

ЧЕРНИГОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»  
СЕВЕРСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ  
И КОНСТРУИРОВАНИЯ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**МОНОГРАФИЯ**

**Чернигов 2014**

УДК 621.002.2  
ББК 34.42  
М54

*Рекомендовано к печати ученым советом Черниговского национального технологического университета (протокол № 6 от 30 июня 2014 г.).*

**Авторы: Белозёров Б.П., Бирик В.Л., Ефременков А.Б., Бакалов В.Г.**

**Рецензенты:**

**Федориненко Д.Ю.**, доктор технических наук, профессор Черниговского национального технологического университета;

**Майборода М.М.**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, генеральный директор ПрАТ «Черниговфильтр».

**Методология** создания и конструирования машиностроительных изделий : М54 монография / Б. П. Белозёров, В. Л. Бирик, А. Б. Ефременков, В. Г. Бакалов. – Чернигов : Черниг. нац. технол. ун-т, 2014. – 215 с.

ISBN 978-966-7496-60-9

В монографии охарактеризована система постановки продукции на производство, начиная от выдачи исходных данных на создание нового изделия, включая его разработку, и заканчивая изготовлением и внедрением в производство нового изделия. Описана структура и основные составные части машиностроительных изделий, на примерах показан подход к их расчёту. На многочисленных примерах рассмотрена методология и практика конструирования, показано использование компьютерных технологий в создании машиностроительных изделий от разработки до внедрения.

Монография предназначена для инженерных работников, преподавателей, студентов вузов машиностроительных специальностей и способствует подготовке конструкторов широкого профиля – создателей новой техники.

У монографії охарактеризовано систему постановки продукції на виробництво, починаючи від видачі вихідних даних на створення нового виробу, включаючи його розроблення, і закінчуючи виготовленням та впровадженням у виробництво нового виробу. Описано структуру та основні складові частини машинобудівних виробів, на прикладах показано підхід до їх розрахунку. На численних прикладах розглянуто методологію і практику конструювання, показано використання комп'ютерних технологій у створенні машинобудівних виробів від розроблення до впровадження.

Монографія призначена для інженерних працівників, викладачів, студентів ВНЗ машинобудівних спеціальностей та сприяє підготовці конструкторів широкого профілю – творців нової техніки.

**УДК 621.002.2  
ББК 34.42**

**ISBN 978-966-7496-60-9**

© Белозёров Б.П., Бирик В.Л.,  
Ефременков А.Б., Бакалов В.Г., 2014

© Черниговский национальный  
технологический университет, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>РАЗДЕЛ 1. ПРЕДМЕТ И СОСТАВЛЯЮЩИЕ МОНОГРАФИИ</b> .....	5
1.1. Предмет исследования .....	5
1.2. Понятия и определения .....	5
1.3. Пути развития техники.....	6
<b>РАЗДЕЛ 2. СИСТЕМА СОЗДАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ</b> .....	9
2.1. Система постановки продукции на производство .....	9
2.2. Технические требования и показатели качества изделия .....	16
<b>РАЗДЕЛ 3. СТРУКТУРА И ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ ИЗДЕЛИЙ</b> .....	22
3.1. Построение компоновок машиностроительного изделия по его структуре .....	22
3.2. Основные узлы и детали машиностроительных изделий .....	26
3.2.1. Рабочие органы.....	26
3.2.2. Двигатели механизмов и машин.....	32
3.2.3. Передатки, редукторы, вариаторы .....	44
3.2.4. Валы, оси, их опоры и уплотнения .....	52
3.2.5. Соединения деталей (резьбовые, шпоночные, шлицевