,90...1,18

## Определение основных параметров гидроприводов вращательного движения

Расчет гидроприводов вращательного движения поясним применительно к схеме, представленной на рис.20.3 Для гидромотора крутящий момент

$$M_{\text{кр}} = \frac{q P_{\text{дв}}}{2\pi} \eta_{\text{м}}$$

откуда

$$q = \frac{2\pi M_{\text{кр}}}{P_{\text{дв}} \eta_{\text{м}}}$$

где  $P_{\text{дв}}$  - перепад давлений на гидромоторе;  
 $\eta_{\text{м}}$  - механический КПД гидромотора.

Из схемы, представленной на рис.20.3, видно, что

$$P_{\text{дв}} = P_1 - P_2$$

где

$$P_1 = P_{\text{н}} - \Delta P_{\text{зол1}} - \Delta P_1;$$

$$P_2 = \Delta P_{\text{зол2}} + \Delta P_{\text{др}} + \Delta P_{\text{ф}} + \Delta P_2$$

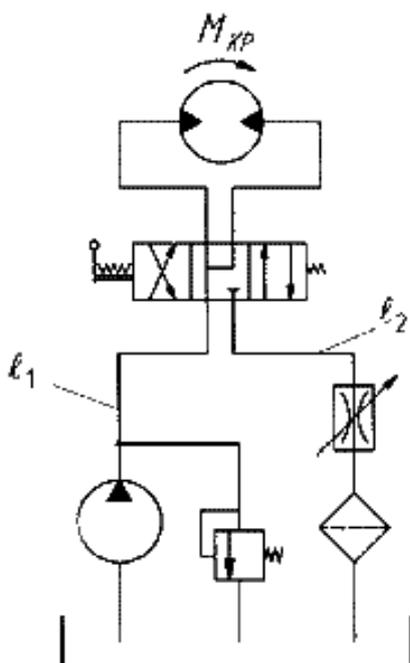


Рисунок 20.3 - Схема гидропривода вращательного движения

О выборе насосов было сказано выше, при рассмотрении гидропривода поступательного движения. Определив  $P_1$  и  $P_2$ , находим  $P_{\text{дв}}$  и рабочий объем гидромотора  $q$ , который уточняем находим перепад давлений

$$P_{\text{дв}} = \frac{2\pi M_{\text{кр}}}{q \eta_{\text{м}}}$$

Расход жидкости, поступающей в гидромотор

$$Q_{\text{дв}} = (qn + \Delta Q_{\text{дв}}) \cdot z$$

где  $\Delta Q_{дв}$  - утечки жидкости в гидромоторе;  
 $z$  - число гидромоторов (для схемы, представленной на рис. 20.3,  $z = 1$ ).

Обычно в справочной литературе заданы либо утечки  $\Delta Q_{дв}^*$  в гидромоторе при давлении  $P^*$ , либо объемный КПД  $\eta_{*0}$ .

Если задан объемный КПД  $\eta_{*0}$  при давлении  $P^*$ , то для определения утечек  $\Delta Q_{дв}^*$  можно воспользоваться следующими соображениями:

$$\eta_{*0} = \frac{qn}{(qn + Q_{дв}^*)}$$

Применительно к схеме гидропривода, предоставленного на рис.20.3,

$$Q_H = Q_{дв} + \Delta Q_{зол} + \Delta Q_{ПК};$$

Утечки через предохранительный клапан

$$\Delta Q_{ПК} = 0,1Q_H$$

Далее уточняем расход жидкости, сбрасываемой через предохранительный клапан в приемный бак:

$$\Delta Q_{ПК} = Q_H + Q_{дв} + \Delta Q_{зол};$$

Подбираем гидроаппаратуру. Перепады давлений на гидроаппаратуре при расходах, отличных от номинальных, находим перепады при номинальных расходах  $Q^*$ .

$$P_2 = \Delta P_{зол2} + \Delta P_{др} + \Delta P_{ф} + \Delta P_2$$

$$P_H = P_1 + \Delta P_{зол1} + \Delta P_1$$

Общий КПД проектируемого гидропривода, работающего при постоянной нагрузке, определяют по формуле

$$\eta_{общ} = N_{пол} / N_{пр}$$

где  $N_{пр}$  - затрачиваемая мощность привода (насосной установки),

здесь  $\eta$  - общий КПД насоса при расчетных значениях давления, расхода, вязкости рабочей жидкости и частоты вращения приводного вала насоса;

$N_{пол}$  - полезная мощность привода, которая определяется по заданным нагрузкам и скоростям гидродвигателей:

для привода с гидромотором

$$N_{пол} = M_{кр} \omega z;$$

для привода с гидроцилиндром  $N_{пол} = R v_{пр} z,$

где  $\omega$  - частота вращения вала гидромотора, рад/сек;

$z$  - число гидромоторов или число силовых цилиндров, включенных в привод.

Надежная и эффективная работа гидропривода возможна в условиях оптимального состояния, обеспечивающего постоянство рабочих характеристик. Повышение температуры влечет за собой увеличение объемных потерь, нарушаются условия смазки, повышается износ деталей, в рабочей жидкости активизируются ее окисление и выделение из нее смолистых осадков, ускоряющих облитерацию проходных капиллярных каналов и дроссельных щелей.

Основной причиной нагрева является наличие гидравлических сопротивлений в системах гидропривода. Дополнительной причиной являются

объемные и гидромеханические потери, характеризующиеся объемным и гидромеханическим КПД.

Потери мощности в гидроприводе, переходящие в тепло

$$\Delta N = N_{\text{пр}} - N_{\text{пол}}$$

а при циклической работе

$$\Delta N = N_{\text{пр.ср}} - N_{\text{пол.ср}}$$

Количество тепла  $E_{\text{пр}}$ , выделяемое в гидроприводе в единицу времени, эквивалентно теряемой в гидроприводе мощности  $\Delta N$

$$E_{\text{пр}} \cong \Delta N$$

Условие приемлемости теплового режима в системе гидропривода

$$\Delta N_{\text{уст}} \leq \Delta N_{\text{доп}} = N_{\text{М max}} - T_{\text{О max}}$$

где  $\Delta N_{\text{уст}}$  - перепад температур между рабочей жидкостью и окружающим воздухом в установившемся режиме;  $\Delta N_{\text{доп}}$  - максимально допустимый перепад температур между рабочей жидкостью и окружающим воздухом;  $N_{\text{М max}}$  - максимально допустимая температура рабочей жидкости (должна соответствовать минимально допустимой вязкости, указанной в технических условиях на выбранный тип насосов и гидромоторов), при выполнении курсовой работы принимается равной  $70...75^{\circ}\text{C}$ .;  $T_{\text{О max}}$  - максимальная температура окружающего воздуха (соответствует верхнему пределу рабочего температурного диапазона, указанного в заданных условиях эксплуатации машины), при выполнении курсовой работы принимается равной  $35^{\circ}\text{C}$ .

Площадь поверхности теплообмена, необходимая для поддержания перепада

$$\Delta T_{\text{уст}} \leq \Delta T_{\text{доп}}$$

$$S \geq \frac{E_{\text{пр}}}{K_{\text{б}} K_{\text{тр}} \Delta T_{\text{доп}}}$$

где  $K_{\text{тр}}$  и  $K_{\text{б}}$  - коэффициенты теплопередачи труб и гидробака, Вт/( $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ):

для труб  $K_{\text{тр}} = 12...16$ ;

для гидробака  $K_{\text{б}} = 8...12$ ;

при обдуве гидробака  $K_{\text{б}} = 20...25$ ;

для гидробака с водяным охлаждением  $K_{\text{б}} = 110...175$ .

Площадь поверхности теплообмена складывается из поверхности труб  $S_{\text{тр}}$ , через которые происходит теплообмен с окружающей средой, и поверхности теплоотдачи бака  $S_{\text{б}}$

$$S = S_{\text{тр}} + S_{\text{б}}$$

Для определения поверхности труб воспользуемся формулой:

$$S_{\text{тр}} = \pi d (l_1 + l_2)$$

а для теплоотдающей поверхности бака зависимостью

$$S_{\text{б}} = ab + 2ah_1 + 2bh_1$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $h_1$  - длина, ширина и глубина масла в приемном гидробаке, соответственно (рис.20.4).

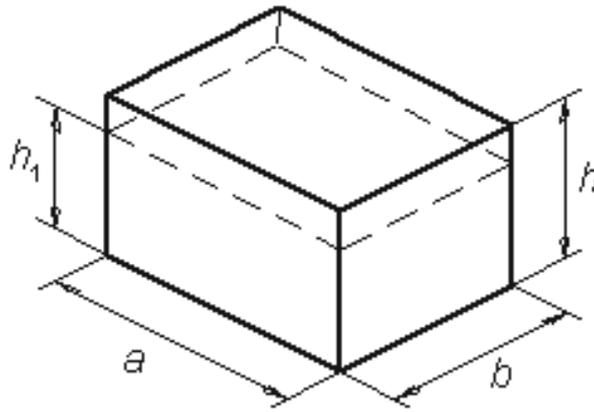


Рисунок 20.4 - Гидравлический бак

Найдя площадь поверхности гидробака, определим его объем

$$V_{\text{б}} = \left( \frac{S_{\text{б}}}{(6,0 - 6,9)} \right)^{1,5}$$

и округлим до стандартного значения в большую сторону. Номинальные емкости для приводов гидростатических, пневматических и смазочных систем по ГОСТ 12448-80.

Конструктивно подбираем размеры гидробака: длину  $a$ , ширину  $b$ , высоту  $h$  ( $h > h_1$ ), учитывая, что его форма имеет форму параллелепипеда ( $V = a \cdot b \cdot h$ ).

## 21 РАСЧЕТ ОБЪЕМНОГО ГИДРОПРИВОДА НА ПРИМЕРЕ БУЛЬДОЗЕРА

Под объемным гидроприводом понимают совокупность устройств, в число которых входит один или несколько объемных гидродвигателей, предназначенных для приведения в движение механизмов и машин с помощью рабочей жидкости под давлением.

Современный уровень развития строительного и дорожного машиностроения характеризуется широким применением объемного гидравлического привода. Широкое применение гидравлического привода объясняется целым рядом его преимуществ по сравнению с другими типами привода:

1. Высокая компактность при небольших массе и габаритных размерах гидрооборудования по сравнению с массой и габаритными размерами механических приводных устройств той же мощности, что объясняется отсутствием или применением в меньшем количестве таких элементов, как валы, шестеренные и цепные редукторы, муфты, тормоза, канаты и др.

2. Возможность реализации больших передаточных чисел. В объемном гидроприводе с использованием высокомоментных гидромоторов передаточное число может достигать 2000.

3. Небольшая инерционность, обеспечивающая хорошие динамические свойства привода. Это позволяет уменьшить продолжительность рабочего

цикла и повысить производительность машины, так как включение и реверсирование рабочих органов осуществляются за доли секунды.

4. Бесступенчатое регулирование скорости движения, позволяющее повысить коэффициент использования приводного двигателя, упростить автоматизацию привода и улучшить условия работы машиниста.

5. Удобство и простота управления, которые обуславливают небольшую затрату энергии машинистом и создают условия для автоматизации не только отдельных операций, но и всего технологического процесса, выполняемого машиной.

6. Независимое расположение сборочных единиц привода, позволяющее наиболее целесообразно разместить их на машине. Насос обычно устанавливается у приводного двигателя, гидродвигатели – непосредственно у исполнительных механизмов, элементы управления – у пульта машиниста, исполнительные гидроаппараты – в наиболее удобном по условиям компоновки месте.

7. Надежное предохранение от перегрузок приводного двигателя, системы привода, металлоконструкций и рабочих органов благодаря установке предохранительных и переливных гидроклапанов.

8. Простота взаимного преобразования вращательного и поступательного движений в системах насос – гидромотор и насос – гидроцилиндр.

9. Применение унифицированных сборочных единиц (насосов, гидромоторов, гидроцилиндров, гидроклапанов, гидрораспределителей, фильтров, соединений трубопроводов и др.), позволяющее снизить себестоимость привода, облегчить его эксплуатацию и ремонт, а также упростить и сократить процесс конструирования машин.

Большинство СДМ – бульдозеры и рыхлители, фронтальные погрузчики и лесопогрузчики, скреперы, автогрейдеры и грейдер-элеваторы, одноковшовые универсальные и многоковшовые траншейные экскаваторы, самоходные краны, дорожные катки, бетоноукладчики, асфальтоукладчики – имеют гидравлический привод рабочих органов.

На рисунке 21.1 изображена принципиальная гидравлическая схема подъема (опускания) отвала бульдозера.

Принцип действия гидропривода заключается в следующем.

Из гидробака Б рабочая жидкость подается насосом Н в напорную секцию распределителя Р. Четырехпозиционный золотник направляет поток жидкости в гидроцилиндры Ц1 и Ц2 подъема и опускания отвала бульдозера.

В штоковой гидролинии гидроцилиндров подъема и опускания отвала бульдозера установлен дроссель ДР с обратным клапаном КО1, который обеспечивает сплошность потока жидкости и замедление скорости опускания отвала.

При перемещении золотника распределителя вниз по схеме начинают заполняться штоковые полости гидроцилиндров Ц1 и Ц2.

При перемещении золотника распределителя вверх по схеме начинают заполняться поршневые полости гидроцилиндров Ц1 и Ц2.

Таким образом осуществляется подъем и опускание отвала бульдозера.

Температура рабочей жидкости измеряется датчиком температуры Т, а давления в сливной и напорной магистралях - манометрами МН1 и МН2. Очистка рабочей жидкости от механических примесей производится фильтром Ф с переливным клапаном КП2.

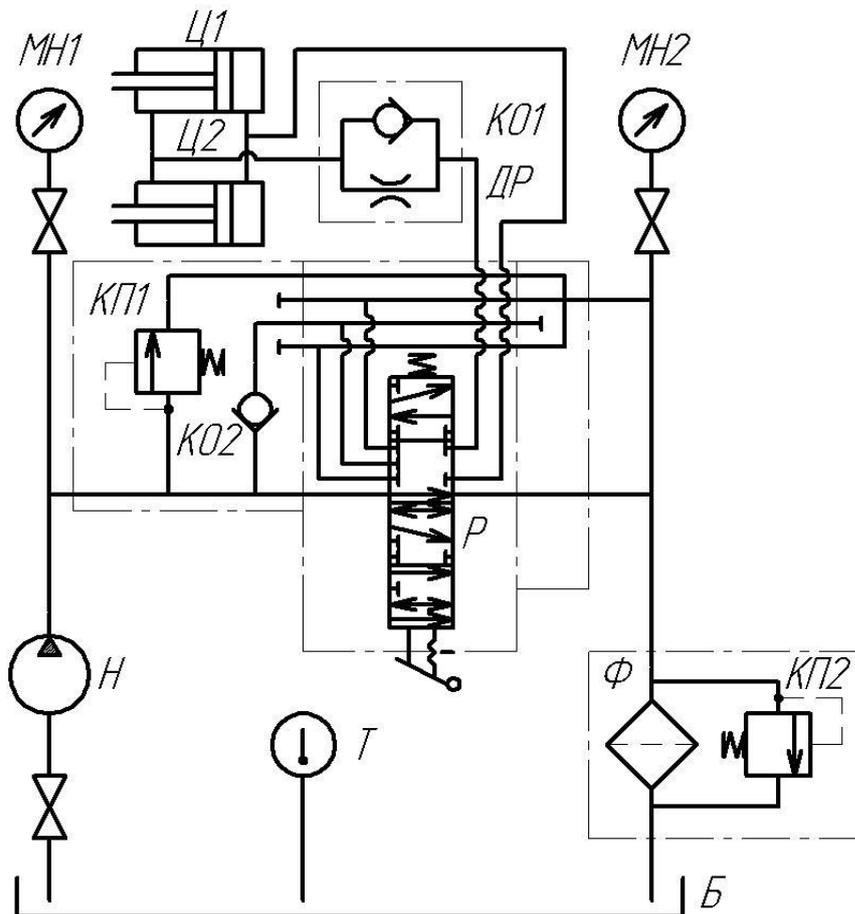


Рисунок 21.1- Принципиальная гидравлическая схема подъема (опускания) отвала бульдозера

В схему входят: Б – гидробак, Т – термометр, Н – насос, Ф – фильтр, КП1 и КП2 – гидроклапаны предохранительные, КО1 и КО2 – гидроклапан обратный, МН1 и МН2 - манометры, Ц1 и Ц2 – гидроцилиндр, Р – гидрораспределитель, ДР – гидродроссель.

### Определение мощности гидропривода и насоса

Полезную мощность гидродвигателя возвратно-поступательного действия (гидроцилиндра)  $N_{ГДВ}$ , кВт, определяют по формуле:

$$N_{ГДВ} = F \cdot V,$$

где  $F$  – усилие на штоке, кН;

$V$  – скорость движения штока, м/с.

Полезную мощность насоса  $N_{НП}$ , кВт, определяют по формуле:

$$N_{НП} = k_{зу} \cdot k_{зс} \cdot N_{ГДВ},$$

где  $k_{3y}$  – коэффициент запаса по усилию, учитывающий гидравлические потери давления в местных сопротивлениях и по длине гидролиний, а также потери мощности на преодоление инерционных сил, сил механического трения в подвижных сопротивлениях (1,1...1,2);

$k_{3c}$  – коэффициент запаса по скорости, учитывающий утечки рабочей жидкости, уменьшение подачи насоса с увеличением давления в гидросистеме (1,1...1,3).

### Выбор насоса

Подача насоса  $Q_H$ ,  $\text{дм}^3/\text{с}$ , определяют по формуле:

$$Q_H = N_{\text{НП}} / p_{\text{НОМ}},$$

где  $p_{\text{НОМ}}$  – номинальное давление, МПа.

Рабочий объем насоса,  $\text{дм}^3/\text{об}$ , определяют по формуле:

$$Q_H = N_{\text{НП}} / (p_{\text{НОМ}} \cdot n_H),$$

где  $n_H$  – частота вращения вала насоса,  $\text{с}^{-1}$  ( $n_H = 1500 \text{ об/мин} = 25 \text{ с}^{-1}$ ).

Выбираем насос по подходящим параметрам  $p_{\text{НОМ}}$  и  $q_H$ .

По технической характеристике выбранного насоса производим уточнение действительной подачи насоса  $Q_{\text{НД}}$ ,  $\text{дм}^3/\text{с}$ , по формуле:

$$Q_{\text{НД}} = q_{\text{НД}} \cdot n_{\text{НД}} \cdot \eta_{\text{ОБ}},$$

где  $q_{\text{НД}}$  – действительный рабочий объем насоса,  $\text{дм}^3/\text{об}$ ;

$n_{\text{НД}}$  – действительная частота вращения насоса,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\eta_{\text{ОБ}}$  – объемный КПД насоса.

Определение внутреннего диаметра гидролиний, скоростей движения жидкости

Расчетное значение диаметра гидролинии  $d_p$ , м, определяется по формуле:

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-3} Q_{\text{НД}}}{\pi V_{\text{ж}}}}$$

По расчетному значению внутреннего диаметра гидролинии  $d_p$  вс производится выбор трубопровода по ГОСТ 8734-75.

Действительная скорость движения жидкости  $V_{\text{жд}}$ , м/с, определяется по формуле:

$$V_{\text{жд}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-3} Q_{\text{НД}}}{\pi d^2}}$$

Аналогичным образом определяется скорость для всасывающей, сливной и напорной гидролинии.

### Расчет потерь давления в гидролиниях

Для всасывающей гидролинии:

Определяем число Рейнольдса  $Re$  по формуле:

$$Re = \frac{V_{\text{жд}} d}{\nu}$$

где  $V_{\text{жд}}$  – действительная скорость движения жидкости в гидролинии, м/с;  
 $d$  – внутренний диаметр гидролинии, м;

$\nu$  – кинематический коэффициент вязкости рабочей жидкости, м<sup>2</sup>/с.

Коэффициент путевых потерь  $\lambda$  (коэффициент Дарси) для турбулентного режима по формуле:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}$$

Потери давления по длине гидролинии  $\Delta p_l$ , МПа, (путевые) определяются по формуле:

$$\Delta p_l = \lambda \frac{\ell V_{\text{жд}}^2}{2d} \rho \cdot 10^{-6}$$

где  $\ell$  – длина гидролинии, м (для всасывающей  $\ell = \ell_{\text{вс}}$ , для напорной  $\ell = \ell_{\text{нап}} + \ell_{\text{исп}}$ , для сливной  $\ell = \ell_{\text{сл}} + \ell_{\text{исп}}$ );

$\rho$  – плотность рабочей жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Потери давления в местном сопротивлении  $\Delta p_m$ , МПа, определяются по формуле:

$$\Delta p_m = \xi \frac{V_{\text{жд}}^2}{2} \rho \cdot 10^{-6}$$

где  $\xi$  – коэффициент местного сопротивления (для разъемной муфты  $\xi = 1$ ).

Потери давления в гидролинии  $\Delta p$ , МПа, определяются по формуле:

$$\Delta p = \Delta p_l + \Delta p_m,$$

Для расчета гидроцилиндра воспользуемся расчетной схемой

Определяем диаметр поршня  $D_1$ , м, из условия обеспечения заданного усилия  $F$  по формуле:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4F}{\pi((p_{\text{ном}} - \Delta p_{\text{нап}}) - (1 - \varphi^2)\Delta p_{\text{сл}})}}$$

где  $F$  – усилие на штоке, Н.

Определяем диаметр штока  $d_1$ , м, по формуле:

$$d_1 = D_1 \varphi$$

Определяем диаметр поршня  $D_2$ , м, из условия обеспечения заданной скорости движения штока  $V$  по формуле:

$$D_2 = \sqrt{\frac{4Q_{\text{нд}}}{\pi V}}$$

где  $V$  – скорость движения штока, м/с.

Определяем диаметр штока  $d_2$ , м, по формуле:

$$d_2 = D_2 \varphi$$

Находим среднее значение диаметра поршня  $D$ , м, по формуле:

$$D = (D_1 + D_2) / 2$$

Находим среднее значение диаметра штока  $d$ , м, по формуле:

$$d = (d_1 + d_2) / 2$$

По выбранным стандартным значениям диаметров поршня  $D$  и штока  $d$  определяем действительное усилие  $F_d$ , Н, развиваемое гидроцилиндром, по формуле:

$$F_d = p_1 \frac{\pi D^2}{4} - p_2 \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

где  $p_2$  – давление в штоковой полости, Па ( $p_2 = \Delta p_{сл}$ );

$p_1$  – давление в поршневой полости, Па, определяется по формуле:

$$p_1 = p_{ном} - \Delta p_{нап},$$

По выбранным стандартным значениям диаметров поршня  $D$  и штока  $d$  определяем действительную скорость  $V_d$ , м/с, по формуле:

$$V_d = \frac{Q_{нд}}{S_{эф}}$$

где  $S_{эф}$  – эффективная площадь поршня, м<sup>2</sup>, определяется по формуле:

$$S_{эф} = \frac{\pi D^2}{4}$$

Сравниваем действительные и заданные параметры по относительным величинам:

$$\delta_v = \frac{V - V_d}{V} 100\%$$

где  $V$  – заданная скорость штока, м/с.

## 22 ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ МАШИН

По принципу действия подъемно-транспортные машины делятся на две группы: периодического и непрерывного действия. К первым относятся грузоподъемные краны всех типов, лифты, средства напольного транспорта (тележки, тягачи, погрузчики), подвесные рельсовые и канатные дороги периодического действия, скреперы и др. подобные машины; ко вторым (их также называют машины непрерывного транспорта или транспортирующие машины) – конвейеры различных типов, устройства пневматического и гидравлического транспорта.

Машины периодического действия характеризуются периодической подачей грузов, при этом загрузка и разгрузка производится при остановке машины. Цикл работы машины периодического действия состоит из остановки для захвата груза, подъема, движения с грузом, опускания, остановки для освобождения от груза и обратного движения без груза, т. е. из попеременно возвратных движений с остановками.

Машины непрерывного действия характеризуются непрерывным перемещением насыпных или штучных грузов по заданной трассе без остановок для загрузки или разгрузки. Перемещаемый насыпной груз располагается сплошным слоем на несущем элементе машины или отдельными порциями в непрерывно движущихся последовательно расположенных ковшах, коробах и др. емкостях. Штучные грузы перемещаются также непрерывным потоком в заданной последовательности один за другим. При этом рабочее (с грузом) и обратное (без груза) движения грузонесущего элемента происходят

одновременно. Благодаря непрерывности перемещения груза, отсутствию остановок для загрузки и разгрузки и совмещению рабочего и обратного движений грузонесущего элемента машины непрерывного действия имеют высокую производительность.

### **Назначение машин непрерывного транспорта**

Конвейеры являются составной частью технологического процесса предприятия и основными средствами комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных и складских операций.

Высокая производительность машин непрерывного транспорта обеспечивается:

- непрерывностью процесса перемещения;
- отсутствием остановок для загрузки или разгрузки;
- совмещением рабочего и обратного движений грузонесущего элемента.

Особую группу транспортирующих машин и установок составляют работающие совместно с ними вспомогательные устройства: питатели, весы, погрузочные машины, бункера, затворы, дозаторы и др.

Промышленный транспорт по территориальному признаку подразделяется на внешний и внутренний (внутризаводской). Внешний транспорт предназначен для доставки на предприятие сырья, топлива, полуфабрикатов, готовых изделий и других материалов; вывоза с предприятия готовой продукции и отходов.

Внутренний (внутризаводской) транспорт классифицируется на межцеховой и внутрицеховой.

Выбор средства межцехового транспортирования определяется масштабом и типом производства. Рациональным решением является объединение межцехового и внутрицехового транспортирования, исключая промежуточные перегрузки. Наиболее целесообразным является широкое использование автоматических линий, объединяющих в процессе перемещения технологические операции с изделиями (закалка, отпуск, очистка, охлаждение, окраска, сушка, упаковка и др.).

Тесная связь конвейеров с общим технологическим процессом предъявляет к ним высокие требования: надежность, прочность, долговечность, удобство в эксплуатации, способность работать в автоматическом режиме.

Существуют следующие способы перемещения грузов:

- на непрерывно движущемся несущем элементе в виде сплошной ленты или настила (ленточные, пластинчатые, цепенесущие конвейеры);
- в непрерывно движущихся рабочих элементах в виде ковшей, коробов, подвесок, тележек и т.д. (ковшовые, подвесные, тележечные, люлочные конвейеры, эскалаторы, элеваторы);
- волочением по неподвижному желобу или трубе непрерывно движущимися скребками (скребковые конвейеры);
- волочением (проталкиванием) по неподвижному желобу вращающимися винтовыми лопастями (винтовые конвейеры);

-пересыпанием и продольным перемещением во вращающейся трубе – гладкой или с винтовыми лопастями (транспортные трубы);

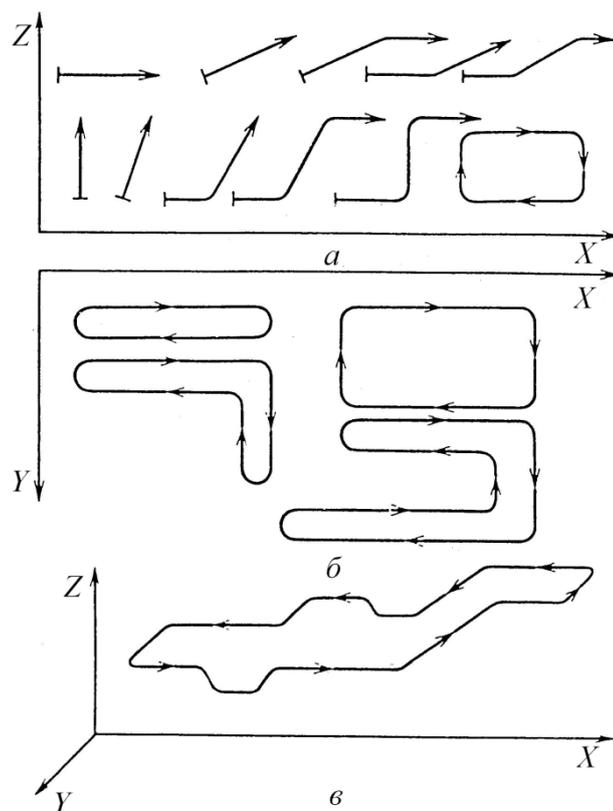


Рисунок 22.1 - Схемы трасс перемещения грузов транспортирующими машинами: *a* – вертикально замкнутая; *б* – горизонтально замкнутая; *в* – пространственная

-скольжением под действием сил инерции или перемещением микробросками по колеблющемуся желобу или трубе (качающиеся инерционные и вибрационные конвейеры);

-на колесах или на тележках по путям, уложенным на полу помещения вне конструкции конвейера (грузоведущие конвейеры);

-поступательный перенос на отдельные фиксированные участки по длине (шагающие конвейеры);

-в закрытой трубе непрерывным потоком во взвешенном состоянии в струе движущегося воздуха или отдельными порциями под действием струи воздуха (установки пневматического транспорта, пневмопочта, пневмоконтейнеры);

-в желобе или трубе под действием струи воды (установки гидравлического транспорта);

-перемещением ферромагнитных грузов в трубе или желобе под действием бегущего магнитного поля (соленоидные конвейеры).

Работу конвейера характеризуют следующие факторы:

-фактическое (эксплуатационное) время работы;

-нагрузки, действующие на конвейер и его элементы при обеспечении заданной производительности и продолжительности их действия;

-условия производства и окружающей среды, в которых работает конвейер.

Совокупность этих показателей определяет классы использования, расчетные и эксплуатационные режимы работы конвейера. Использование конвейера по времени характеризуется коэффициентами  $K_{в.с}$  и  $K_{в.г}$  [

$$K_{в.с} = t_{п.с} / t_c = t_{п.с} / 24,$$

$$K_{в.г} = t_{п.г} / t_r = t_{п.г} / 8760,$$

где  $t_{п.с}$  и  $t_{п.г}$  – плановое время работы конвейера в сутки и в год;

$t_c$  и  $t_r$  – календарное время (количество часов в сутки и в год).

Расчетный коэффициент фактического использования конвейера по времени  $K_в$

$$K_в = t_m / t_{п.с} \leq 1,$$

где  $t_m$  – время фактической (машинной) работы конвейера, час;

$t_{п.с}$  – заданное плановое время работы конвейера, час.

В зависимости от значений коэффициентов  $K_{в.с}$ ,  $K_{в.г}$ ,  $K_в$  и количества времени работы существует пять классов использования конвейеров по времени работы в сутки и в год: В1; В2; В3; В4; В5.

Классы использования конвейера по производительности характеризуются общим коэффициентом загрузки:

$$K_{п} = Q_c / Q_{\max} = Z_c / Z_{\max},$$

где  $Q_c$  и  $Q_{\max}$  - средняя и максимальная массовые производительности конвейера, т/час;

$Z_c$  и  $Z_{\max}$  – средняя и максимальная штучные производительности, шт/час.

В зависимости от значений коэффициента загрузки  $K_{п}$  существует три класса использования конвейера по производительности:

Средняя производительность конвейера:

$$Q_c = (1 / t_{с.м}) \sum Q_i \tau_i,$$

где  $Q_i$  – производительность конвейера в определенный промежуток времени  $\tau_i$  (час) в общем периоде рабочей смены, т/час;

$t_{с.м} = \sum \tau_i$  – общее машинное время работы конвейера в смену, час.

Подобным образом определяется средняя штучная производительность  $Z_c$  (шт./час).

Классы использования конвейера по грузоподъемности при транспортировании штучных грузов характеризуются коэффициентами максимальной  $K_{м.н}$  и эквивалентной  $K_{э.н}$  загрузки. В зависимости от значений этих коэффициентов существуют три класса использования конвейера по грузоподъемности Н1; Н2; Н3.

Использование конвейера по нагружению (натяжению) тягового элемента характеризуется коэффициентами максимального  $K_{м.ц}$  и эквивалентного  $K_{э.ц}$  натяжения, в зависимости от величин этих коэффициентов существуют три класса использования конвейера по нагружению тягового элемента Ц1; Ц2; Ц3. Установленные классы использования регламентируют пять режимов работы конвейеров: ВЛ; Л; С; Т; ВТ.

Основными показателями для определения режима являются классы использования конвейера по времени (В) и производительности (П) для всех видов конвейеров. Классы использования конвейера по грузоподъемности (Н) и по натяжению тягового элемента (Ц) являются дополнительными признаками и учитываются в поверочных расчетах, сравнительном анализе конвейеров, в расчетах долговечности элементов конвейера.

При проектировании и эксплуатации машин непрерывного транспорта необходимо учитывать производственные, температурные и климатические условия окружающей среды. Окружающая среда характеризуется составом и массовой концентрацией пыли, влажностью воздуха, насыщением его парами химических веществ, газами, вредно действующими на детали конвейера; температурой (климатическими условиями); пожаро- и взрывоопасностью.

Обозначения исполнений конвейеров для микроклиматических районов с климатом:

У – умеренным;

ХЛ – холодным;

ТВ – влажным тропическим;

ТС – сухим тропическим;

Т – сухим и влажным тропическим;

О – общеклиматическое исполнение (для всех микроклиматических районов на суше).

Если конвейер располагается в нескольких помещениях с различными производственными и температурными условиями, то в качестве расчетной базы применяют наихудшие условия эксплуатации.

### **Характеристика транспортируемых грузов**

Насыпные грузы (транспортируемые машинами непрерывного действия) – это массовые навалочные кусковые, зернистые, порошкообразные и пылевидные материалы, хранимые и перемещаемые навалом (руда, уголь, торф, щебень, зерно, песок, цемент).

Свойства насыпных грузов:

кусковатость (размер и форма частиц);

плотность;

влажность;

угол естественного откоса;

подвижность частиц;

абразивность;

крепость;

коррозионность;

липкость;

ядовитость;

взрывоопасность;

способность самовозгораться, слеживаться, смерзаться.

Кусковатость (гранулометрический состав) – это количественное распределение частиц груза по крупности. Однородность размеров частиц насыпного груза определяется коэффициентом  $k_0$ :

$$k_0 = a_{\max} / a_{\min},$$

где  $a_{\min}$  – размер максимальной частицы транспортируемого груза, мм;

$a_{\max}$  – размер минимальной частицы транспортируемого груза, мм.

При  $k_0 > 2,5$  – груз рядовой, при  $k_0 \leq 2,5$  – груз сортированный.

Гибкими тяговыми органами конвейеров являются цепи, ленты и канаты.

Преимущества тяговых цепей:

-возможность огибания звездочек и блоков малого диаметра;

-гибкость в вертикальной и горизонтальной плоскостях;

-высокая прочность при малом удлинении;

-удобство и высокая прочность грузонесущих и опорных элементов;

-надежность передачи тягового усилия зацеплением на звездочке при малом первоначальном натяжении;

-возможность работы при высокой температуре.

Недостатки тяговых цепей:

-большая масса и высокая стоимость;

-наличие большого количества шарниров, требующих регулярного наблюдения и смазки;

-ограничение скорости движения из-за дополнительных динамических нагрузок;

-интенсивное изнашивание цепи при высоких скоростях.

Преимущества конвейерных лент:

-возможность сочетания функций тягового и несущего элементов;

-малая масса;

-простота конструкции и эксплуатации;

-возможность перемещения с высокими скоростями;

-отсутствие быстроизнашивающихся шарниров;

-удовлетворение требованиям свойств транспортируемых грузов и окружающей среды.

Недостатки конвейерных лент:

-фрикционный способ передачи, требующий большого первоначального натяжения;

-недостаточный срок службы при транспортировании тяжелых и крупнокусковых грузов;

-ограниченная возможность использования для транспортирования горячих грузов;

-сложность текущего ремонта и очистки от липких грузов;

-повышенное удлинение ленты (до 4%) при рабочих нагрузках.

Преимущества канатов:

-меньшая стоимость и масса по сравнению с цепями при равной прочности;

-гибкость во всех направлениях;

-меньшая подверженность воздействию пыли и грязи из-за отсутствия шарниров;

-возможность перемещения с высокими скоростями.

Недостатки канатов:

-сложность создания надежного привода;

-большое первоначальное натяжение при фрикционном приводе;

-малый срок службы;

-большая вытяжка при рабочих нагрузках;

-сложность крепления рабочих элементов и замены отдельных частей каната.

Металлические конвейерные ленты выполняются сплошными стальными и проволочными (сетчатыми).

Стальные ленты изготавливают из углеродистой стали 65Г и 85Г и из коррозионно-стойкой стали и разделяют на:

цельнокатанные шириной 400–1200 мм;

продольно-стыкованные, соединенные из нескольких отдельных узких лент сваркой.

Толщина стальных лент составляет 0,8–1,0 мм, прочность на разрыв 900 МПа. Стальную ленту из углеродистой стали применяют для транспортирования горячих грузов  $t = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$  при неравномерном и до  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  при равномерном нагреве в печи. Конвейеры со стальной лентой применяют на предприятиях пищевой промышленности; при производстве бетонных плит, листов пластмассы, в моечных, сушильных и холодильных установках; гладкая поверхность стальной ленты позволяет транспортировать на ней липкие и горячие грузы; концы стальной ленты соединяют внахлестку заклепками или сваркой. Стальная лента на 30% легче и почти в 5 раз дешевле прорезиненной (при равной ширине и прочности).

Сетчатые (проволочные) ленты применяются для транспортирования штучных и кусковых грузов через закалочные, нагревательные, обжиговые и сушильные печи; для выпечки хлебных и кондитерских изделий; в моечных, обезвоживающих, охладительных, сортировочных установках; в камерах шоковой заморозки продуктов; при производстве стеклянных и керамических изделий.

Сетчатые ленты выполняются плоскими без бортов и с бортами высотой 90–100 мм, собираются из отдельных проволочных элементов (звеньев), обладают высокой прочностью, малым удлинением, равной прочностью, как в стыках, так и в любом другом сечении и могут огибать барабаны малого диаметра. Металлические конвейерные сетки находят широкое применение в современной промышленности, широкий диапазон температур от  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  и различные варианты конструкции позволяют использовать конвейерные сетки в тех условиях, когда другие материалы не работают.

Полимерные конвейерные ленты имеют рельефную рабочую поверхность и предназначены для использования на наклонных транспортерах, так как имеют низкий коэффициент скольжения, основная область применения – конвейеры для упаковки, транспортирования грузов с неровной

(необработанной) поверхностью и органических продуктов россыпью. Подбор материала ленты осуществляется в зависимости от области применения: полипропилен, полиэтилен, ацетат, нейлон.

Различные добавки в состав полимеров позволяют подобрать ленту, которая будет соответствовать требуемым условиям эксплуатации: устойчивость к высоким (+150 °С) или низким (-70 °С) температурам, влажности, абразивности или возможности порезов; устойчивость к минеральным маслам и жирам, химическая устойчивость, антистатичность.

Полимерные конвейерные ленты применяются в различных областях промышленности: пищевой, текстильной, деревообрабатывающей, аэрокосмической, нефтехимической, в машиностроении и др.

Преимуществами полимерных лент являются высокое качество, обеспечиваемое использованием высокотехнологичных материалов, которым могут быть заданы нужные свойства; экологически чистое сырье; широкий температурный диапазон (от -73 до +150 °С); удобство и легкость очистки.

Модульные полимерные ленты являются достаточно перспективными и применяются для транспортирования конвейерами продуктов пищевой, легкой, деревообрабатывающей, текстильной промышленности, полиграфического производства, упаковки и в кондитерской промышленности.

Модульные ленты (рис. 22.2) выполняются из термопластичных пластмассовых модулей, которые соединены между собой прочными пластмассовыми стержнями, цельная конструкция из пластмассы обеспечивает долгий срок службы, кирпичное соединение создает возможность для сборки различной ширины и обеспечивает высокую боковую и диагональную прочность и жесткость.

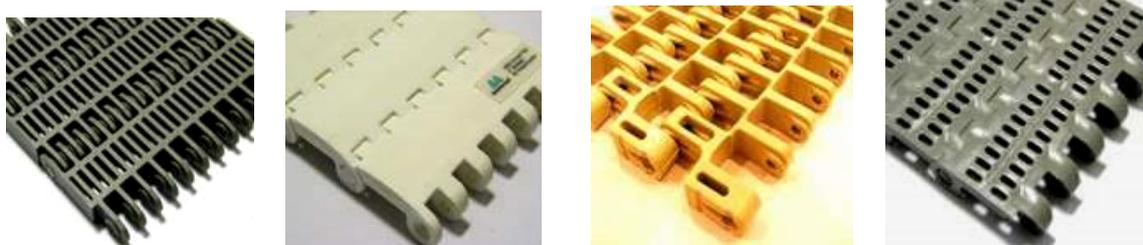


Рисунок 22.2. Модульные полимерные ленты

При использовании модульных лент имеется возможность изменения длины ленты добавлением или удалением модулей при ее постепенном вытягивании, наращивании или сокращении длины самого конвейера.

Преимуществами модульных полимерных лент являются большое количество и разнообразие их типов; широкий диапазон рабочих температур (от -70°С до +190°С); удобство монтажа и демонтажа; ремонтнопригодность; большой диапазон варьирования площади контакта продукта с лентой (от 10% до 90%); возможность обработки моющими горячими и активными растворами;

допуск к контакту с пищевыми продуктами (нетоксичны); устойчивость к химическим веществам.

### **Ходовые опорные устройства**

Опорными устройствами для лент (иногда для пластинчатого настила) являются стационарные ролики, обеспечивающие большой срок службы грузонесущего органа и малое сопротивление его движению.

Для опоры ленты используют роликоопоры или настил – сплошной (из дерева, стали, пластмассы) или комбинированный (чередование настила и роликоопор), наибольшее распространение имеют роликоопоры различных типов и конструкций.

Ролики изготавливают из металлической трубы, закрепленной с помощью подшипников на оси; в настоящее время широкое использование получили ролики, выполненные из керамики или высокопрочных полимерных материалов.

При транспортировании штучных грузов и пассажиров ленточные конвейеры снабжают опорами скольжения в виде неподвижного настила для обеспечения плавного движения ленты и предотвращения ее провеса под действием массы груза в промежутках между опорами. Ходовые катки служат опорными элементами пластинчатого настила скребков, ковшей, ступеней эскалаторов, несущих цепей, тележек подвесных, тележечных и грузоведущих напольных конвейеров. К опорным устройствам относятся также направляющие и подвесные пути, станины конвейеров.

В некоторых конструкциях скребковых конвейеров цепи снабжают ползунами, перемещающимися по неподвижным направляющим путям. Опорным элементом цепей конвейеров сплошного волочения является непосредственно днище желоба.

Опорные устройства должны обеспечивать малый коэффициент сопротивления движению; экономичность конструкции; высокую прочность и износостойкость; надежность; удобство обслуживания и ремонта.

### **Натяжные устройства**

Натяжные устройства (рис. 22.3) служат для обеспечения первоначального натяжения тягового элемента; ограничения провеса тягового элемента между опорными устройствами; компенсации вытяжки тягового элемента в процессе эксплуатации.

Натяжные устройства по способу действия и конструкции классифицируют на механические; пневматические; гидравлические; грузовые; грузолебедочные; лебедочные.

Преимущества механических натяжных устройств: простота конструкции; малые габаритные размеры; компактность. Недостатки механических натяжных устройств: переменное значение натяжения и возможность чрезмерного натяжения тягового элемента; жесткость крепления и отсутствие подвижности

при случайных перегрузках; необходимость периодического наблюдения и подтягивания.

Пневматические и гидравлические натяжные устройства имеют малые габаритные размеры, но требуют установки специального оборудования для подачи под постоянным давлением воздуха или масла.

Преимущества грузового натяжного устройства: приводится под действием свободно висящего груза; автоматически обеспечивает постоянное усилие натяжения; компенсирует изменения длины тягового элемента; уменьшает пиковые нагрузки при перегрузках.

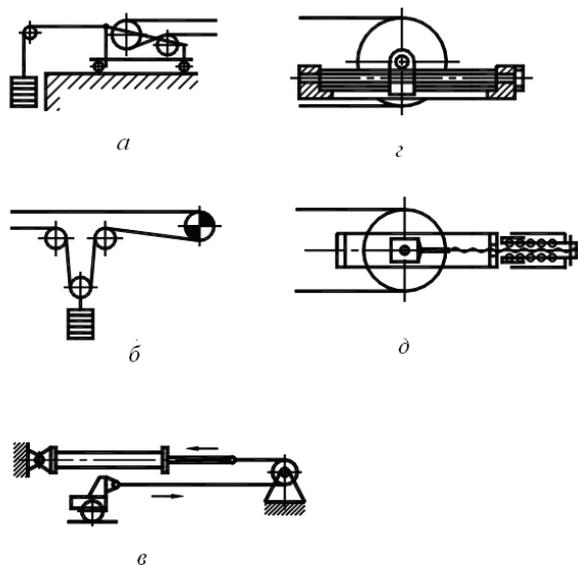


Рисунок 22.3 - Натяжные устройства:

*a* – хвостовое грузовое; *б* – промежуточное грузовое; *в* – гидравлическое;  
*г* – винтовое; *д* – пружинно-винтовое

Недостатки грузового натяжного устройства: большие габаритные размеры; большая масса груза для мощных и длинных ленточных конвейеров.

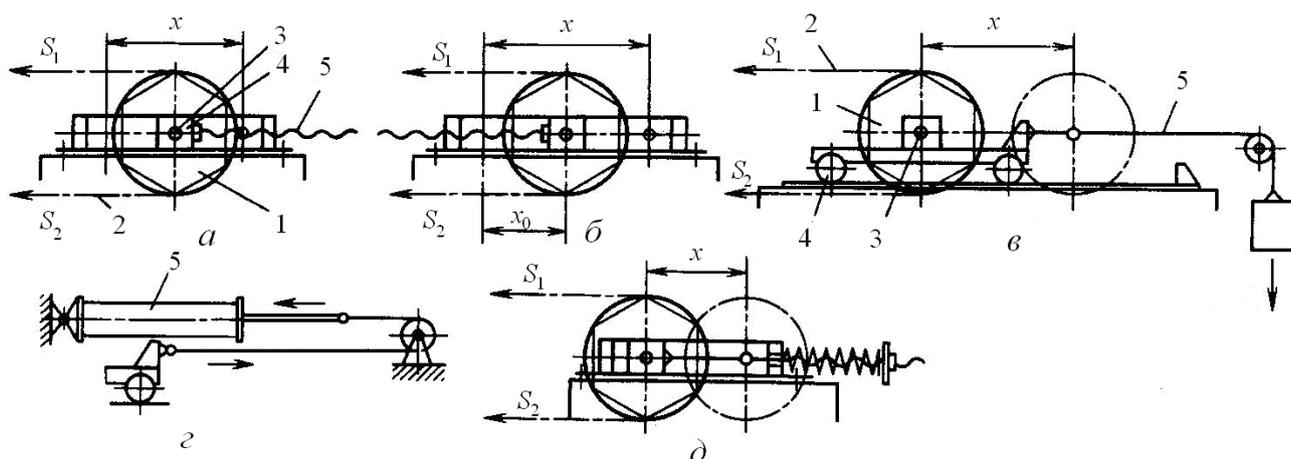


Рисунок 22.4 - Схемы натяжных устройств:

*a, б* – винтовые; *в* – тележечное грузовое; *г* – пневматическое (гидравлическое);  
*д* – пружинно-винтовое; 1 – поворотное устройство; 2 – тяговый элемент;  
3 – ось поворотного устройства; 4 – ползуны; 5 – натяжной механизм

Для снижения массы груза применяют рычаги, полиспасты, приводные лебедки. Ход натяжного устройства выбирается в зависимости от длины и конфигурации трассы и типа тягового элемента, ход натяжного устройства должен обеспечивать компенсацию удлинения тягового элемента и выполнение монтажных работ.

$$X = x_p + x_0,$$

где  $x_p$  – рабочий ход;

$x_0$  – монтажный ход.

Рабочий ход НУ для ленточных конвейеров

$$x_p \geq K_n K_s \varepsilon_y L,$$

где  $K_n$  – коэффициент, зависящий от угла наклона конвейера  $\beta$ ;

$K_s$  – коэффициент использования ленты по натяжению (при классах использования Ц1; Ц2; Ц3 значение  $K_s$  соответственно равно 0,63; 0,8; 1,0);

$\varepsilon_y$  – относительное упругое удлинение ленты (для резинотканевых лент  $\varepsilon_y = 0,015$ , для резинотросовых лент  $\varepsilon_y = 0,0025$ );

$L$  – длина конвейера между центрами концевых барабанов, м.

Натяжное устройство обычно устанавливается на одном из поворотных устройств (барабане, блоке, звездочке), расположенном на участке малого натяжения тягового элемента. Натяжное усилие

$$P_n = S_1 + S_2 + T,$$

где  $S_1$  – натяжение набегающей ветви конвейера, Н;

$S_2$  – натяжение сбегающей ветви конвейера, Н;

$T$  – усилие перемещения ползунов или натяжной тележки, Н.

Наибольшее натяжение должно быть в период пуска конвейера, при установившемся режиме оно должно автоматически уменьшаться (лебедочные и грузолебедочные натяжные устройства с автоматическим управлением, с датчиком контроля натяжения). На грузовых натяжных устройствах в крайних положениях натяжной тележки устанавливают конечные выключатели.

### Приводы конвейеров

Приводной механизм служит для приведения в движение тягового и грузонесущего элементов конвейера.

По способу передачи тягового усилия различают приводы: с передачей усилия зацеплением; фрикционные: однобарабанные (одноблочные), двух-, трехбарабанные и специальные промежуточные.

Приводы с передачей тягового усилия зацеплением (рис. 22.5):

угловые со звездочкой или кулачковым блоком устанавливаются на повороте трассы на 90 или 180°;

прямолинейные (гусеничные) с приводной цепью и кулаками (устанавливаются на прямолинейном участке).

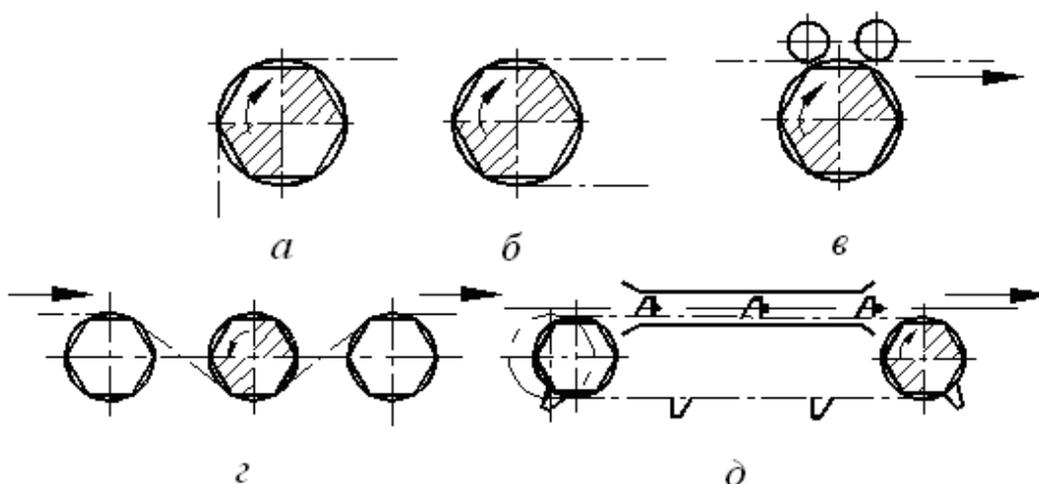


Рисунок 22. 5- Схемы приводов с передачей тягового усилия зацеплением:  
*a, б, в* – угловые со звездочкой (поворот на  $90^\circ$  и  $180^\circ$ );  
*г* – на отклонении цепи; *д* – прямолинейный гусеничный

Преимущества гусеничного привода: меньший диаметр приводной звездочки (по сравнению с угловым); меньший крутящий момент и размеры механизмов; возможность установки на любом горизонтальном участке трассы конвейера. Недостатки гусеничного привода: сложность устройства; высокая стоимость. В конвейерах используются гусеничные приводы с плоскими электромагнитами и фрикционные прямолинейные приводы.

По числу приводов конвейеры бывают одноприводные и многоприводные (рис. 22.6). У многоприводных конвейеров размещают до 12 промежуточных приводных механизмов с отдельными электродвигателями. Использование промежуточных приводов позволяет уменьшить натяжение тягового элемента.

От расположения привода зависит натяжение тягового элемента на разных участках контура трассы, поэтому привод необходимо располагать так, чтобы уменьшить наибольшее натяжение тягового элемента.

Применение нескольких приводов позволяет снизить максимальное натяжение гибкого тягового элемента, т. е. использовать гибкий тяговый элемент меньшей прочности; многоприводные конвейеры могут иметь большую длину при правильно выбранной системе приводов.

При определении рационального места установки привода на трассе конвейера основным фактором является достижение минимального натяжения тягового элемента и снижение натяжения на поворотных и криволинейных участках, поэтому рациональной является установка привода в пунктах поворота контура трассы.

Если конвейер состоит из одного участка (горизонтального или наклонного), то привод располагается в головной части, т.е. в конце грузовой ветви (рис. 22.7).

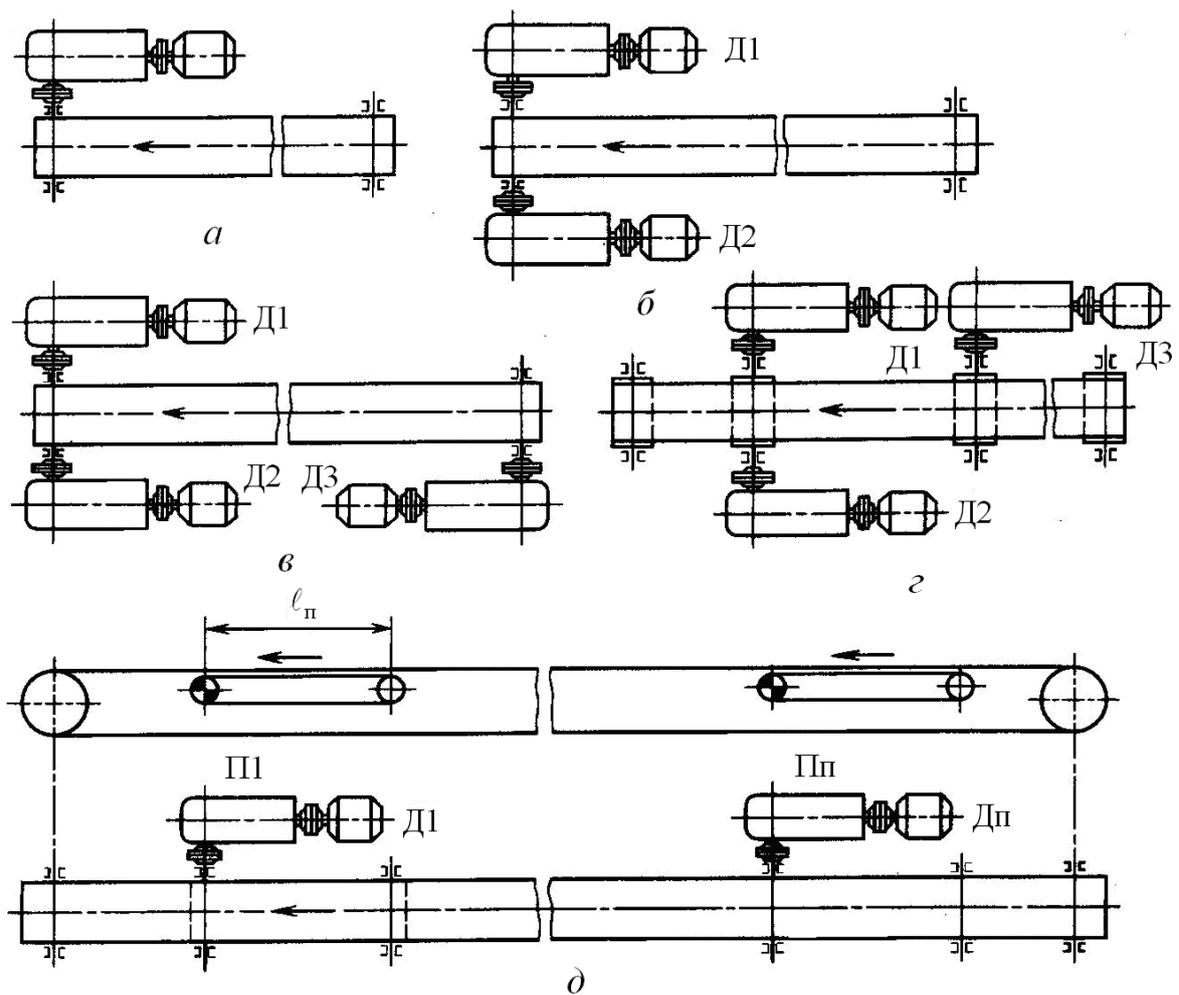


Рисунок 22.6- Схемы расположения приводов:  
*а* – с одним двигателем; *б* – с двумя двигателями; *в*, *г* – с тремя двигателями;  
*д* – многоприводного с промежуточными приводами

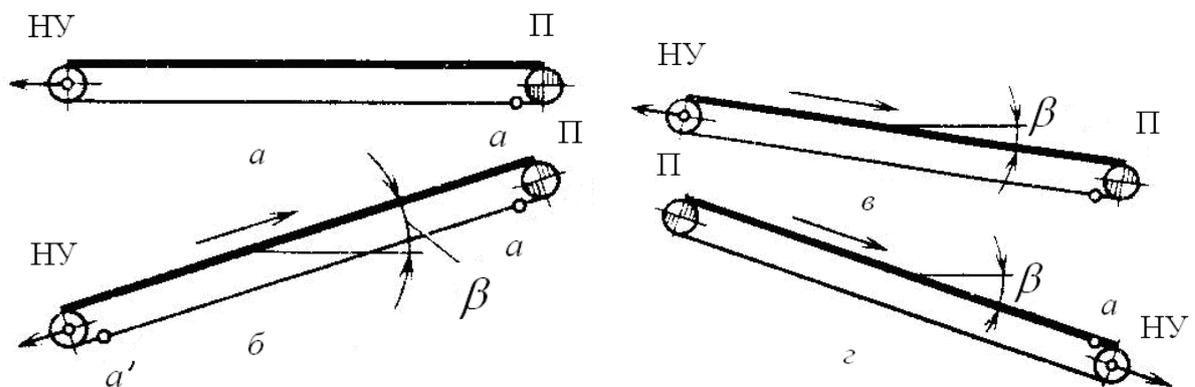


Рисунок 22.7 -Расположение привода в головной части конвейера  
(*а* – точка минимального натяжения):

*а*, *б* – на горизонтальном конвейере; *в*, *г* – на наклонном конвейере

При движении груза вниз при небольшом угле наклона сопротивление движению на грузовой ветви больше, чем на обратной – привод в головной части конвейера, при движении груза вниз при значительном угле наклона сопротивление движению на грузовой ветви меньше, чем на обратной – привод в хвостовой части конвейера.

Для того, чтобы сохранить требуемое натяжение тягового элемента на длинных ленточных конвейерах, натяжное устройство устанавливают ближе к приводу.

Оптимальное количество приводов на конвейере определяется технико-экономическим расчетом, при проектировании и выборе оптимального числа приводов целесообразным является использование меньшего числа приводов повышенной мощности. Использование прямолинейных промежуточных приводов в цепных конвейерах со сложной конфигурацией трассы позволяет обеспечить наиболее оптимальное их расположение на всем протяжении контура трассы.

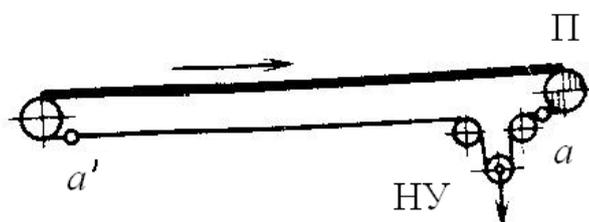


Рисунок 22.8 - Схема расположения привода и натяжного устройства на конвейере с увеличенной длиной трассы

Для быстрой остановки конвейера и предотвращения его обратного движения под действием силы тяжести груза в наклонных конвейерах на входном валу редуктора устанавливают тормоз. Для предупреждения обратного движения грузонесущего элемента под действием силы тяжести груза в случае нарушения кинематической связи между тормозным валом и приводным элементом конвейера устанавливают храповые остановы.

Для предохранения цепных конвейеров от обрыва цепи и поломок приводного механизма из-за внезапных перегрузок (заклинивание цепи, попадание посторонних предметов) применяют муфты предельного момента, а также ловители – устройства для автоматической остановки цепи при случайном ее обрыве.

Мощность на приводном валу

$$N_B = P_B v,$$

где  $P_B$  – тяговое усилие на валу приводного барабана (звездочки):

$$P_B = P_0 + W_{из} + W_{оч} + W_{п},$$

где  $P_0$  – тяговое усилие без учета потерь на приводном барабане (звездочке);

$W_{из}$  – потери от перегиба тягового элемента;

$W_{оч}$  – сопротивление очистительных устройств;

$W_{п}$  – сопротивление подшипников вала.

Установочная мощность приводного двигателя:

$$N = k_3 N_B / \eta.$$

По рассчитанной установочной мощности выбирают электродвигатель по каталогу. По выбранному двигателю подбирается редуктор в соответствии с расчетным передаточным числом.

Поддерживающая металлоконструкция зависит от конструкции конвейера, изготавливается из прокатной профильной стали секциями длиной 3-6 м. Привод и натяжное устройство имеют самостоятельные сварные конструкции. Поддерживающая металлоконструкция должна быть прочной, жесткой, легкой, удобной для монтажа и обслуживания.

### **Ленточные конвейеры**

Ленточные конвейеры являются наиболее распространенным средством непрерывного транспорта благодаря высокой производительности, большой длине транспортирования, высокой надежности, простоте конструкции и эксплуатации. Ленточные конвейеры широко используются для перемещения насыпных и штучных грузов во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства, при добыче полезных ископаемых, в металлургическом производстве, на складах и в портах в качестве элементов погрузочных и перегрузочных устройств и технологических машин. Ленточные конвейеры обеспечивают высокую производительность (до 30000 т/ч) независимо от длины установки со скоростью транспортирования до 6,3 м/с.

Ленточными конвейерами (рис. 22.9) являются машины непрерывного действия, основным элементом которых является прорезиненная вертикально замкнутая лента, огибающая концевые барабаны, один из которых, как правило, является приводным, другой – натяжным.

На верхней ветви ленты перемещается транспортируемый груз, она является грузонесущей (рабочей), нижняя ветвь является холостой (нерабочей). На всем протяжении трассы лента поддерживается роликоопорами верхней и нижней ветвей, в зависимости от конструкции которых лента имеет плоскую или желобчатую форму.

Поступательное движение конвейер получает от фрикционного привода, необходимое первоначальное натяжение ленты обеспечивается натяжным устройством. Груз поступает на ленту через одно или несколько загрузочных устройств, разгрузка производится с концевого барабана в приемный бункер (концевая) или в любом пункте вдоль трассы конвейера с помощью барабанных или плужковых разгрузателей (промежуточная). Очистка ленты от прилипших частиц груза осуществляется с помощью очистных устройств.

Для обеспечения устойчивого положения груза на ленте угол наклона конвейера должен быть на  $10-15^\circ$  меньше угла трения груза о ленту в покое, т. к. во время движения лента на роликоопорах встряхивается и груз сползает вниз. На конвейерах, имеющих наклонный участок, обязательно устанавливается тормоз.

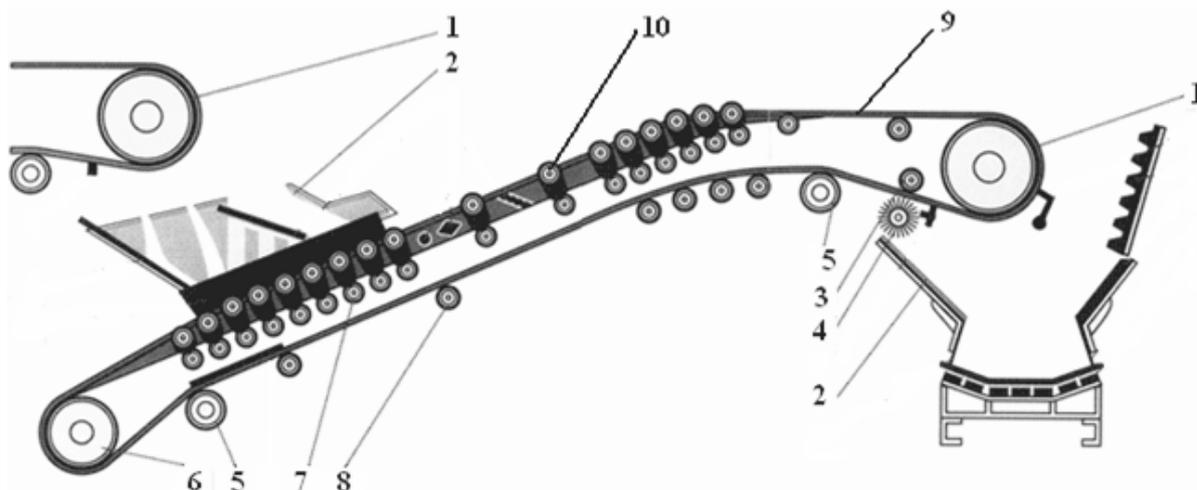


Рисунок 22.9- Схема ленточного конвейера:

1 – приводной барабан; 2 –загрузочный лоток; 3 – прижимной ролик; 4 – очистное устройство; 5 – отклоняющий барабан; 6 – концевой барабан; 7 – амортизирующие роликоопоры; 8 – нижние роликоопоры; 9 – лента; 10 – верхние роликоопоры

Преимуществами ленточных конвейеров являются: простота конструкции, высокая производительность при больших скоростях ленты, сложные трассы перемещения, большая протяженность трассы, высокая надежность.

К недостаткам относятся: высокая стоимость ленты и роликов, ограничение перемещения при углах наклона трассы  $> 18-20^\circ$ , ограниченное использование при транспортировании пылевидных, горячих и тяжелых штучных грузов.

По конструкции и назначению ленточные конвейеры выполняются общего назначения ГОСТ 22644–77 и специальные (для различных отраслей промышленности).

По типу ленты ленточные конвейеры: с прорезиненной лентой; со стальной цельнопрокатной лентой; с проволочной лентой. Наибольшее распространение получили конвейеры с прорезиненной лентой.

По расположению на местности ленточные конвейеры выполняются стационарными и подвижными; передвижными и переносными; переставными (для открытых разработок); надводными, плавающими на понтонах.

По профилю трассы ленточные конвейеры (рис. 22.10): горизонтальные; наклонные; комбинированные: наклонно-горизонтальные и горизонтально-наклонные с одним или несколькими перегибами и со сложной трассой.

Кроме перечисленных признаков конвейеры можно классифицировать по конструктивному исполнению отдельных узлов.

**Конвейерная лента.** Грузонесущим и тяговым элементом ленточного конвейера является бесконечная вертикально замкнутая гибкая прорезиненная лента, это самый дорогой и самый недолговечный элемент конвейера.

Типоразмер ленты выбирают по характеристике транспортируемого груза и окружающей среды, прочности по расчетному натяжению и производительности.

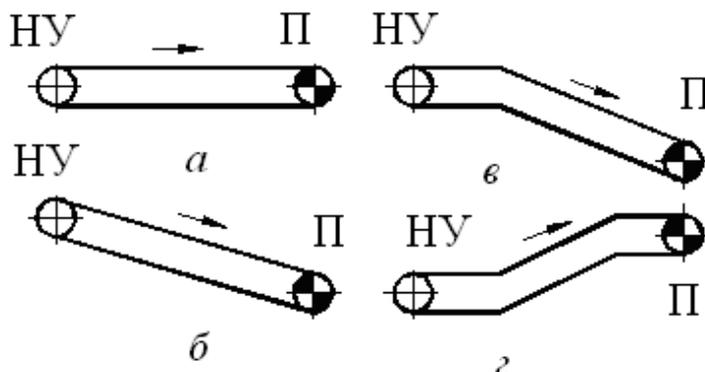


Рисунок 22.10 -Схемы трасс ленточных конвейеров:  
*а* – горизонтальная; *б* – наклонная; *в* – горизонтально-наклонная; *г* – сложная

**Опорные устройства.** Для опоры ленты устанавливают роlikоопоры или настил – сплошной (из дерева, стали, пластмассы) или комбинированный (чередование настила и роlikоопор). Наибольшее распространение имеют роlikоопоры различных типов и конструкций.

К роlikоопорам предъявляются следующие требования: удобство при установке и эксплуатации; малая стоимость; долговечность; малое сопротивление вращению; обеспечение необходимой устойчивости и желобчатости ленты во время движения.

По расположению на конвейере роlikоопоры классифицируют на верхние: прямые – для плоской формы ленты при транспортировании штучных грузов; желобчатые – для желобчатой формы ленты (для сыпучих грузов) на двух, трех и пяти роliках; нижние: прямые однороlikовые (рис. 3.3, *а*) (сплошные цилиндрические и дисковые); двухроlikовые желобчатые (угол наклона боковых роliков  $\alpha_{ж} = 10^\circ$ ).

Угол наклона боковых роliков  $\alpha_{ж}$  (угол желобчатости ленты) в двухроlikовой опоре обычно выбирается равным  $15^\circ$  или  $20^\circ$ , в трехроlikовой опоре угол  $\alpha_{ж}$  равен  $20^\circ$  и  $30^\circ$  для всех грузов и любой ширины ленты; для легких грузов и при ширине ленты 400–800 мм допускается увеличение угла желобчатости  $\alpha_{ж}$  до  $45^\circ$ – $60^\circ$ , что позволяет увеличить площадь поперечного сечения ленты (емкость ленты) и производительность конвейера на 15 % при той же ширине ленты, а также улучшить ее центрирование.

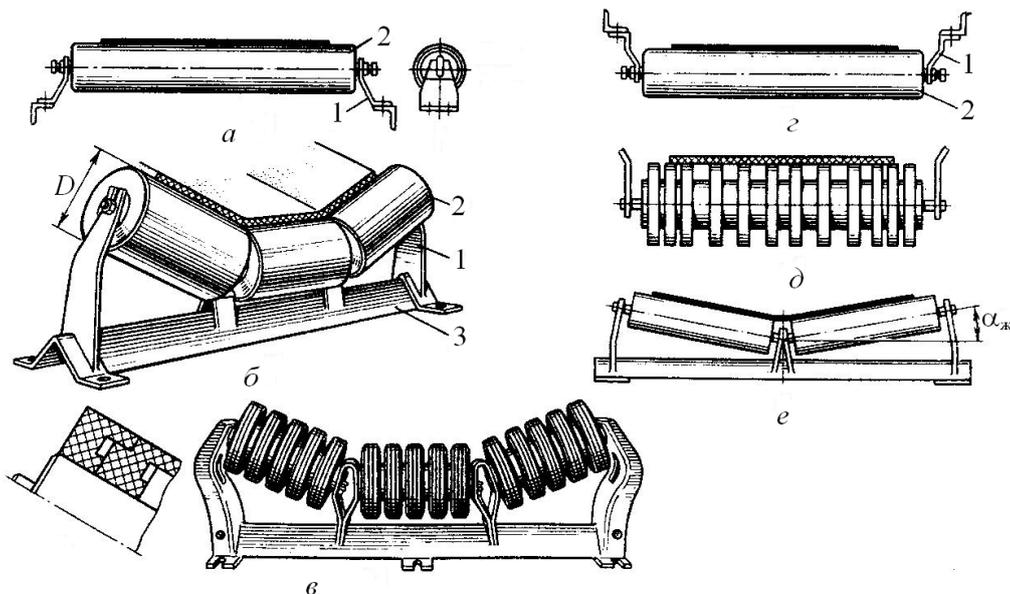


Рисунок 22.11 - Роликоопоры ленточного конвейера:

*а, б, в* – для верхней ветви: прямая, рядовая желобчатая, амортизирующая;  
*г, д, е* – для нижней ветви: прямая, дисковая очистная, желобчатая

По назначению роликоопоры классифицируют на рядовые (линейные) для поддержания ленты и придания ей необходимой формы; специальные: амортизирующие – для снижения динамических нагрузок в местах загрузки; подвесные – гирляндного типа; центрирующие – для предотвращения сбегания ленты в сторону во время движения и регулирования ее положения относительно продольной оси; очистительные (для очистки ленты), переходные (для изменения желобчатости ленты).

В трехроликовой опоре все ролики располагают в одной плоскости или средний ролик выдвигают вперед (шахматное расположение роликоопор) для более равномерного положения ленты и обеспечения удобства техобслуживания.

В зоне загрузки устанавливают амортизирующие опоры (рис. 22.11, *в*), у которых на корпусе ролика закреплены резиновые шайбы. При транспортировании сильноабразивных или налипающих грузов поверхности корпусов роликов футеруют резиной.

Наиболее податливыми (амортизирующими) являются гирляндные роликоопоры (рис. 22.12), подвешенные на гибкой подвеске.

Конструктивными отличиями гирляндных роликоопор являются:

пониженная металлоемкость (меньший вес), что имеет большое значение в условиях шахт, при ручном монтаже роликоопор;

повышенная надежность уплотнения подшипникового узла, увеличивающая срок службы роликов;

канатная (гибкая) подвеска, обеспечивающая возможность центрирования ленты, снижения ударной нагрузки промежуточных опор в подвесном варианте;

снижение динамических нагрузок;  
простота крепления и удобство при монтажных и демонтажных работах.

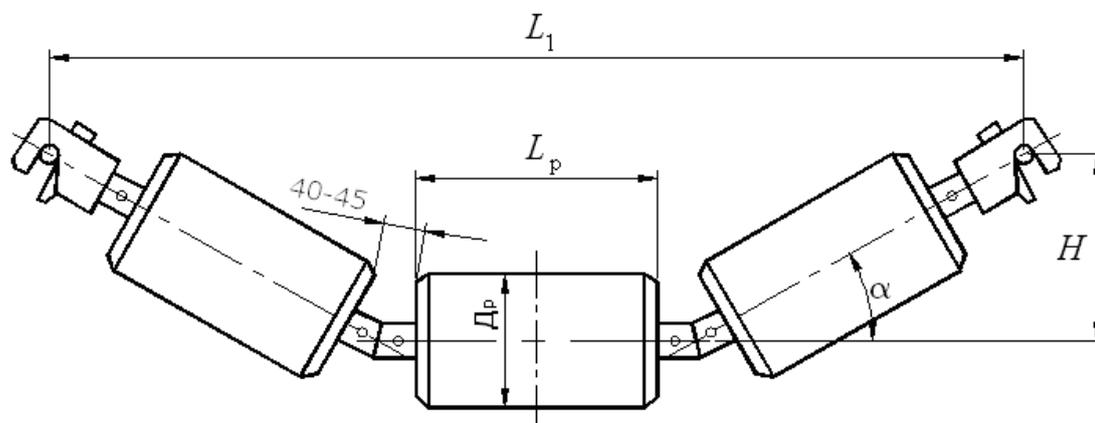


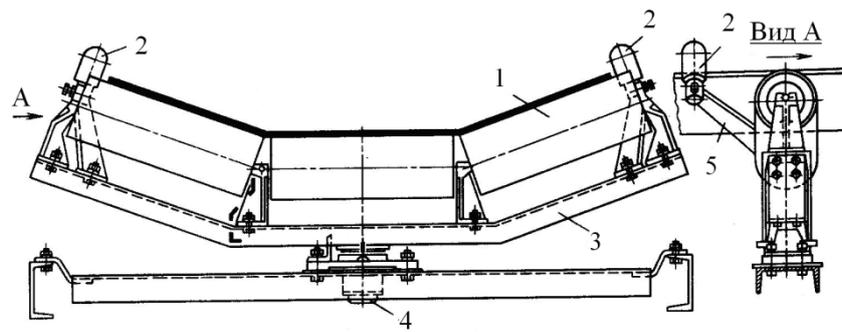
Рисунок 22.12 - Конструктивная схема подвесной роlikоопоры гирляндного типа

К преимуществам гирляндных роlikоопор относится небольшая масса; высокая амортизирующая способность; простота крепления к станине конвейера; удобство монтажа и демонтажа. Недостатками гирляндных роlikоопор являются продольные колебания при движении ленты; повышенный износ поверхности ленты; увеличение сопротивления движению ленты; низкий срок эксплуатации креплений.

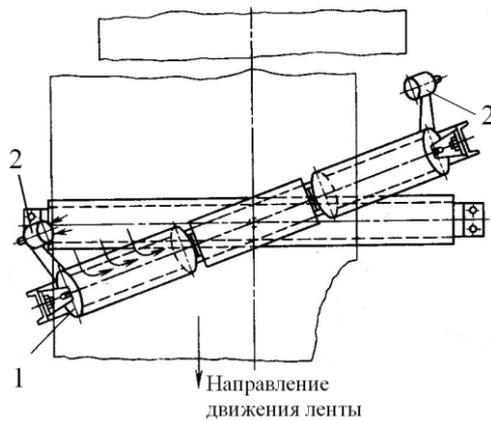
Для автоматического выравнивания хода ленты используют центрирующие роlikоопоры (рис. 22.13), которые состоят из обычной трехроlikовой опоры, установленной на раме и имеющей некоторый поворот вокруг вертикальной оси.

К поворотной раме с обеих сторон прикреплены рычаги, на концах которых установлены ролики; во время движения при смещении в сторону лента своей кромкой упирается в ролик и поворачивает раму с роlikоопорой на некоторый угол по отношению к продольной оси конвейера; после возвращения ленты в центральное положение роlikоопора движением самой ленты автоматически устанавливается в нормальное положение.

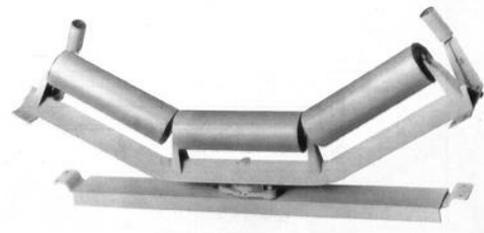
Центрирующие роlikоопоры (ЦР) устанавливают через 20–25 м или серию ЦР через 0,5–1 м, связанных между собой шарнирной планкой для увеличения центрирующего воздействия на ленту. Расстояние между роlikоопорами верхней ветви выбирается в зависимости от характеристики транспортируемого груза, расстояние между роlikоопорами нижней ветви принимают в 2–2,5 раза большим, чем на верхней ветви, но не более 3,5 м. В зоне загрузки устанавливают от 3 до 5 амортизирующих роlikоопор на расстоянии  $l_{p.в.} \approx 0,4–0,5$  м одна от другой.



a



б



в

Рисунок 22.13 - Центрирующая роликоопора верхней ветви ленты:  
 а – конструктивная схема; б – схема поворота при сдвиге ленты в сторону для неререверсивного конвейера; в – конструктивное исполнение;  
 1 – трехроликовая опора; 2 – ролики; 3 – рама; 4 – шарнир; 5 – рычаги

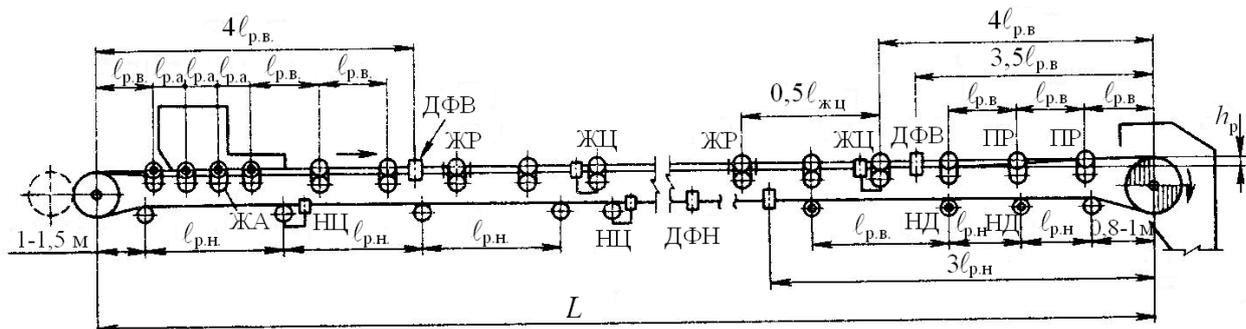


Рисунок 22.14 - Схема расстановки роликоопор:

ЖА – желобчатые амортизирующие; ЖР – желобчатые регулирующие; ЖЦ – желобчатые центрирующие; ПР – переходные; НЦ – нижние центрирующие; НД – нижние дисковые; ДФВ и ДФН – дефлекторные верхние и нижние

При переходе с желобчатого профиля ленты на прямой устанавливают 2–3 выполаживающие роликоопоры с меньшим углом наклона боковых роликов.

На криволинейных участках рабочей ветви выпуклостью вверх устанавливаются роликовые батареи на расстоянии  $l_{р.б.} = 0,5 l_{р.в.}$ .

Роликоопоры относятся к наиболее массовым элементам ленточных конвейеров. В процессе эксплуатации техническое обслуживание роликоопор предусматривает их периодический осмотр, регулировку и замену, ролики обеспечивают запасом смазки на весь срок эксплуатации.

Ролик (рис. 22.15) состоит из обечайки, изготовленной из отрезка трубы; вкладыша, штампованного из стали или литого из чугуна; оси (или полуоси); подшипника качения (шарикового, а для тяжелых типов – конического роликоподшипника) и его защитного уплотнения. С внутренней стороны подшипник защищен шайбой, канавками во вкладыше или внутренней трубой, которая полностью изолирует его от полости корпуса ролика и служит резервуаром для запаса смазки. Для защиты подшипника с внешней стороны от попадания пыли применяют сложные лабиринтные уплотнения.

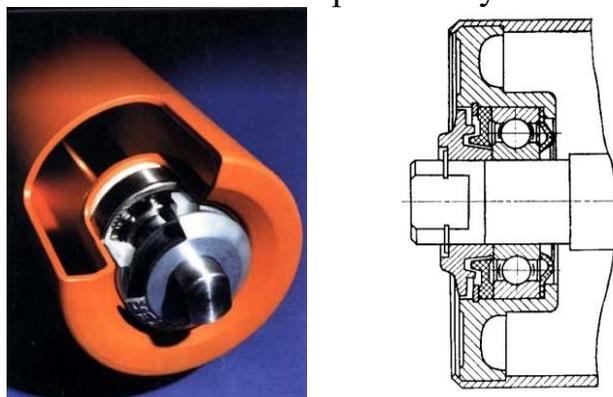


Рисунок 22.15- Подшипниковый узел ролика

Долговечность работы ролика зависит не только от силовых нагрузок и частоты его вращения, но и от конструктивного расположения и способа соединения его элементов: соосности поверхностей оси под подшипники и посадочных мест в обечайке под стаканы, соосности внешней поверхности стаканов и расточек под наружные кольца подшипника, качества уплотнения и смазки. Уплотнение является одним из важнейших элементов ролика, так как определяет долговечность подшипника. От конструкции уплотнения зависит безремонтный период эксплуатации ролика.

В уплотнениях большинства конструкций роликов основной частью является лабиринт, подшипники роликов тщательно уплотняются с наружной и внутренней стороны. Современные конструктивные исполнения подшипниковых узлов роликов являются достаточно надежными, обеспечивая запас смазки на весь срок эксплуатации ролика.

Несмотря на многообразие конструктивных разновидностей роликов, можно выделить два принципиально различных типа: ролики со сквозной осью и встроенными подшипниками и ролики моноблочные с выносными подшипниками на полуосях.

Ролики обладают надежной конструкцией с автономным внутренним объемом, не зависящим от условий внешней среды и места эксплуатации.

Корпус подшипникового узла, штампованный из стального листа, по сравнению с литым корпусом имеет меньший вес, что значительно снижает момент сопротивления вращению и благоприятно влияет на работу конвейера. Подшипниковый узел состоит: из радиального шарикоподшипника 3 (рис. 3.9) по ГОСТ 8338–75 или по ГОСТ 7242–81; двух стопорных колец 2 по ГОСТ 13942–86; наружного трехканального лабиринта 1, изготовленного из полиэтилена и полипропилена, температурные границы использования которого от – 35 до 50 °С.

Ролики холостой ветви имеют эксплуатационный ресурс 90 % подшипниковых узлов не менее 3 лет, а при пополнении смазки – до 5 лет. При транспортировании абразивных и липких материалов на конвейерах применяют очистительные и дисковые ролики. На некоторых конвейерных линиях большой протяженности число роликов достигает нескольких десятков тысяч. Ролики обновляются за время эксплуатации конвейера от 2 до 5 раз. Ежегодная общая потребность эксплуатирующих предприятий в роликах удовлетворяется всего на 30 %.

Конвейерные ролики, наряду с лентой, имеют наименьший ресурс и требуют наибольших затрат труда и денежных средств на замену, ремонт и обслуживание (30–40 % и более эксплуатационных затрат), а общая их стоимость составляет 25–30 % от стоимости конвейера.

Ресурс конвейерных роликов в узлах загрузки составляет от 0,5 до 1,0 года, а по ставу конвейера – от 0,7 до 2,5 лет (в среднем 1,7 года). Расчетный срок службы среднего, наиболее нагруженного ролика, при ширине ленты 1800–2000 мм принимается равным 45 тыс. ч при загруженности подшипникового узла не более 60–80 % от номинальной.

В результате обработки статистических данных, систематизации и анализа повреждений элементов конвейеров в процессе эксплуатации выявлено, что частые простои конвейеров связаны с выходом из строя конвейерных роликов. Отказы распределяются следующим образом: посадочные места под подшипники качения на оси роликов, рабочие поверхности барабанов и роликов подвергаются механическому и абразивно-механическому износу, в результате чего происходит изменение их начальных размеров, искажение геометрических форм, появление рисок и задиров.

Чаще всего выход из строя конвейерных роликов (табл. 22.1) происходит из-за засорения подшипникового узла абразивными частицами транспортируемого груза или чрезмерного повышения температуры на внутренней поверхности ролика.

Засорение подшипникового узла увеличивает коэффициент сопротивления движению, препятствует вращению ролика, ведет к истиранию тела ролика, преждевременному износу ленты и увеличению энергоемкости процесса транспортирования.

Конвейер с невращающимися роликами эксплуатировать нельзя, так как происходит их износ на полную толщину стенки трубы, интенсивное истирание обкладки ленты, повышается температура на контакте, существенно увеличивается сопротивление движению ленты (до 10 раз), крутящий момент

на выходном валу двигателя, следовательно, повышается энергоемкость процесса транспортирования.

Таблица 22.1- Распределение отказов в работе роликов по причинам их возникновения

Причины выхода из строя роликов	Частота выхода из строя, %	
	верхней ветви	нижней ветви
Засорение подшипников и их стопорение	38	12
Отсутствие или недостаток смазки подшипников	37	36
Слабая посадка подшипника в корпусе	12	10
Слабая посадка подшипника на оси	3	3
Равномерное истирание обечайки по окружности	2	30

Таким образом, надежность подшипникового узла является одним из определяющих критериев при выборе конструкции роликов.

**Приводы ленточных конвейеров.** В ленточном конвейере движущая сила ленте передается с помощью фрикционной передачи (трением) при огибании ею приводного барабана или при контакте приводной ленты с грузонесущей.

Основными элементами привода ленточного конвейера являются один или два (реже три) приводных барабана и приводные блоки, состоящие из электродвигателя, редуктора, соединительных муфт и тормоза, обводные барабаны, пусковая и регулирующая аппаратура.

Приводы ленточного конвейера выполняются

однобарабанными с одним или двумя двигателями (рис. 22.16);

двухбарабанными с близко расположенными друг около друга приводными барабанами (рис. 22.17, а) и с отдельным расположением приводных барабанов на переднем и заднем концах конвейера;

трехбарабанными с близко расположенными друг около друга барабанами или с отдельным расположением двух приводных барабанов на переднем и заднем концах конвейера.

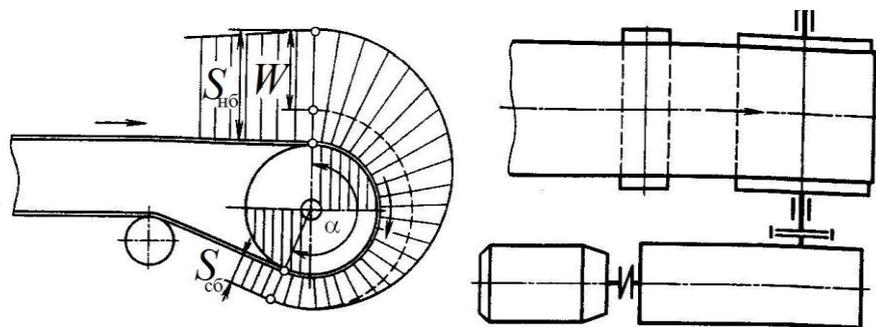


Рисунок 22.16 - Схема однобарабанного привода

Наиболее надежным и конструктивно простым является однобарабанный привод, так как имеет небольшие габаритные размеры, простую конструкцию, один перегиб ленты, высокую надежность, но в связи с этим ограниченный (до 240°) угол обхвата лентой барабана и пониженный коэффициент использования прочности ленты.

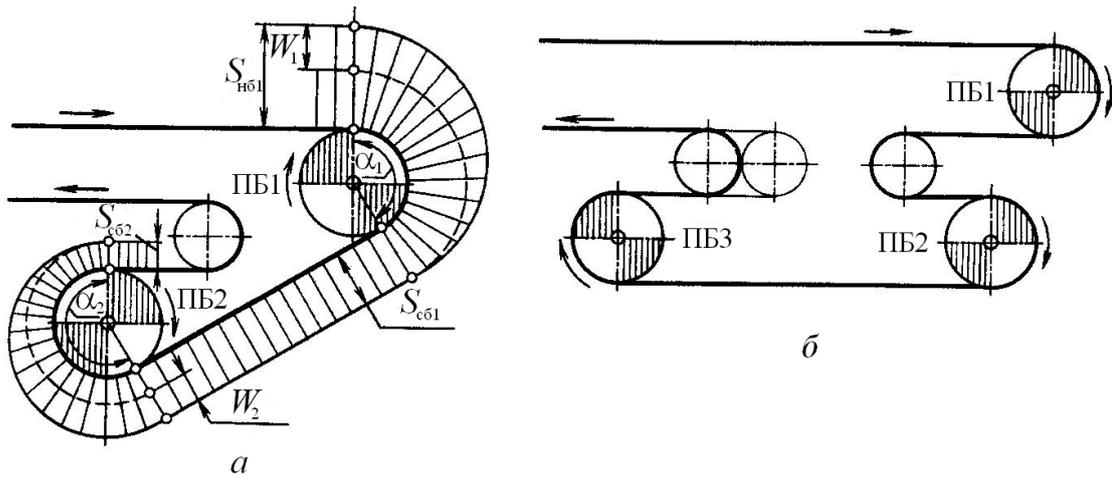


Рисунок 22.17 -Приводы конвейеров с близко расположенными приводными барабанами: *а* – двухбарабанный, *б* – трехбарабанный

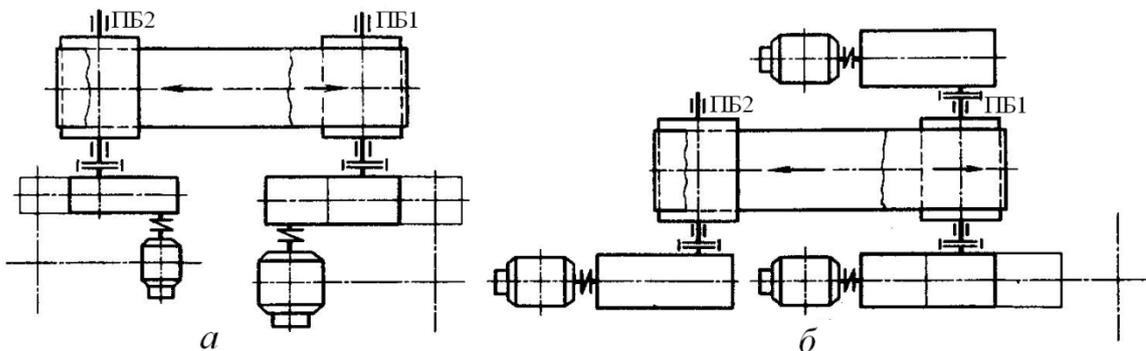


Рисунок 22.18- Схемы двухбарабанного привода: *а* – с двумя двигателями, *б* – с тремя двигателями

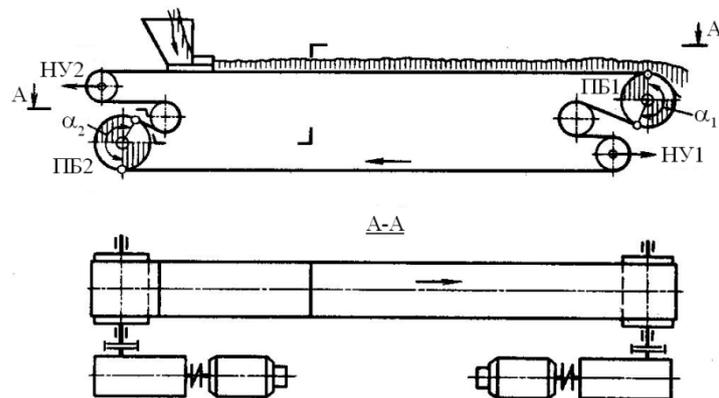


Рисунок 22.19 - Расположение приводов на переднем и заднем концевых барабанах

Однбарабанный привод небольшой мощности (до 30–50 кВт) выполняют со встроенным внутри барабана электродвигателем и редуктором. Такие мотор-барабаны широко используются в приводах передвижных и переносных конвейеров и питателей; они компактны, имеют небольшую массу. К преимуществам однбарабанного привода относятся простота конструкции,

высокая надежность, небольшие габаритные размеры, единичный перегиб ленты; недостатками – ограниченный угол обхвата лентой приводного барабана и пониженный коэффициент использования прочности ленты.

Двухбарабанные приводы с близко расположенными приводными барабанами имеют различное конструктивное исполнение, наиболее распространенным из них является двухбарабанный привод с индивидуальными приводными механизмами. В этом исполнении барабаны связаны между собой только конвейерной лентой (без дополнительной кинематической связи). У двухбарабанного привода угол обхвата лентой приводного барабана увеличивается до  $400^\circ$ , что позволяет использовать ленту меньшей прочности и является его основным преимуществом. Двухбарабанный привод имеет большие габариты, чем однобарабанный, более сложную конструкцию и меньшую надежность; многократные перегибы ленты снижают ее долговечность – это его основные недостатки. Трехбарабанные приводы применяются в конвейерах большой протяженности.

По общей теории фрикционного однобарабанного привода соотношение между натяжениями ветвей ленты  $S_{нб}$  и  $S_{сб}$  при отсутствии скольжения

$$S_{нб} \leq S_{сб} e^{\mu\alpha},$$

где  $\mu$  – коэффициент трения ленты о поверхность барабана;

$\alpha$  – угол обхвата лентой барабана, рад.

Величину  $e^{\mu\alpha}$ , определяющую тяговую способность барабана, называют тяговым фактором.

Тяговое усилие барабана без учета потерь из-за жесткости ленты

$$W = S_{нб} - S_{сб} = S_{сб} (e^{\mu\alpha} - 1) \text{ или } W \leq (e^{\mu\alpha} - 1) S_{нб} / e^{\mu\alpha}.$$

Тяговое усилие барабана возрастает с увеличением угла обхвата, коэффициента трения и первоначального натяжения ленты. Для увеличения коэффициента трения поверхность барабана футеруют фрикционными материалами с насечками в виде прямоугольников или ромбов глубиной 3–4 мм.

Расчетное натяжение сбегающей ветви ленты

$$S_{сб} = K_3 W / (e^{\mu\alpha} - 1).$$

Расчетное натяжение набегающей ветви ленты

$$S_{нб} = S_{сб} e^{\mu\alpha} = K_3 W e^{\mu\alpha} / (e^{\mu\alpha} - 1),$$

где  $K_3 = 1,1-1,2$  – коэффициент запаса сцепления ленты с барабаном;

$W$  – тяговое усилие, равное общему сопротивлению движения ленты, определяемое тяговым расчетом, Н.

Мощность приводного двигателя

$$N = K_3 W v / (1000 \eta),$$

где  $v$  – скорость движения ленты конвейера, м/с;

$\eta$  – общий КПД механизма привода (обычно  $\eta = 0,8-0,9$ ).

В двухбарабанном приводе

$$S_{нб1} \leq S_{сб2} e^{(\mu_1\alpha_1 + \mu_2\alpha_2)},$$

где  $S_{нб1}$  – натяжение ветви ленты, набегающей на первый по ходу ленты барабан, Н;

$S_{с62}$  – натяжение ветви ленты, сбегаящей со второго приводного барабана, Н;

$\mu_1$  и  $\mu_2$  – коэффициенты трения ленты о поверхность первого и второго барабанов;

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – углы обхвата лентой первого и второго барабанов, рад.

Общая мощность двигателей двухбарабанного привода

$$N = N_1 + N_2,$$

$$N_1 = N K_{\phi} / (K_{\phi} + 1) \approx N_{1д},$$

$$N_2 = N / (K_{\phi} + 1) \approx N_{2д},$$

где  $K_{\phi} = N_{1д} / N_{2д}$  – коэффициент соотношения мощностей на первом и втором барабанах;

$N_{1д}$  и  $N_{2д}$  – принятые по каталогу мощности электродвигателей.

Обычно принимают  $K_{\phi} = 1-3$ , чаще  $K_{\phi} = 2$ , тогда на первом барабане устанавливают два одинаковых приводных механизма и электродвигателя, а на втором – один такой же комплект.

Общее суммарное тяговое усилие распределяется на два окружных усилия, создаваемых первым и вторым барабаном

$$W = W_1 + W_2,$$

$$W_1 = W K_{\phi} / (K_{\phi} + 1),$$

$$W_2 = W / (K_{\phi} + 1).$$

Выбор места расположения и типа привода зависит от протяженности и профиля трассы конвейера, значения коэффициента трения между лентой и поверхностью приводного барабана  $\mu$  и коэффициента использования прочности ленты.

Мощность приводных блоков выбирается из стандартного ряда: 200, 250, 320, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1500 кВт.

Дополнительное прижатие ленты к приводному барабану осуществляется с помощью установки прижимных барабанов, с использованием вакуума или магнитных сил и других приспособлений.

Вал приводного или ось не приводного барабанов устанавливается в опорах на шарикоупорных подшипниках. Для соединения приводного барабана с выходным валом редуктора применяется зубчатая муфта, валы двигателя и редуктора соединяются упругой муфтой. На конвейерах, имеющих наклонный участок для предотвращения самопроизвольного обратного движения загруженной ветви устанавливают храповый останов или тормоз.

Геометрические параметры приводных барабанов зависят от конструкции и прочности ленты.

Исходными данными к расчету являются:

характеристика груза;

производительность (средняя и максимальная плановая);

схема трассы конвейера;

производственные условия эксплуатации;

характер загрузки и разгрузки.

Расположение насыпного груза на ленте (рис. 22.20) определяется профилем сечения рабочей ветви ленты.

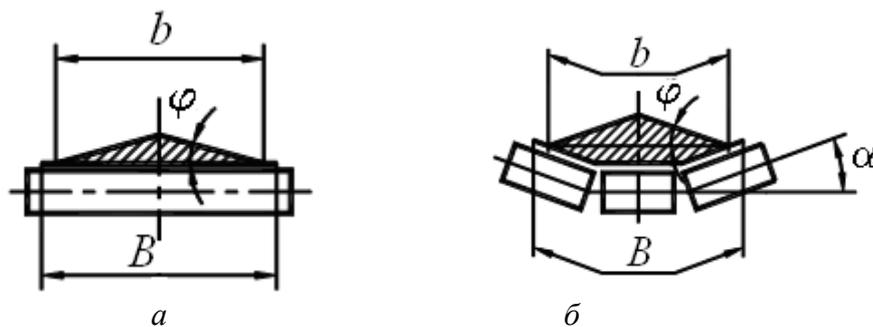


Рисунок 22.20 - Расположение насыпного груза:  
*a* – на прямой роликоопоре; *б* – на желобчатой роликоопоре

Площадь поперечного сечения насыпного груза  $F$  на движущейся ленте зависит от ширины ленты и ширины находящегося на ней насыпного груза (рабочей ширины ленты), типа роликоопоры, углов наклона боковых роликов и соотношения длин роликов (для желобчатой опоры), угла естественного откоса груза на движущейся ленте и его гранулометрического состава, угла наклона конвейера, способа подачи груза на ленту. Площадь поперечного сечения насыпного груза

$$F = b h k_{\beta} / 2 = 0,25 b^2 k_{\beta} \operatorname{tg} \varphi_1,$$

где  $b = (0,9B - 0,05)$  – грузонесущая ширина ленты, м;

$h = 0,5 b \operatorname{tg} \varphi_1$  – высота слоя груза, м;

$k_{\beta}$  – коэффициент уменьшения сечения груза на наклонном конвейере;

$\varphi_1 \approx 0,35 \varphi$  – угол естественного откоса груза в движении;

$\varphi$  – угол естественного откоса груза в покое.

Площадь сечения груза на желобчатой роликоопоре представляет собой сумму площадей равнобокого треугольника и трапеции, стороны которой определяются размерами роликов и углом их наклона.

Расчетная массовая максимальная производительность конвейера

$$Q_{p.m.} = 3600 F v \rho = K_{\Pi} v \rho k_{\beta} b^2,$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения груза на ленте,  $m^2$ ;

$v$  – скорость движения ленты, м/с; скорость движения ленты выбирают в зависимости от характеристики груза, ширины ленты, наличия промежуточной разгрузки, назначения, местоположения конвейера;

$\rho$  – плотность груза,  $t/m^3$ ;

$K_{\Pi} = 3600F / b^2$  – коэффициент площади поперечного сечения груза на ленте.

Нормальный ряд ширины ленты по ГОСТ 20–85: 300, 400, 500, 650, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2500, 3000 мм.

При транспортировании штучных грузов ширину ленты определяют в зависимости от габаритных размеров груза и способа его загрузки на ленту, на ленте с обеих сторон должны оставаться свободные от груза поля 50–100 мм.

Для обеспечения заданной расчетной производительности при принятой ширине ленты  $B$  скорость ленты определяется:  $v_p = v \cdot B^2_p / B^2$ .

Окончательное значение скорости движения ленты выбирается из нормального ряда скоростей согласно ГОСТ 22644–77: 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3 м/с.

Для широких лент возможны более высокие скорости, чем для узких; для конвейеров, работающих в закрытых помещениях, принимают меньшие скорости, чем для конвейеров на открытой местности; для конвейеров с наибольшим углом наклона принимают меньшие скорости, чем для горизонтальных (во избежание просыпи груза).

Расчетное натяжение ленты, тяговое усилие и мощность двигателя определяются: по обобщенной формуле (предварительное вычисление параметров); по подробному тяговому расчету для точных поверочных расчетов.

Тяговый расчет ленточного конвейера выполняется в двух вариантах: при установившемся движении и в момент запуска при полной нагрузке конвейера. Подробный тяговый расчет выполняют методом последовательного суммирования сил сопротивления движению ленты на всей трассе конвейера. Линейные силы тяжести ленты и роlikоопор принимают приближенно, затем уточняют. Контур трассы конвейера разбивают на отдельные участки по виду сопротивлений: прямолинейные (горизонтальные, наклонные); повороты (отклонения ленты на роликах или барабанах); узлы загрузки и разгрузки. Нумерацию и расчет начинают от точки сбегания ленты с приводного барабана по направлению движения по контуру трассы до конечной точки набегания ленты на приводной барабан.

### **Винтовые конвейеры**

Винтовые конвейеры относятся к группе транспортирующих машин без тягового органа и используются в химической и мукомольной промышленности, при производстве строительных материалов для транспортирования пылевидных, порошкообразных и реже мелкокусковых грузов на небольшое расстояние в горизонтальном или вертикальном направлении.

Винтовыми конвейерами не рекомендуется перемещать липкие и влажные, сильно уплотняющиеся и высоко абразивные грузы, а также грузы, дробление которых снижает их качество. Транспортирование абразивных материалов винтовыми конвейерами приводит к быстрому изнашиванию винта и желоба; очень липкие грузы налипают на винт и вращаются вместе с ним, не перемещаясь вдоль желоба. Длина горизонтальных винтовых конвейеров достигает 60 м, высота наклонных и вертикальных конвейеров – до 30 м, производительность до 100 т/ч.

К достоинствам винтовых конвейеров относятся компактность, простота конструкции и обслуживания, надежность в эксплуатации, удобство промежуточной разгрузки, герметичность и пригодность для транспортирования горячих, пылящих и токсичных материалов. Недостатками являются: повышенная энергоемкость, измельчение грузов в процессе

транспортирования, повышенный износ винта и желоба, ограниченная длина, высокая чувствительность к перегрузкам, возможность образования заторов.

В зависимости от конфигурации трассы различают винтовые конвейеры: горизонтальные или пологонаклонные под углом  $20^\circ$  (основной тип); крутонаклонные и вертикальные, к этой же группе конвейеров относятся винтовые транспортирующие трубы.

Горизонтальный конвейер (рис. 22.22) состоит из неподвижного желоба в форме полуцилиндра, закрытого сверху крышкой; привода (включающего электродвигатель, редуктор и две муфты); приводного вала с прикрепленными к нему витками транспортирующего винта; концевых и промежуточной подшипниковых опор; загрузочного и разгрузочного устройств [2, 5, 6].

Насыпной груз подается в желоб через одно или несколько отверстий, перемещение груза по желобу обеспечивается витками вращающегося винта, при этом груз перемещается вдоль оси конвейера в направлении транспортирования, как гайка вдоль винта, а затем высыпается через одно или несколько разгрузочных отверстий с затворами, расположенных в днище желоба.

Винт конвейера представляет собой трубу с приваренными к ней лопастями, изготовленными из стального листа. Винты выполняются сплошными, ленточными и фасонными (рис. 22.21).

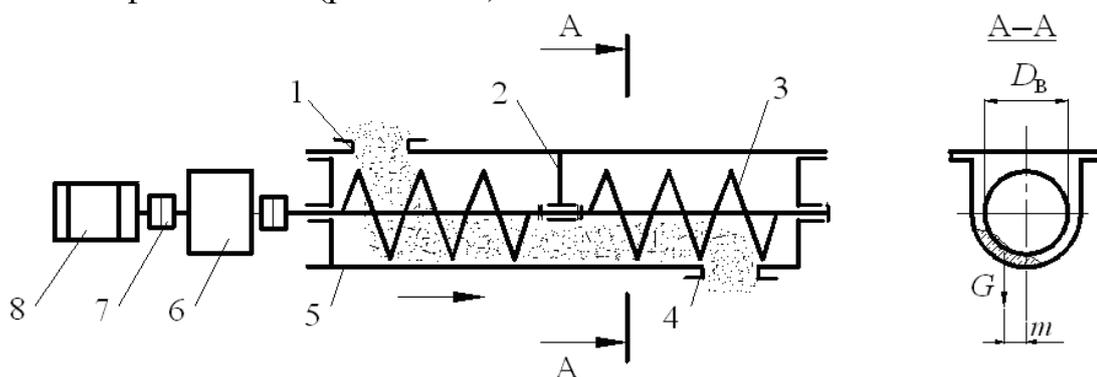


Рисунок 22.21 -Схема горизонтального винтового конвейера:

- 1 – загрузочное устройство; 2 – подвесная промежуточная опора; 3 – винт;  
4 – разгрузочное отверстие; 5 – желоб; 6 – муфта; 7 – редуктор; 8 – электродвигатель

Витки полностенного и ленточного винта изготавливаются штамповкой из стального листа толщиной 4–8 мм и привариваются к валу.

Спираль ленточного и лопасти лопастного винта укрепляют на небольших стрежнях через отверстия в валу. Сплошной винт (шнек) применяют для перемещения сухих, порошкообразных и мелкозернистых грузов, ленточный, лопастный и фасонный – для слеживающихся грузов или для совмещения транспортных и технологических операций (смешивания, дробления и др.). Винт изготавливается с правым или левым направлением спирали, одно-, двух- или трехзаходным. В качестве опор винтов применяют подшипники скольжения и качения.

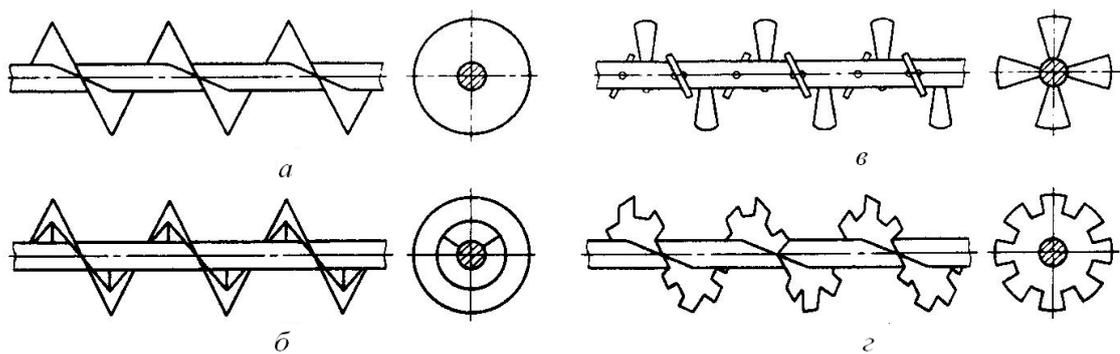


Рисунок 22.22- Конструктивное исполнение винта:

*a* – сплошной полнотенный; *б* – ленточный; *в* – лопастный; *г* – фасонный

Длина секции винта составляет 2–4 м. Каждые две секции трубчатых винтов соединяют коротким валом. Одну из концевых опор винта снабжают упорным подшипником, который устанавливают на разгрузочном конце конвейера. Промежуточные подвесные подшипники устанавливают с шагом 1,5–3,5 м, в месте установки промежуточной опоры витки винта прерываются.

Подвесные подшипники должны иметь надежное уплотнение для защиты от загрязнения, малые длину и диаметр. Шаг винта для легко перемещаемых грузов принимают  $t = D$ , для трудно перемещаемых грузов величину шага снижают до  $t = 0,8D$ . Частота вращения винта  $n$  зависит от характеристики перемещаемого груза, частота вращения уменьшается с увеличением диаметра винта, плотности и абразивности груза.

Диаметр винта выбирают ориентировочно, проверяют по формуле для расчета производительности и окончательно принимают в соответствии с нормальным рядом по ГОСТ: 0,1; 0,125; 0,16; 0,2; 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8 м.

Желоб конвейера изготавливают из листовой стали толщиной 2–8 мм. Для транспортирования абразивных и горячих (до 200 °С) грузов применяют желоба из чугуна, а для легких неабразивных грузов – из дерева с внутренней футеровкой листовой сталью.

Привод винтовых конвейеров – редукторный, у горизонтальных конвейеров он состоит из электродвигателя, редуктора и двух муфт; у наклонных конвейеров привод выполняют с конической передачей для обеспечения горизонтального расположения редуктора.

Загрузочное устройство состоит из люка в крышке желоба конвейера и впускного патрубка, который обеспечивает герметичность при переходе сыпучего материала в желоб конвейера из бункеров или технологических машин. Разгрузочные устройства выполняют в виде одного или нескольких отверстий в днище желоба, перекрываемых шиберными задвижками для распределения транспортируемого груза в различные приемные пункты, одиночное выпускное отверстие затвором не перекрывается.

Вертикальные винтовые конвейеры относятся к конвейерам специального типа и состоят из вала со сплошными винтовыми витками, вращающегося в цилиндрическом кожухе (трубе), горизонтального винта-питателя и одного или двух отдельных приводов.

Для создания необходимой центробежной силы винт вертикального винтового конвейера имеет большую частоту вращения, чем винт горизонтального конвейера.

Конвейер снабжен одним или двумя отдельными приводами (для основного винта и для питателя), разгрузка производится через верхний патрубок в кожухе. Участок, в который подается груз, изготавливают с уменьшающимся кверху диаметром или с уменьшенным шагом. При большой высоте конвейера во избежание биения вала устанавливают промежуточные подшипники.

Преимущества и недостатки вертикальных винтовых конвейеров те же, что у горизонтальных; по сравнению с ковшовыми элеваторами они имеют меньшие габаритные размеры и большее удобство разгрузки, но являются более энергоемкими.

Спиральные бесстержневые конвейеры относятся к конвейерам специального типа и предназначены для подачи сыпучих, пылеобразных пищевых и непищевых продуктов на различные расстояния и высоту. Спиральные бесстержневые конвейеры имеют разнообразные конфигурации трассы, просты при монтаже и обслуживании, легко адаптируются к существующим технологическим линиям и условиям производственных процессов.

Исходными данными для расчета являются:

характеристика транспортируемого груза;

высота и длина перемещения;

производительность конвейера.

Производительность  $Q$  (т/ч) горизонтальных и пологонаклонных винтовых конвейеров

$$Q = V\rho = 60 \frac{\pi D^2}{4} \tan \psi \rho C = 47 D^2 \tan \psi \rho C$$

где  $V$  – объемная производительность конвейера, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho$  – насыпная плотность груза, т/м<sup>3</sup>;

$D$  – диаметр трубы, м;

$t$  – шаг винта, м;

$n$  – число оборотов винта, мин<sup>-1</sup>;

$\psi$  – коэффициент наполнения трубы (желоба); для конвейеров без подвесных подшипников: для легкоподвижных грузов (муки, зерна)  $\psi = 0,45$ ; для грузов средней подвижности (песка, мелкокусковой соли и угля)  $\psi = 0,3$ ; для тяжелых абразивных грузов (руды, гравия, золы)  $\psi = 0,15$ ;

$C$  – поправочный коэффициент (для наклонных конвейеров), зависящий от угла наклона конвейера (табл. 22.2).

Таблица 22.2- Значения коэффициента  $C$

$\beta,^\circ$	0	5	10	15	20
$C$	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Диаметр вала винта

$$d_v \approx 35 + 0,1 D_v,$$

где  $D_v$  – диаметр винта, мм.

Общее сопротивление движению груза складывается из сил трения груза о желоб и о поверхность винта; сопротивления в промежуточных и концевых подшипниках (включая упорный подшипник); сопротивления подъему при перемещении вверх по наклону.

### **Качающиеся конвейеры. Общие сведения**

Качающийся (колебательный) конвейер представляет собой открытый или закрытый герметичный желоб или трубу, подвешенную на опорной конструкции. Желоб совершает возвратно-поступательные движения, в результате которых груз, находящийся внутри, совершает короткие перемещения вперед и постепенно передвигается по всей длине транспортирования.

Качающиеся конвейеры классифицируют на инерционные, в которых груз скользит по желобу под действием силы инерции, и вибрационные, в которых груз отрывается от желоба и движется внутри него микробросками.

Качающиеся конвейеры имеют горизонтальную, пологонаклонную (с подъемом вверх или уклоном вниз под углом до  $15^\circ$ ) и вертикальную трассу с перемещением груза вверх по внутренней винтовой поверхности. Качающиеся конвейеры перемещают насыпные, реже штучные грузы. Длина трассы горизонтальных качающихся конвейеров составляет не более 100 м, производительность – до  $400 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Вертикальные качающиеся конвейеры имеют высоту до 12 м, производительность – до  $20 \text{ м}^3$ .

Качающиеся конвейеры используют на предприятиях химической и металлургической промышленности, при производстве строительных материалов (для обеспечения герметичного транспортирования пылящих, горячих, газифицирующих, ядовитых, химически агрессивных грузов).

Горизонтальные качающиеся конвейеры перемещают чугунную и витую стальную стружку (которая является очень неудобным для транспортирования грузом) в механических цехах, горячую выбитую землю, мелкое литье на машиностроительных предприятиях, горячие изделия в металлургическом производстве. Вертикальные качающиеся конвейеры используют в виде бункеров-накопителей при перемещении мелких деталей (винтов, заклепок и др.) на линиях механической обработки и сборки.

Преимуществами качающихся конвейеров являются простота конструкции; герметичность; возможность совмещения процесса транспортирования с технологическими операциями ( грохочение, сушка, охлаждение); невысокий расход энергии; малый износ желоба вибрационных конвейеров.

К недостаткам относятся: невозможность перемещения липких грузов; передача вибрационных нагрузок на опорные конструкции; невысокий срок

службы упругих элементов и подшипников; интенсивное изнашивание желоба; снижение скорости и производительности при перемещении мелкодисперсных грузов.

Рассмотрим процесс перемещения частицы груза, находящейся внутри трубы (желоба) качающегося конвейера.

При колебательном движении наклонной плоскости (рис. 22.23) под углом  $\alpha$  с ускорением  $j_{ж}$ , направленном под углом  $\beta$ , частица груза, лежащая на этой плоскости, будет перемещаться вдоль данной плоскости.

При этом нормальное давление  $N$  частицы груза на плоскость (дно трубы или желоба)

$$N = mg \cos \alpha + m j_y,$$

где  $m$  – масса частицы груза;

$j_y$  – составляющая ускорения  $j_{ж}$  по оси  $Y$ ;

$$j_y = -j_{ж} \sin \beta = -a\omega^2 \sin \varphi \sin \beta.$$

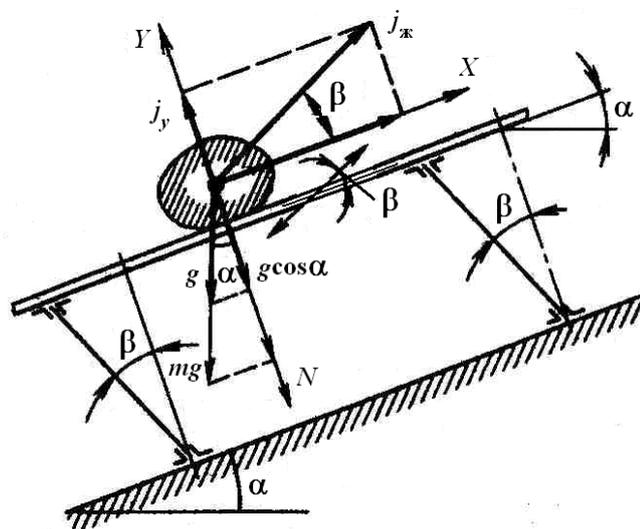


Рисунок 22.23 -Схема к расчету силы давления груза на желоб

Сила давления груза на плоскость:

$$N = m (g \cos \alpha - a\omega^2 \sin \varphi \sin \beta),$$

где  $a$  – амплитуда колебаний плоскости;

$\omega$  – угловая скорость возбудителя колебаний;

$\varphi = \omega t$  – фазовый угол колебаний ( $t$  – время).

При  $g \cos \alpha > a\omega^2 \sin \varphi \sin \beta$  сила давления груза на плоскость направлена вниз и является положительной (груз находится на дне желоба).

При  $g \cos \alpha < a\omega^2 \sin \varphi \sin \beta$  сила давления направлена вверх, и груз стремится оторваться от плоскости. Угол  $\varphi$  изменяется от 0 до  $360^\circ$ , тогда  $\sin \varphi = 1$  при  $\varphi = \pi/2 = 90^\circ$ .

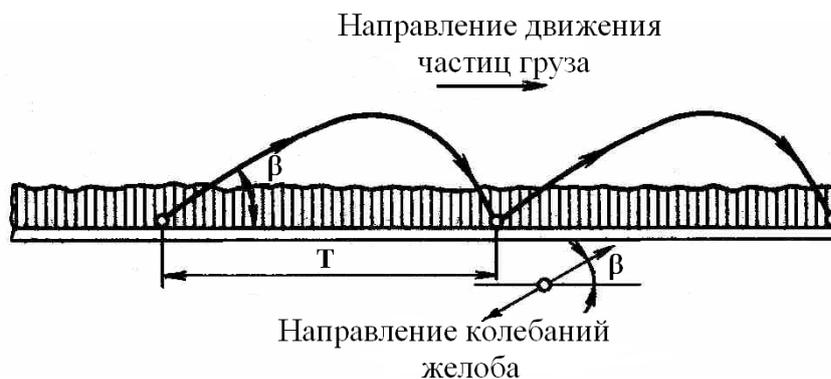


Рисунок 22.24 - Схема движения частиц груза на вибрационном конвейере

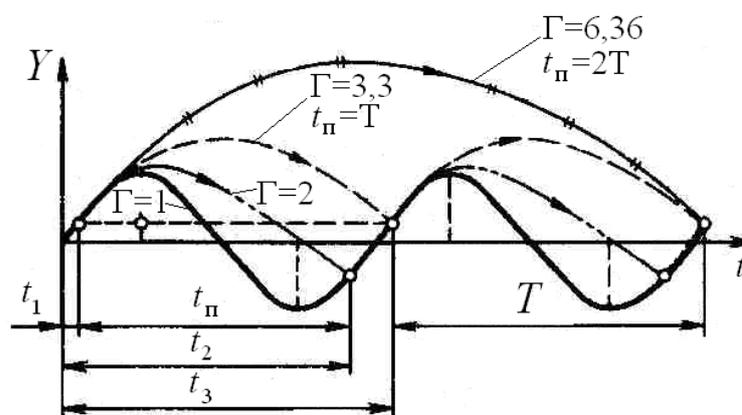


Рисунок 22.265 - Диаграмма движения частиц груза на вибрационном конвейере

Наиболее рациональными режимами работы конвейера считаются такие, при которых движение частиц происходит при непрерывном подбрасывании и время их микрополета  $t_{\text{п}}$  составляет  $t_{\text{п}} = \rho T$  ( $\rho$  – любое целое число).

Движение с непрерывным подбрасыванием частиц груза происходит при значении коэффициента  $\Gamma$ , определяемом по формуле

$$\Gamma = \sqrt{\pi^2 \rho + 1}$$

При  $\rho = 1$  время  $t_{\text{п}}$  равно одному полному периоду колебания конвейера, а коэффициент режима  $\Gamma = 3,3$ ; при  $\rho = 2$   $t_{\text{п}} = 2T$ , а коэффициент  $\Gamma = 6,36$ .

В результате исследований динамических режимов работы качающихся конвейеров установлено, что при  $\rho > 1$  и  $\Gamma > 3,3$  имеются определенные зоны снижения скорости перемещения груза (не происходит пропорционального увеличения скорости). При этом конвейер работает со значительными ускорениями, обуславливающими большие динамические нагрузки на привод, подшипники и другие элементы. Следовательно, для вибрационного конвейера коэффициент режима работы должен находиться в теоретических пределах  $1 < \Gamma \leq 3,3$ .

## Инерционные и вибрационные конвейеры

Существует два основных типа качающихся инерционных конвейеров: с постоянным (система Маркуса) и переменным (система Крейса) давлением груза на дно желоба. Конвейер Маркуса состоит из желоба, который опирается на стационарные катки, и двухкривошипного привода.

Желоб совершает прямолинейное возвратно-поступательное движение в горизонтальной плоскости: в период прямого хода скорость желоба плавно возрастает, затем резко снижается до нуля, а затем меняет направление; в период обратного хода скорость желоба резко возрастает, затем плавно снижается. Во время прямого хода желоба груз движется вместе с ним без скольжения, накапливая кинетическую энергию; при резком изменении скорости груз продолжает перемещаться вперед по инерции с замедлением, скользя вперед и при обратном ходе желоба (желоб как бы выскользывает из-под груза). При обратном ходе скольжение груза прекращается, и он вместе с желобом движется вперед.

Режим работы конвейера выбирают таким, чтобы обратный ход груза был минимальным. Сила давления груза на дно желоба в каждый цикл колебаний будет одинаковой и равной силе тяжести груза; сила трения груза по дну желоба будет тоже постоянной.

Основными параметрами конвейеров Маркуса являются: амплитуда колебаний желоба 50–150 мм; частота колебаний 40–85 мин<sup>-1</sup>; ширина желоба 200–1200 мм; длина до 50 м; скорость перемещения груза до 0,2 м/с.

Конвейер Крейса имеет желоб, который опирается на жестко прикрепленные упругие стойки-рессоры, установленные под углом 20–30° к вертикали. Колебательное движение желоб получает от кривошипного привода, который сообщает желобу возвратно-поступательное движение одинакового характера как для прямого, так и для обратного ходов в направлении, перпендикулярном опорным стойкам.

При движении вперед желоб немного приподнимается вверх, а при движении вниз – опускается. Для движения частицы груза вперед при прямом ходе желоба необходимо, чтобы сила трения груза о дно желоба была больше, чем горизонтальная составляющая силы инерции груза.

При обратном ходе, когда желоб движется назад, опускаясь, вертикальная составляющая силы инерции груза направлена вверх, а сила тяжести – вниз. Сила давления груза на дно желоба и сила трения груза уменьшаются. Для движения груза вперед при движении желоба назад необходимо, чтобы горизонтальная составляющая силы инерции была больше силы трения.

Таким образом, силы давления груза на дно желоба при прямом и обратном ходах получаются различными по значению – это обеспечивает возможность непрерывного перемещения груза по желобу.

Для конвейеров Крейса с переменным давлением груза на желоб принимают  $\Gamma < 1$ , при этом груз никогда не отрывается от желоба и скользит с переменной скоростью, и ускорение желоба

$$j_{\text{ж}} = n^2 a / 90 > f g / (\cos\beta - \sin\beta),$$

где  $n$  – частота вращения вала кривошипа,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$a$  – амплитуда колебания;

$f$  – коэффициент трения груза о дно желоба;

$\beta$  – угол наклона опорных стоек к вертикали.

Основными параметрами конвейеров Крейса являются: амплитуда колебаний 10–20 мм; частота колебаний 300–400  $\text{мин}^{-1}$ ; ширина желоба 200–1000 мм; скорость движения груза на горизонтальном конвейере 0,15–0,2 м/с; угол наклона 10–15°.

Вибрационные конвейеры имеют много различных конструктивных исполнений и классифицируются по различным признакам:

по направлению перемещения груза: горизонтальные; пологонаклонные; вертикальные;

по числу одновременно колеблющихся масс: одномассные; двухмассные; многомассные;

по характеру динамической уравновешенности: уравновешенные; неуравновешенные;

по числу грузонесущих элементов: одноэлементные (с одинарным или сдвоенным грузонесущим элементом); двухэлементные;

по способу крепления грузонесущего элемента: подвесная свободноколеблющаяся конструкция; опорная конструкция с наклонными направляющими упругими элементами;

по назначению: виброконвейеры; питатели и дозаторы; грохоты;

по характеристике и настройке упругих опорных элементов: с резонансной настройкой; с дорезонансной настройкой; с зарезонансной настройкой.

При резонансной настройке частота возмущающей силы вибровозбудителя  $\omega$  и основная частота собственных колебаний упругой системы конвейера  $\omega_0$  одинаковы или близки (для устойчивой работы конвейера  $0,85 < \omega / \omega_0 < 1,1$ ). При дорезонансной настройке  $\omega$  значительно меньше  $\omega_0$ ; при зарезонансной настройке  $\omega \gg \omega_0$ .

Резонансная настройка упругой системы имеет наибольшее распространение, обеспечивает высокую производительность при малом расходе энергии при установившейся работе конвейера, но требует больших пусковых усилий.

Зарезонансная настройка обеспечивает длительную устойчивую работу машины при различных изменениях нагрузки; при зарезонансной настройке пусковые усилия снижаются, но увеличивается расход энергии при установившейся работе конвейера. Зарезонансная настройка используется для подвесных и опорных конвейеров легкого типа. Дорезонансная настройка имеет малое применение.

Грузонесущий элемент вибрационного конвейера совершает прямолинейные (иногда круговые или эллиптические) симметричные гармонические колебательные движения.

Вертикальные вибрационные конвейеры совершают двойное движение: прямолинейное вдоль вертикальной оси и вращательное вокруг вертикальной оси. Вибрационные конвейеры должны обеспечивать минимальную передачу

динамических нагрузок на опорные конструкции; полную герметичность транспортирования; автоматическую (в том числе и промежуточную) загрузку и разгрузку; минимальную массу; малые габариты по высоте; высокую надежность.

Наиболее эффективным является использование вибрационных конвейеров для перемещения сухих однородных порошкообразных, зернистых и мелкокусковых грузов.

## **23 ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**

### **Технологические методы сборки**

Сборка машин является одним из главных этапов производства в машиностроении. От качества сборки зависит работоспособность всей машины. Наиболее прогрессивные методы сборки возможно использовать при наличии взаимозаменяемых деталей. Это целесообразно с точки зрения производства и ремонта машин в период эксплуатации. Однако следует отметить, что использование метода взаимозаменяемости деталей обусловлено характером производства и возможно только при массовом и серийном выпуске машин.

В единичном и мелкосерийном производствах обычно не используют метод взаимозаменяемости деталей однотипных машин. Это объясняется тем, что в единичном или мелкосерийном производствах на предприятиях обычно выпускают большую номенклатуру различных машин и поэтому требуется значительное число измерений и различных конструкций измерительных средств, что влечет за собой колоссальные трудовые и материальные затраты.

Взаимозаменяемость обеспечивается путем изготовления деталей в пределах допусков назначенных квалитетов точности и контроля специальными измерительными инструментами, в основном предельными калибрами. Достоверность измерений обеспечивается систематическим метрологическим контролем измерительных средств. Однако для того, чтобы обеспечить высокое качество и производительность сборки, требуются также дополнительные меры, связанные с подбором сборочных элементов, их испытанием и регулировкой. В единичном производстве имеет место индивидуальная подгонка деталей, требуется применение труда высококвалифицированных рабочих.

Серийное производство позволяет внедрять более прогрессивные методы сборки и организовать ее по параллельно-последовательным схемам. Наиболее совершенные методы сборки могут быть реализованы в массовом производстве. В этом случае на каждом рабочем месте выполняют определенные сборочные операции, применяют специальные приспособления, инструмент и подъемно-транспортное оборудование, причем операции расчленяют на простые. Такие условия позволяют значительно повысить производительность сборки и требуют менее квалифицированного труда. Массовое производство характеризуется параллельной структурой технологии

сборки и высокой степенью взаимозаменяемости, что исключает необходимость всякого рода подгоночных работ.

Конечной целью изготовления машин является высокое качество сборки, соответствие параметров машины техническим условиям, удовлетворение требований, обеспечивающих надежность работы. Процесс сборки нужно совершенствовать таким образом, чтобы детали и сборочные единицы можно было бы устанавливать в машину методами монтажа.

Важную роль для выполнения сборочных операций играют специальные станды. Станды представляют собой контрольно-поверочные устройства, обеспечивающие правильное положение деталей и сборочных единиц при их установке в машину; их обслуживает подъемно-транспортное оборудование. В серийном и массовом производствах сборочные операции по доводке нужно выполнять с помощью специального оборудования.

### **Технологичность конструкций сборочных единиц**

Виды сборки классифицируют по следующим основным признакам: объект сборки, стадия сборки, организация производства, последовательность сборки, подвижность объекта сборки, механизация и автоматизация сборки, точность сборки.

Точность и качество сборки обеспечивают преимущественно соответствующим построением технологического процесса сборки. Методы достижения, требуемые точность и качество сборки в значительной степени зависят от конструкции деталей и сборочных единиц, их собираемости и взаимозаменяемости, определяемыми оптимальным построением размерных цепей.

Часто для улучшения размерной цепи (взаимосвязи) изменяют конструкцию изделия, сборочных единиц и деталей, чтобы, сохранив эксплуатационные качества, снизить трудоемкость изготовления. Размерные цепи следует рассчитывать при выполнении рабочих чертежей опытного образца изделия одновременно с простановкой размеров и назначением допусков.

Если при конструировании изделия не сделан расчет размерных цепей, то при сборке выявляют следующие недостатки: сборочные единицы (детали) не входят в назначенные места и требуется их пригонка; сборочные единицы (детали) входят между определенными элементами конструкции со слишком большими зазорами; сборочные единицы собраны так, что значительно не совпадают оси деталей, которые по условиям работы должны отклоняться одна от другой незначительно.

Одинаковые конструктивные решения при одних и тех же взаимосвязанных размерах позволяют частичным изменением конструкции сборочной единицы значительно увеличить допуски на неточность изготовления деталей.

## Технология сборки сборочных единиц машин

Независимо от вида производства (единичного, серийного, массового) конструкция изделия должна состоять из отдельных четко разграниченных сборочных единиц или агрегатов, обеспечивать параллельность и независимость сборки отдельных сборочных единиц, а также простоту связей между последними при следующих условиях.

Число деталей собираемого изделия (сборочной единицы) должно быть минимальным. Этого можно достичь правильным конструированием, применением специальной технологии изготовления, например, использованием армированного литья и др. Однако уменьшать число деталей следует только после выполнения соответствующего технико-экономического расчета.

Сложные изделия, состоящие из большого числа деталей, следует конструировать по блочному (агрегатному) принципу. Лучшими считаются агрегаты и изделия из 4—12 деталей.

Следует стремиться к уменьшению числа крепежных деталей. Вместо резьбового крепежа целесообразно применять сварку, расклепку, развальцовку, гибку и др.

Следует избегать применения соединений, которые трудно выполнить, например закручивания проволокой, шпоночных, с пружинами и др.

Многозвеньевые зубчатые передачи к различным механизмам от одного общего привода целесообразно заменять индивидуальными приводами. Один из наиболее удобных способов передачи и трансформации энергии — гидравлический. В ряде отраслей промышленности гидротрансформаторы успешно вытесняют механические редукторы. Решающие преимущества приобретает гидравлика, когда необходимо плавное и бесступенчатое регулирование скорости в большом диапазоне. Применение гидропривода в машинах в ряде случаев не только упрощает сборку, но и улучшает качества машин, обеспечивая синхронность работы нескольких механизмов, плавное регулирование скоростей, снижение динамических нагрузок.

Детали, входящие в сборочные единицы, должны иметь простую форму (цилиндр, призма и др.). В противном случае необходимо, чтобы они имели явно выраженные базовые поверхности (лучше цилиндрические или плоские) и явно выраженные места (ключи) для надежного ориентирования в загрузочных и транспортных устройствах.

Детали, сопрягаемые в осевом направлении по кромкам поверхностей, должны иметь конструктивные элементы (фаски, направляющие расточки и т. п.), облегчающие самоустановку и самоцентрирование поверхностей.

Следует избегать или сводить до минимума совместную механическую обработку деталей (в сборе), включая сверление и выполнение резьбы, так как это создает необходимость в установке оборудования в сборочных цехах, снижает производительность и нарушает основной принцип поточной сборки — взаимозаменяемость сборочных единиц и деталей.

## Обеспечение качества машин на операциях сборки

Качество машин и его главный показатель -надежность -определяются надежностью соединения деталей.

Деформации на сборке могут играть как положительную, так и отрицательную роль. Деформация при сборке высокоточных соединений, как правило, снижает показатели качества машин.

Герметичность соединений высокой точности обеспечивается регламентированием отклонений формы и шероховатостью сопрягаемых поверхностей. Отклонения формы, как и взаимное расположение поверхностей деталей, возникающие на сборке, меняются с течением времени и, как правило, снижают надежность такого соединения. Другие показатели надежности формируются на сборке в соответствии с возникающими погрешностями.

Сборка является заключительным этапом производства. Но этот этап принципиально отличается от других этапов тем, что именно в нем проявляются различные связи деталей, особенности их взаимодействия. Здесь по сложным законам суммируются свойства деталей как геометрического, так и физико-химического характера. После сборки совокупность свойств представляется как показатель качества машины. Одновременно такой показатель можно рассматривать как погрешность, возникшую на сборке. Машина может считаться качественной, если эта погрешность лежит в заданных пределах.

Большое разнообразие машин, различия их конструктивных компоновок, различные годовые программы выпуска не позволяют дать единой картины повышения качества машин на сборке. Однако при любых методах сборки качество может быть оценено по точности замыкающего звена. Сборка по методу полной взаимозаменяемости, применяемая в массовом и серийном производствах, не допускает подбора деталей, регулировок и пригонок. Качество машины обеспечивается самой компоновкой собираемых деталей, точность которых оказывается сравнительно высокой, равно как и себестоимость изготовления. Тогда замыкающие звенья имеют жесткие допуски. Экономические оценки играют в этом случае очень важную роль.

Метод неполной взаимозаменяемости не гарантирует необходимое качество всех собираемых машин, так как у сравнительно небольшого количества объектов точность замыкающего звена не будет обеспечена. Поэтому необходимы мероприятия по доведению качества этих объектов до нужного уровня. Такими мероприятиями являются, как правило, подборы деталей с особыми параметрами замыкающего звена. Это звено может быть использовано только для данного экземпляра машины. Затраты труда на такую работу оказываются сравнительно небольшими по сравнению с экономией труда и средств на изготовление остальных деталей с более широкими допусками.

Широкое распространение получил метод сборки с групповой взаимозаменяемостью. Высокое качество соединений обеспечивается и в том случае, если конструктивные допуски меньше технологических. Все изготовленные

детали разбивают на размерные группы, а соединение получают непосредственным подбором деталей, взятых из соответствующих групп. При этом допуски на детали каждой группы оказываются жесткими, что обеспечивает сборку весьма точных соединений.

Сборка с регулировкой представляет собой метод обеспечения качества машин. В размерную цепь включают звенья-детали с широкими допусками на их параметры, но замыкающее звено (например, зазор) образуется в результате регулировки. Такую регулировку выполняют перемещением одной из деталей, которая играет роль компенсатора. Поэтому представляется возможным получать высокое качество всей цепи при сравнительно низкой точности звеньев.

Точностные показатели сборки в оценке качества машин являются одними из основных. Их обеспечение сопряжено с преодолением ряда технологических трудностей. Сюда относят неточности изготовления собираемых деталей. Кроме того, эти детали могут быть неточно установлены и зафиксированы в узле, что является следствием неточности сборочного оборудования, оснастки, а также влиянием специфики сборочных операций.

В массовом производстве характерной является сборка на конвейерах, которые перемещаются непрерывно или периодически. Но главным является наличие потока, когда продолжительность сборки на различных рабочих местах оказывается практически одинаковой и соответствует такту. Именно для этого случая сборки особенно важна отработка конструкции на технологичность, что обеспечивает высокое качество соединений в условиях жесткого такта.

Серийное производство имеет свои существенные отличия на сборке, но именно здесь могут встретиться самые различные организационные формы. С одной стороны, необходимо использовать преимущества автоматизированной сборки, с другой стороны,— автоматизация сдерживает возможность переналадки сборочного оборудования на изготовление новой партии изделий. Поэтому широко используют ручную сборку, поскольку именно она обеспечивает быструю переналадку. Как и в массовом производстве, для повышения качества машин большую роль играет отработка конструкций на технологичность и соблюдение требований технологического процесса сборки.

Широкое применение на сборке находят ориентирующие устройства. Их назначение оказывается различным. При больших партиях собираемых деталей эти устройства могут играть роль распознавателей образов и давать команды на поворот и поступательное перемещение в пространстве деталей для сопряжения с другой деталью. В ориентирующих устройствах используются механические, электрические и пневматические элементы.

Автоматизация собственно процессов сборки в условиях серийного производства для всех видов соединений маловероятна. Вместе с тем для повышения качества отдельных сопряжений или сопряжений группы деталей использование автоматизации необходимо. Логичным оказывается использование сборочных комплексов, которые способны выполнять функции контроля качества сборки. Наиболее часто контролируемые параметры при

сборке — параметры геометрического характера: отклонения от соосности, перпендикулярности, параллельности и др. Широкое использование координатно-измерительных машин существенно повышает качество сборки.

### **Технологичность машин в сборке**

Качество машины выражается через технологичность. Для одной и той же машины, собираемой в условиях массового, серийного или единичного производства, технологичность меняется существенным образом. Экономические факторы здесь играют решающую роль.

Ошибочной является точка зрения, что качество машин можно повышать путем безосновательного увеличения точности размера, формы, взаимного расположения деталей на сборке, уменьшения шероховатости поверхностей, применения материалов и полуфабрикатов с самыми высокими показателями. Отработка машин на технологичность позволяет распространить понятие качества машин как на область производства, так и на область эксплуатации, когда становится возможным сравнительно легко проводить ремонты и восстанавливать детали, утратившие свои служебные свойства. Если оценивать технологичность машин только качественно, то проблема совершенствования техники окажется на уровне общих рассуждений. Необходима количественная оценка технологичности. Такая работа связана с введением целого ряда коэффициентов, которые позволяют оценить машину с различных точек зрения и довести ее до уровня лучших образцов техники. Показатели технологичности выбирают в соответствии со стандартом.

Необходим учет качественных показателей на всех стадиях производства. Правильным является критерий оценки качества и себестоимости машин с позиций требования и сферы производства и сферы эксплуатации.

Отработка конструкций машин на технологичность должна в основном проводиться на стадии конструирования, и она является прежде всего задачей конструктора при необходимости консультаций технологического характера. Работы по технологичности на этапе технологической подготовки производства особенно сильно снижают экономические показатели. Наряду с основными коэффициентами количественной оценки технологичности собираемой конструкции целесообразно вводить и ряд дополнительных коэффициентов.

Более простая конструкция оказывается, в принципе, более качественной, в частности — надежной. Меньшее число собираемых деталей и их сопряжений связывается с меньшей вероятностью появления отказа. При уменьшении числа сопряжений (а также массы конструкции) появляется возможность создания блочных конструкций, когда ряд более простых деталей объединяют в одну более сложную.

Длинные размерные цепи снижают качество машин, так как в этом случае наблюдается большое рассеяние выходных параметров. Удовлетворительным решением вопроса является установка компенсационных деталей соответствующего размера или формы. Стало возможным изготавливать замыкающую деталь (замыкающее звено цепи) по фактическим данным уже собранных и образовавших цепь деталей и сразу же устанавливать ее в машину,

хотя при этом теряются преимущества поточного производства и взаимозаменяемости.

## 24 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Определение технико-экономических показателей и, в частности, себестоимости проектируемых конструкций машин является главным этапом технико-экономического анализа. В связи с тем, что показатели оцениваются при проектировании, а фактические их значения обнаруживаются позднее, когда конструкция будет находиться в производстве или даже эксплуатации, то поэтому процесс оценки часто называют прогнозированием. Термин «прогнозирование» больше подходит для случая, когда оценка показателей ведется на предпроектной стадии и на самых ранних этапах проектирования. В процессе технико-экономического анализа при техническом и рабочем проектировании получают проектные или расчетные величины показателей.

При определении экономических показателей конструкций машин на стадии их проектирования необходимо руководствоваться следующими основными принципами.

1. Установление ряда существенных признаков и свойств, позволяющих считать новую конструкцию аналогичной некоторой совокупности известных конструкций (принцип аналогии).

В анализе и в проектной работе всегда отталкиваются от прошлого опыта. Любая конструкция, насколько оригинальной она бы не была, всегда в чем-то родственна известным конструкциям. Установить меру сходства новой конструкции с известными — главное условие, с выполнения которого начинается технико-экономический анализ. Для этого все многообразие машин, создаваемых промышленностью, классифицируется и группируется по ряду признаков. Чтобы правильно приложить полученные теорией и практикой результаты к новой конструкции, нужно установить, к какому классу, группе и подгруппе машин относится новая конструкция. Классификация позволяет сократить число аналогичных расчетов и сделать обобщенные выводы, относящиеся к машине — представителю какой-либо типоразмерной совокупности.

2. Исследование и построение экономико-математических моделей, отражающих внутренние связи между показателями и факторами у выделенной совокупности аналогичных конструкций, и распространение (полностью или частично) действия этих моделей на новую конструкцию (принцип моделирования). С помощью математических моделей удастся оценить расчетный уровень таких важных показателей, как себестоимость, цена, трудоемкость, материалоемкость и др. Математическое моделирование базируется на теории вероятностей, математической статистике, линейной алгебре и других разделах математики, поэтому модели называют иногда экономико-статистическими. Математические модели (парной или

множественной корреляции) не дают точного отражения реальных процессов. Формализация зависимостей и связей всегда связана с рядом допущений. Тем не менее точность получаемых с помощью моделей величин обычно вполне удовлетворительна. Часто на практике математические модели изображают в виде номограмм и графиков, которые позволяют наглядно показать зависимости и быстро получить результат, не прибегая к вычислениям.

3. Представление конструкции в виде системы, состоящей из отдельных простых элементов, для которых имеется более широкий набор аналогов и, следовательно, легче реализуются принципы аналогии и моделирования, чем для конструкции в целом (принцип системности). Системное представление конструкции делает возможным диалектическое единство ее анализа и синтеза. Системный подход позволяет выделить наиболее важные с экономической точки зрения элементы и отбросить малозначимые элементы и факторы, значительно упростив и облегчив тем самым расчеты без снижения их точности.

4. Последовательное системное расчленение комплексных экономических показателей на частные однородные показатели, характеризующие определенные виды затрат по их содержанию, месту и времени образования (принцип расчленения затрат). Обособленное рассмотрение отдельных частных показателей значительно расширяет информационную базу анализа, позволяет вскрыть закономерности, которые не обнаруживаются при оперировании комплексными показателями. Реализация этого принципа делает возможным во многих случаях установление экономических нормативов, которые представляют собой некоторые достаточно постоянные относительные коэффициенты. В частности, в результате расчленения экономических показателей удастся исследовать их структуру и влияющие на структуру факторы.

Технико-экономический анализ конструкций машин предполагает исследование всех свойств и характеристик, которыми обладают или должны обладать эти конструкции. Чтобы уяснить взаимосвязи различных свойств и характеристик машин, необходимо исходить из фундаментального положения о том, что любой товар обладает диалектическим единством двух его сторон — потребительной стоимости и стоимости.

Под потребительной стоимостью понимается полезность продукции, т. е. ее способность удовлетворять либо производственные потребности общества, либо потребности отдельных людей. Продукция тогда имеет потребительную стоимость, когда она и полезна, и нужна.

Другая сторона продукции как товара — стоимость, которая создает основу для сопоставления различных видов продукции, для их эквивалентного обмена. Существует взаимосвязь между указанными двумя сторонами товара. Потребительная стоимость влияет на стоимость товара таким образом, что она определяет границы производственных затрат в пределах требований потребителей к качеству товара. В свою очередь, стоимость также влияет на потребительную стоимость, так как имеет место распределение общественного труда с учетом потребностей в отдельных видах продукции.

Потребительная стоимость непосредственно определяется затратами в сфере эксплуатации, которые в свою очередь складываются под влиянием таких факторов, как функций назначения изделия, потребительских свойств и показателей (параметров потребительских свойств).

Функция назначения или просто функция изделия характеризует те действия и способности, которые может выполнять изделие при его эксплуатации. Перечень функций составляет содержание технической характеристики и технических условий у любой машины.

Потребительские свойства машин многообразны и группировать их можно по различным признакам. Каждое потребительское свойство находит свое количественное выражение в одном или нескольких показателях (параметрах). Так, производительность машины оценивается такими показателями, как темповая, среднесуточная и месячная выработка, длительность рабочего цикла, станко- или машиноёмкость обработки и др., причем каждый из показателей характеризует ту или иную сторону соответствующего свойства.

Потребительские свойства машин обнаруживаются и проявляются в сфере эксплуатации, поэтому их показатели называют также эксплуатационными показателями. Эти показатели для машин различного назначения можно объединить в следующие основные группы:

1. Показатели назначения или функционально обусловленные показатели. Изменение любого из этих показателей вызывает изменение сферы применения машины.

К их числу относятся мощность, грузоподъемность, тяговое усилие, размеры рабочего пространства, максимальные габаритные размеры обрабатываемых предметов и т. д. Абсолютное значение этих показателей диктуется конкретными условиями эксплуатации. С позиций повышения качества главное требование в отношении этих показателей заключается в стабильном обеспечении их значений на определенном уровне, оптимальном для данных условий эксплуатации. Снижение или повышение такого показателя относительно номинала означает снижение качества для данных условий эксплуатации.

2. Показатели производительности машины, характеризующие ту быстроту, с которой машина выполняет возложенные на нее функции (часовая или минутная производительность станка, пресса, насоса и другой рабочей машины, скорость транспортного средства, число циклов в единицу времени и т. д.).

3. Показатели надежности, к которым относятся показатели таких свойств, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

4. Показатели автоматичности функционирования.

5. Показатели точности и стабильности функционирования, обеспечения качественного выполнения работ.

6. Показатели эргономические, характеризующие машину как элемент системы «человек—машина» и показывающие ее приспособленность к антропометрическим, биомеханическим, физиологическим и инженерно-

психологическим свойствам человека, проявляющимся в процессе управления машиной и ее обслуживании.

7. Показатели эстетические, отражающие внешнюю красоту формы конструкции, цветовых сочетаний, декоративного оформления, качества отделки и т. п.

8. Показатели экономичности эксплуатации машины, характеризующие расход различных ресурсов при функционировании машины в единицу времени, на единицу продукции или работы.

Совокупность многих потребительских свойств характеризует качество машины. Как известно, под качеством продукции понимается совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности, применительно к ее назначению.

Из этого определения следует, что, во-первых, качество как категория проявляется прежде всего в сфере потребления или эксплуатации, уровень качества продукции определяется показателями именно потребительских свойств, и, во-вторых, для всякой продукции первичным является ее назначение и, только зная назначение, можно затем сказать о том, в какой мере данная продукция отвечает своему назначению, т. е. насколько она качественна.

Если первая группа перечисленных выше показателей потребительских свойств определяет назначение (функции) изделия, то остальные группы показателей можно с полным правом назвать показателями качества. Улучшение любого показателя качества означает повышение полезного эффекта от применения изделия определенного назначения.

Вторая сторона продукции как товара — стоимость формируется непосредственно под влиянием следующих факторов: себестоимости изготовления, производственно-технологических свойств и их показателей.

Себестоимость является главным элементом стоимости машины, в себестоимости аккумулируются все виды текущих производственных затрат, и поэтому она является обобщающим показателем. Себестоимость изделия определяется непосредственно свойствами и показателями, характеризующими расход и использование ресурсов в производственном процессе: материалоемкостью, трудоемкостью, зарплатоемкостью, фондоемкостью, капиталоемкостью, станкоемкостью, энергоемкостью и др. Перечисленные основные экономические показатели фиксируют размер расхода живого и овеществленного труда при создании машины. Кроме того, имеется широкий круг вторичных показателей, характеризующих конструктивные и технологические особенности машины и тесно связанных с указанными выше экономическими показателями, среди них: блочность (сборность) машины, показывающая степень дробления ее на детали и простоту монтажа, показатели стандартизации и унификации (коэффициенты стандартизации, унификации, конструктивной преемственности, повторяемости) и др.

Большинство производственно-технологических свойств и показателей не представляет интереса для потребителя, не используется в процессе эксплуатации и поэтому не имеет потребительской ценности. В этом смысле их неверно было бы называть потребительскими свойствами и показателями

качества продукции, хотя среди производственно-технологических показателей имеется небольшой круг показателей, имеющих определенное значение для потребителей. Так, с точки зрения обслуживания и ремонта машин потребитель заинтересован в высоком уровне унификации и стандартизации, в снижении конструктивной и ремонтной сложности. Учитывая необходимость периодической замены, обновления машинного парка, потребитель заинтересован в приобретении доступной продукции, которая отличается, как правило, высокой серийностью выпуска.

Себестоимость изделия (машины) является одним из основных экономических показателей, исследуемых и оцениваемых в ходе технико-экономического анализа.

Повышение потребительских свойств и показателей, как правило, ведет к увеличению конструктивно-технологической сложности машины и, следовательно, к удорожанию ее производства. Однако имеющее место одновременное изменение производственно-технологических показателей делает эту связь сложной, неявной. Исследование всех разнообразных связей между отдельными показателями, выделение наиболее существенных из них, представление связей в виде статистических моделей и составляет содержание технико-экономического анализа.

Если на ранних этапах проектирования себестоимость, трудоемкость и другие экономические показатели машины рассчитываются приближенно, то по мере конструктивной проработки и освоения производства машины ее показатели исчисляются более подробными и точными способами с использованием достоверных данных: технических, технологических, производственных и т. д.

В настоящее время практикой технико-экономического анализа выработано много методов и приемов обработки исходной информации для получения интересующих показателей. Обычно эти методы используются не изолированно, а комплексно. Более того, отдельные приемы могут применяться в нескольких методах сразу.

Все известные методы определения затрат можно подразделить на основные классы: первый — методы целостной оценки показателей объекта; второй — методы оценки путем расчленения объекта анализа.

Методы первого класса предполагают рассмотрение объекта анализа как целостное, законченное образование, характеризующееся набором функций и показателей (параметров). Внутреннее конструктивное строение объекта известно лишь в общем виде, и оно интересует нас только с точки зрения комплектования группы известных подобных или аналогичных конструкций — параметрических рядов и гамм.

Суть методов целостной оценки заключается в установлении связей между себестоимостью объекта и его параметрами и характеристиками. В литературе эти методы получили также название как методы укрупненные, нормативно-параметрические, параметрические, предварительной оценки.

Данные методы базируются на той закономерности, что улучшение параметров машин, а следовательно, их потребительских свойств всегда

связано с увеличением производственных затрат, т. е. себестоимости. Конечно, эта связь имеет вероятностный характер, так как подвержена влиянию большого числа других неучитываемых при анализе факторов.

К методам целостной оценки относятся методы удельных показателей, корреляционного моделирования и экспертных оценок. Применительно к машинам и системам машин эти методы используются обычно на стадиях разработки технического задания и эскизного проектирования. Эти методы применяются и на последующих стадиях технического проектирования и создания опытных образцов с внесением определенных уточнений и корректировок.

С учетом специфики конструкций, их назначения, серийности производства, особенностей организации проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства в каждый из перечисленных методов могут вноситься специфические приемы, допущения и т. д., что приводит к появлению разновидностей отдельных методов. Кроме того, хорошие результаты можно получить, комбинируя или сочетая эти методы между собой.

На стадиях технического и рабочего проектирования, когда появляются чертежи сборочных единиц и деталей, спецификации покупных изделий и материалов, открываются возможности применения более подробных и точных методов оценки себестоимости путем расчленения анализируемого объекта.

Методы второго класса, предполагающие расчленение объекта, предполагают влияние на стоимостные показатели таких факторов, как блочность, компоновка конструкции, наличие стандартных и унифицированных сборочных единиц и деталей, долю покупных изделий в общем числе сборочных единиц и агрегатов и других сугубо конструктивных факторов, которые не могут учесть методы целостной оценки.

В зависимости от того, до какой степени идет расчленение или декомпозиция конструкции машины, различают метод поединичного расчленения и метод поддетального расчленения.

В зависимости от полноты учета производственных затрат различают себестоимость технологическую (частичную), цеховую, заводскую и полную (коммерческую). Окончательная величина себестоимости изделия на последних этапах его создания устанавливается методом калькулирования. Калькулирование предполагает знание всех видов затрат плановых или фактических на одно изделие, и поэтому этот метод не применим для расчета себестоимости при проектировании машин.

Если расчет цеховой, заводской и полной себестоимости имеет большое значение в практике технико-экономического планирования, бухгалтерского учета и ценообразования, то в задачах технико-экономического анализа конструкций машин исследуется та часть себестоимости, в которую входят только прямые производственные затраты. Эту частичную себестоимость принято называть технологической.

В состав технологической себестоимости входят следующие виды затрат: основные материалы, технологические топливо и энергия, заработная плата производственных рабочих, специальный инструмент и расходы, связанные с

эксплуатацией оборудования. Из перечисленных затрат довольно часто выделяют два наиболее весомых и значимых компонента: основные материалы и заработная плата производственных рабочих.

Многокомпонентность себестоимости, как показателя, открывает возможности ее расчета разными путями. Можно сразу рассчитать себестоимость изделия любым из отмеченных выше методов. Можно оценить отдельные виды затрат: на материалы, по заработной плате, на энергию и т. д., а затем суммированием получить искомую величину себестоимости.

Объем расчетов при этом будет больше, но точность повысится. Наконец, можно рассчитать один-два наиболее весомых компонента себестоимости, а общую величину себестоимости определить, руководствуясь данными о структуре себестоимости. Поэтому в зависимости от того, рассчитывается ли себестоимость сразу полностью или по отдельным элементам затрат, методы оценки можно разделить на методы интегрированной и методы дифференцированной оценки.

## **25 ЭРГОНОМИКА И ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ. ЭСТЕТИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

### **Эргономика и технологичность конструкций оборудования**

Эргономические требования к оборудованию определяются физиологическими, антропометрическими, биомеханическими и психологическими характеристиками человека и установлены для оптимизации его деятельности в системе "человек – машина".

Учёт эргономических требований при проектировании и конструировании изделий обеспечивает повышение эффективности и качества труда, удобства эксплуатации и обслуживания, улучшение условий труда, экономию затрат физической и нервнопсихической энергии работающего максимально возможным приспособлением изделий к его функциональным возможностям. При этом достигается значительный социально-экономический эффект, выражающийся в повышении привлекательности и содержательности труда, сохранении здоровья и поддержании высокой работоспособности человека, сокращении непроизводительных и потерь рабочего времени, уменьшении затрат на предоставление льгот и компенсаций за работу в неблагоприятных условиях.

В инженерной практике известны далеко не единичные случаи, когда использование новых производительных машин и устройств не давало должного эффекта из-за несоответствия их конструкции функциональным особенностям человека. Следовательно, эффективность машины определяется не только такими её характеристиками, как КПД, производительность, трудоёмкость изготовления, надёжность и др., но и тем, насколько легко и точно оператор сможет управлять машиной.

Современная техника требует от рабочего не столько значительных усилий, сколько точности реакций, продуманности действий, быстрых решений и, следовательно, значительного нервного напряжения. В связи с этим рациональную конструкцию изделия нельзя создать, не зная эргономики, изучающей функциональные возможности человека в трудовых процессах с целью создания для него таких условий труда, которые обеспечивали бы не только высокопроизводительный и безопасный труд, но и необходимые удобства в работе, т. е. Сохранение его сил, здоровья, работоспособности.

Эргономические показатели качества изделий определяет ГОСТ 16035 - 81:

- антропометрические требования устанавливают соответствие изделия антропометрическим параметрам человека; последние определяют размерное построение и форму тела человека (оператора);

- физиологические требования определяют соответствие изделия физиологическим свойствам человека (например, биомеханическим, силовым, скоростным);

- психофизиологические требования устанавливают соответствие изделия особенностям функционирования органов чувств (рецепторов) человека-оператора;

- психологические требования определяют соответствие изделия психологическим особенностям человека (особенности восприятия, памяти и др.);

- гигиенические нормативы направлены на создание безопасных условий труда и предупреждение профессиональных заболеваний, ориентированы на ограничение вредного воздействия факторов производственной среды.

Эргономический подход к гигиеническому нормированию должен предусматривать создание оптимальных условий для трудовой деятельности учетом комплексного воздействия факторов производственной среды (пыль, газ, вибрации, шум, температура, ионизирующие излучения, освещенность и др.); гигиеническое нормирование должно быть ориентировано не только на ПДК (ПДУ), но и на создание оптимальных условий производственной среды.

ПДК (ПДУ) - это предельно допустимые концентрации (уровни) вредных факторов рабочей зоны, которые при ежедневной работе в течение 8 ч, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не вызывают у работающих заболеваний или, отклонений в здоровье, обнаруживаемых о процессе работы или в отдельные сроки жизни настоящего и будущих поколений. Необходимо учитывать, что дозы и уровни вредных факторов, значительно меньшие допускаемых, в ряде случаев при их комбинированном действии становятся опасными для здоровья работающих. Гигиенические требования органически связаны с другими эргономическими требованиями и их оптимальными показателями являются необходимые условия эффективности эргономических рекомендаций, используемых при конструировании изделий и организации рабочих мест.

Проектирование совершенных систем "человек – машина" и "человек-машина-среда" невозможно без учета всех связей изделия с человеком и

средой. Уже на начальных стадиях проектирования тщательно рассматривают не только конструкторские особенности будущей системы, но и конкретные действия человека в этой системе. Такой анализ постоянно напоминает конструктору о функциях изделия, а эргономисту позволяет уточнить ряд положений эргономического характера. Эргономист помогает выбрать из ряда конструкторских решений оптимальный в эргономическом отношении вариант. Модели и макеты такого варианта не только служат для проверки композиционных решений, но и позволяют экспериментально проверить соответствие новой конструкции требованиям эргономики.

Таким образом, эргономика теснейшим образом взаимосвязана с художественным конструированием, так как критериями её анализа являются: оптимальное приспособление конструкции к психофизиологическим особенностям человека; возможность с помощью конструктивных решений воздействовать на раскрытие человеческих способностей и их стимулирование для оптимизации деятельности человека; возможность создания условий для возникновения положительных эмоций и оптимального жизненного тонуса у оператора в процессе взаимодействия человека и техники.

Распределение функций между человеком и машиной, т. е. определение операций, которые должны выполнять человек или машина для обеспечения требуемой эффективности системы человек - машина, является важной задачей сравнительного анализа возможностей человека и машины.

Машине целесообразно передать функции, требующие: приложения большой физической силы малосодержательного и монотонного характера; большой трудоёмкости; быстрой реакции на сигналы; высокой степени плавности и точности приложения усилий; приёма, переработки и хранения больших объёмов информации; принятия однотипных постоянно повторяющихся решений.

За человеком следует оставлять функции, требующие: решения задач планирования, программирования и контроля трудового процесса; принятия решений в непредвиденных ситуациях; более высокой, чем машина, чувствительности к различным сигналам; многообразия ответных реакций; приспособления к изменяющимся условиям.

Реализацию эргономических требований при проектировании и конструировании изделий обеспечивают соблюдением соответствующих стандартов на системы человек - машина и системы безопасности труда (СБТ), санитарных норм и правил, стандартов на термины и номенклатуру эргономических показателей качества и других нормативных материалов.

При создании нового изделия эргономическая проработка необходима на всех стадиях разработки конструкторской документации и технического задания.

На стадии разработки технического задания:

- определяют назначения изделия, выполняют анализ аналогов и прототипов по их эргономическим характеристикам;

- проводят эргономический анализ трудовой деятельности человека и ориентировочное распределение функций в реальной системе человек - машина;

- разрабатывают ориентировочные эргономические требования на основе нормативных документов, справочных эргономических материалов.

На стадии разработки технического проекта:

- окончательно распределяют функции в системе человек - машина;

- определяют окончательные эргономические требования и их реализацию в проекте;

- оценивают степень реализации эргономических требований аналитическими методами и методами моделирования.

На стадии разработки рабочих чертежей и испытаний:

- выполняют анализ и дают эргономическую характеристику (оценку) созданного изделия для определения степени его соответствия эргономическим требованиям;

- составляют предложения по совершенствованию (доводке) изделия и соответствующей корректировке технической документации.

**Требования антропометрии и биомеханики.** При конструировании изделия необходимо предусматривать его соответствие антропометрическим данным и биомеханическим характеристикам человека на основе учёта: габаритных размеров и размеров отдельных частей тела человека в рабочих позах и положениях; динамики изменений размеров тела при перемещении его в пространстве (динамические размеры); диапазона движений в суставах.

Используя антропометрические данные, при конструировании изделий следует определить контингент людей, для которых будет предназначено изделие; выбрать антропометрический признак (группу признаков), который является основным для определения размеров изделия, с учётом соответствующей поправки на вид одежды и обуви.

**Рабочие зоны и закономерности рабочих движений.** Все элементы рабочего места (размеры сиденья, рабочей поверхности, подставки для ног, органов управления и др.), которые непосредственно соприкасаются с телом человека, должны по возможности точно соответствовать его антропометрическим данным. Допускается округление размеров до 1 см. При расчёте минимальных пространств, занимаемых телом человека в разных положениях и позах, допускается округление на 2 - 3 см. Рабочее место оператора, взаимное расположение элементов рабочего места регламентированы ГОСТ 21958 - 76, ГОСТ 22269 - 76.

## **Эстетическое оформление технологического оборудования**

**Технологичность и художественное конструирование.** В практике художественного конструирования во многих случаях требования технической эстетики связаны с некоторыми правилами создания технологических конструкций изделий, например:

требованием технологичности являются уменьшение длины кинематической цепи изделия, так как механизм с короткой кинематической цепью, как правило, менее трудоёмок в изготовлении; вместе с тем уменьшение длины кинематической цепи, замена механических устройств электрическими, рычажного управления - кнопочным и др. облегчают задачу конструктора при нахождении рациональной эстетической формы конструкции;

работая над эстетическим видом изделия, очень важно правильно подобрать пропорции основных сборочных единиц и всей конструкции, что удовлетворяет требованиям эстетики и улучшает технологичность конструкции; большое значение для улучшения эстетического вида изделия в целом имеет внешний вид таких деталей, как рукоятки и маховички управления, пусковые кнопки, сигнальные лампочки, фирменные таблички и др.: формы этих деталей должны соответствовать всей конструкции изделия и быть технологичными в изготовлении;

особое внимание должно быть уделено таким декоративным деталям, как кожухи и крышки, умелое использование которых позволяет решить сложные вопросы увязки эстетики изделий с их технологичностью.

Опыт показывает, что совместная работа технологов и конструкторов - разработчиков изделий с художниками конструкторских бюро способствует повышению технологичности изделий, улучшению их внешнего вида с учётом требований технической эстетики.

Техническая эстетика при конструировании и эксплуатации изделий. Для того, чтобы придать машиностроительному изделию красивый внешний вид, необходимо правильно использовать принципы художественного творчества с учётом требований технической эстетики.

Требования технической эстетики представляют собой комплекс социально - экономических, функционально - конструктивных, эргономических и эстетических требований, выполнение которых должно обеспечить создание общественно целесообразных, технически совершенных, экономичных, удобных в эксплуатации и эстетически выразительных изделий.

Требования технической эстетики реализуются методами художественного конструирования, которое направлено на достижение: единства эстетического и функционально - технического уровня изделия; композиционного единства и гармоничности форм; декоративности и гармоничности цветофактурного решения поверхностей с учётом особенностей тактильного восприятия; высокого качества обработки наружных элементов изделия.

Кроме общих требований технической эстетики к определённым видам изделий должны быть предъявлены конкретные требования в соответствии с особенностями формы, условий эксплуатации и обслуживания, а также условий среды (производственное помещение, открытая площадка и др.). К изделиям, имеющим посты оператора, следует предъявлять дополнительные требования, характеризующие композиционные решения.

Требования технической эстетики учитывают при разработке технического задания на изделие; техническое задание устанавливает также состав художественно - конструкторского проекта.

К оцениваемым эстетическим показателям относятся: современность художественно – конструкторского решения изделия; функционально – конструктивная выразительность формы; гармоническая целостность композиционной структуры; совершенство производственного исполнения элементов внешней формы.

Показатель современности художественно – конструкторского решения изделия характеризует:

степень и специфические особенности проявления основных принципов художественно – конструкторского решения изделия;

степень соответствия художественно – конструкторского решения изделия современному уровню техники;

степень применения в художественно – конструкторском решении изделия прогрессивных конструкций и материалов;

степень соответствия стилового решения изделия прогрессивным тенденциям формообразования;

степень оригинальности и новизны художественно – конструкторского решения;

степень согласованности формы изделия с современным подходом к решению функционально – предметной среды.

Показатель функционально – конструктивной выразительности формы характеризует:

функциональную целесообразность художественно – конструкторского решения каждого элемента формы;

образную информативность формы, свидетельствующую как о прямом назначении изделия, так и о его месте и роли в окружающей функциональной среде;

выраженность в форме изделия его конструктивных закономерностей (тектоничность).

Показатель гармонической целостности композиционной структуры характеризует:

гармоничность пропорций, масштабную соразмерность частей и целого, ритмичность композиционных элементов изделия;

целостность пластического решения формы, стилевое единство всех его элементов;

значение в объемно-пространственной структуре изделия основных и второстепенных элементов, их соподчинённость и группирование вокруг композиционного центра;

гармоничность цветового и фактурного решения, их соответствие общему композиционному замыслу;

согласованность графических и декоративных элементов с композиционным решением изделия.

Показатель совершенства производственного исполнения элементов внешней формы характеризует:

стабильность товарного вида изделия в процессе эксплуатации, устойчивость элементов формы к повреждениям;

степень отделки поверхности изделия (их механической обработки, нанесение защитно-декоративных покрытий и др.);

тщательность исполнения швов, стыков, соединений, сопряжений, креплений;

четкость исполнения графических и декоративных элементов.

Рекомендации и примеры цветовой отделки изделий. Традиционный подход к выбору покрытий, как завершающему этапу конструкторской разработки далеко не всегда может обеспечить требования технической эстетики, что следует из определения покрытий как органической части формы и образующего ее материала. В связи с этим покрытия и способы их нанесения следует выбирать в процессе конструирования отдельных деталей, сборочных единиц и изделия в целом с учетом основных эксплуатационных и технологических факторов. Например, для получения надежного в эксплуатации стеклоэмалевого покрытия необходимо избегать сварных швов и острых ребер в конструкции сборочных единиц (деталей). При необходимости электролитического хромирования детали ее конфигурацию следует конструировать с учетом низкой рассеивающей способности электролитов хромирования.

В случаях, когда поверхность детали несет доминирующую функциональную нагрузку (отражатели, шкалы, номограммы и др.) покрытие в известной мере определяет выбор конструкционного материала.

Сложный комплекс факторов, которые необходимо учитывать при выборе покрытия, исключает какие-либо универсальные рекомендации. Однако, общие сведения могут способствовать оптимальному решению конкретных задач. Схема иллюстрирует необходимость одновременного учета основных функционально-эксплуатационных требований, предъявляемых к деталям конструкции, и технологических характеристик последних

Цвет играет важную роль в оптимальном режиме функционирования системы машина – человек – среда; значение цвета проявляется в цветовой отделке изделий машиностроения.

Цветовое решение должно удовлетворять ряду требований, основными из которых являются: информационно-смысловое значение (информация о функциях изделия, сигнализация о состоянии производственной среды с точки зрения безопасности, обозначение органов управления и др.); рекламная эффективность (товарный вид изделия); эмоционально-эстетическое воздействие на человека.

Положительное эмоционально-эстетическое воздействие цветового решения на человека обеспечивают: созданием комфортных психофизических условий функционирования человеческого организма в ходе трудового процесса; формированием обстановки, способствующей творческому подходу человека к своей работе.

Цветовой фактор психофизического комфорта обеспечивает: оптимальные условия восприятия человеком формы предметов (машины, станка, инструментов и т.д.); оптимальные условия восприятия пространства, в котором происходит трудовой процесс; частичную компенсацию

неблагоприятных воздействий производственного процесса (снижение зрительной утомляемости и т.д.); улучшение санитарно-гигиенических условий; повышение степени безопасности производственных процессов.

Гармония цветовых соотношений изделий и интерьера (по цветовому тону, насыщенности цвета) способствует выполнению следующих основных требований технической эстетики к изделию: современность художественно – конструкторского решения; функциональная выразительность формы; гармоническая целостность композиционной структуры (особенности архитектурной композиции и цветовое решение интерьера, характер естественного и искусственного освещения при эксплуатации изделия); красота изделия.

При выборе рационального цветового решения изделий определенного вида следует проанализировать комплекс конкретных условий и факторов: характер технологического производственного процесса, выполняемого изделием; функциональное назначение изделия; размеры изделия; условия безопасности процессов труда.

Цвет влияет на качественное восприятие готового изделия. Темные цвета, создающие эффект тяжести, можно использовать для окраски фундаментов, несущих конструкций, в некоторых случаях станин; такие цвета как бы подчеркивают их назначение, выполняемую функцию. Однако изделия, полностью окрашенные в темные тона, имеют неприглядный вид, поглощают много света и создают фон, затрудняющий выявление очертаний изделий при выполнении, например, точных работ. Такие яркие цвета, как желтый, красный, оранжевый, вызывают впечатление напряженности, тревоги. В то же время они способствуют появлению ощущения теплоты. Светлые тона используют для уменьшения впечатления массивности. Если, например, часть машины нависает над головой работника и утомляет его своей громоздкостью, то можно создать впечатление мнимого удаления окрашиванием её в бледно-голубой цвет.

Многие специалисты рекомендуют окрашивать оборудование в светло-серые, светло-зелёные, светло-голубые тона, так как они обладают высоким коэффициентом отражения (около 60 %). Кроме того, изделия должны быть окрашены таким образом, чтобы создавался цветовой контраст между их отдельными частями. Такой метод окрашивания в значительной мере способствует выявлению чёткости разделения деталей и, следовательно, способствует повышению производительности труда. Необходимо, однако, избегать слишком резких цветовых контрастов, так как они утомительны для глаз. Особенно важно не окрашивать большие площади в яркие цвета. Ярко окрашенные поверхности могут вызвать явление ослепления (из-за чего нарушается чёткость видения), утомление глаз и общее физическое недомогание.

Внутренние поверхности корпусных деталей целесообразно окрашивать в тёмные тона, так как это облегчает сборку, контроль и регулирование механизма, собранного в корпусе. Внутренние части панелей, люков нужно окрашивать в яркие цвета для того, чтобы они отчётливо выделялись в

открытом положении. Цветовое обозначение приспособлений и некоторых инструментов облегчает обслуживание сложных машин и установок.

Подвижные устройства (транспортная техника, краны, автопогрузчики, автомашины, электрокары и др.) должны чётко выделяться на общем фоне. Для привлечения к ним максимального внимания необходимо окрашивать их, например, в ярко-оранжевые цвета, на передние и задние части машины наносить чёрные и жёлтые полосы. Число цветов должно быть минимальным. Во многих случаях два или три цвета обеспечивают необходимый эффект.

Особое значение приобретает цвет при использовании его в сигнальных системах. Применение цвета для любых кодирующих систем должно совпадать с его укоренившимся значением. Очевидно, красный цвет, обозначающий опасность или «стоп», не следует применять для других целей. Экономное употребление предупреждающего цвета для окрашивания лишь наиболее опасных мест, более эффективно, чем применение его для общего покрытия.

Учёт психологического воздействия различных цветов играет важную роль в технике безопасности. Использование цвета в качестве кода-носителя информации об опасности может быть дополнительным средством предупреждения несчастных случаев.

Рациональное использование сигнальных цветов во многих случаях может значительно повысить надёжность работы человека, уменьшить число ошибок в опасных случаях. Окраску изделий лакокрасочными материалами сигнальных цветов и нанесение (установку) знаков безопасности должно выполнять предприятие-изготовитель изделия в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.026 – 80 (СТ СЭВ 1412 - 78).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, М. П. Подъемно-транспортные машины: учеб. для машиностроит. спец. вузов. / М. П. Александров. – 6-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 1985. – 520 с.
2. Баловнев, В.И. Автомобили и тракторы: краткий справочник / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.
3. Волков, Д. П. Строительные машины и средства малой механизации / Д. П. Волков, В. Я. Крикун. – М.: Мастерство, 2002. – 480 с.
4. Гоберман, Л.А. Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин / Л.А. Гоберман. – М.: Машиностроение, 1988. – 464 с.
5. Гольдшмидт, М.Г. Методология конструирования: Учебное пособие. / М.Г. Гольдшмидт. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 173 с.
6. Григорьев, А. М. Винтовые конвейеры / А. М. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
7. Евграфов, В. А. Основы теории и расчета сопротивлений движению в машинах непрерывного транспорта с тяговым элементом: учеб. пособие / В. А. Евграфов, А. К. Миненко. – Л.: ЛИВТ, 1989. – 59 с.
8. Евграфов, В. А. Портовые машины непрерывного транспорта: учеб. пособие / В. А. Евграфов, А. К. Миненко. – Л.: ЛИВТ, 1981. – 104 с.
9. Евграфов, В. А. Портовый конвейерный и трубопроводный транспорт: учеб. пособие / В. А. Евграфов, А. К. Миненко. – Л.: ЛИВТ, 1981. – 108 с.
10. Додонов, Б. П. Грузоподъемные и транспортные устройства: учеб. для средних и спец. учебных заведений / Б. П. Додонов, В. А. Лифанов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.: ил.
11. Зенков, Р. Л. Машины непрерывного транспорта: учеб. для студентов вузов / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.: ил.
12. Конвейеры: справ. / Р. А. Волков, А. Н. Гнутов, В. К. Дьячков и др.; ред. Ю. А. Пертен. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 367 с.: ил.
13. Катрюк, И.С. Машины непрерывного транспорта. Конструкции, проектирование и эксплуатация: учеб. пособие / И.С. Катрюк, Е.В. Мусяиченко. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 266 с.
14. Марон, Ф. Л. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин / Ф. Л. Марон, А. В. Кузьмин. – Минск: Высш. шк., 1984. – 272 с.
15. Меновщиков, В. А. Подъемно-транспортирующие машины в примерах и задачах: учеб. пособие / В. А. Меновщиков, В. М. Ярлыков. – Красноярск: Изд-во Краснояр. гос. аграр. ун-та, 2004. – 203 с.
16. Мусяиченко, Е.В. Машины непрерывного транспорта. Версия 1.0. (Электронный ресурс): учебное пособие / Е.В. Мусяиченко. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. 1. электрон. опт. диск (CD-ROM), 70Мб.
17. Орлов, П.Н. Основы конструирования : справ.-метод. пособие : в 2 т. / П.Н. Орлов. – М.: Машиностроение, 1988.

18. Основы машиностроительной гидравлики. /Т.В.Алексеева, Н.С. Галдин, В.С.Щербаков.- Омск: ОмПИ, 1986.-87с.
19. Прейс, В. В. Технологические роторные машины: вчера, сегодня, завтра / В. В. Прейс. – М.: Машиностроение, 1986. – 128 с.: ил.
20. Расчет объемного гидропривода мобильных машин. Методические указания. /Сост. Н.С. Галдин.-Омск СибАДИ, 2003.-28с.
21. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2. 5-е изд., перераб. и доп. /Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 912 с.
22. Спиваковский, А. О. Транспортирующие машины: учеб. пособие для машиностроительных вузов / А. О. Спиваковский, В. К. Дьячков. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.: ил.
23. Шарипов, В.М. Конструирование и расчет тракторов: Учебник для студентов вузов. 2-е изд. перераб. и доп. / В.М. Шарипов. – М.: Машиностроение, 2009. – 752 с.
24. Шахмейстер, Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.: ил.
25. Шахмейстер, Л. Г. Динамика грузопотоков и регулирование скорости ленточных конвейеров: учеб. пособие / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев, А. К. Лобачева. – М.: Московский горный институт, 1972. – 163 с.
26. Шнырев, А.П. Основы технологии производства и сборки транспортных и технологических машин. Учебное пособие. / А.П. Шнырев.– М.: МГУП, 2007. – 187 с.
27. Шнырев, А.П., Производство деталей и сборочных единиц машин и оборудования природообустройства. Учебное пособие. / А.П. Шнырев, А.С. Матвеев.– М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2010. – 175 с.
28. Шеффлер, М. Основы расчета и конструирования подъемно-транспортных машин: пер. с нем. / М. Шеффлер, Г. Пайер, Ф. Курт. – М.: Машиностроение, 1980.
29. Шешко, Е. Е. Эксплуатация и ремонт оборудования транспортных комплексов карьеров: учеб. пособие / Е. Е. Шешко. – 2-е изд. – М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2000. – 425 с.
30. Элементы объемных гидроприводов строительных и дорожных машин и их выбор при курсовом и дипломном проектировании. Ч.1. Насосы и гидродвигатели: Методические указания /Сост.: Т.В.Алексеева, В.С.Башкиров, Н.С. Галдин; СибАДИ.- Омск, 1983. -30с.
31. Элементы объемных гидроприводов строительных и дорожных машин и их выбор при курсовом и дипломном проектировании. Ч.2. Гидроаппаратура: Методические указания /Сост.: Т.В.Алексеева, В.С.Башкиров, Н.С. Галдин; СибАДИ.- Омск, 1983.-26с.

## СОДЕРЖАНИЕ

стр

	Введение	3
1	ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАШИНАХ И МЕХАНИЗМАХ. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К МАШИНАМ И МЕХАНИЗМАМ.....	5
2	ТИПАЖ, ТИПОРАЗМЕРНЫЕ РЯДЫ МАШИН .....	10
3	КОНСТРУИРОВАНИЕ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ.....	14
4	СЛУЖЕБНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ. СТАДИИ И ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ.....	20
5	ТИПЫ, ВИДЫ И КОМПЛЕКТНОСТЬ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ НА ПРОЕКТИРУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ОБОЗНАЧЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ. КЛАССИФИКАТОР ЕСКД .....	30
6	ОБЩИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА МАШИН.....	37
7	МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УНИФИЦИРОВАННЫХ МАШИН.....	41
8	МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ.....	45
9	ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ.....	53
10	ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ.....	61
11	МЕТОДИКА КОНСТРУИРОВАНИЯ.....	66
12	СОЕДИНЕНИЯ, ПЕРЕДАЧИ, СОРТАМЕНТ. ОСНОВЫ РАСЧЕТА	77
13	ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИХ РАСЧЕТА.....	104
14	ОСНОВЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ МАШИН ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ..	109
15	ОСНОВЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО И ВИБРАЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ.....	111
16	ОСНОВЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА ПРИВОДОВ И МЕХАНИЗМОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	116
17	ХОДОВЫЕ СИСТЕМЫ МАШИН.....	120
18	КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ.....	124
19	РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ СЦЕПЛЕНИЯ	130
20	ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМ ГИДРОПРИВОДА	138

	стр
21 РАСЧЕТ ОБЪЕМНОГО ГИДРОПРИВОДА НА ПРИМЕРЕ БУЛЬДОЗЕРА	152
22 ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ МАШИН	157
23 ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ.....	193
24 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ.....	199
25 ЭРГОНОМИКА И ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ. ЭСТЕТИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	205
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	214

Журавлева Л.А.  
Карпов М.В.

# КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ISBN 978-5-00140-986-1



Подписано в печать 25.03.2022.

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 12,61. Тираж 100 экз. Заказ № 1283-22.

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами  
в ООО «Амитит», 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 88.

Тел.: 8-800-700-86-33 | (845-2) 24-86-33

E-mail: [zakaz@amirit.ru](mailto:zakaz@amirit.ru)

Сайт: [amirit.ru](http://amirit.ru)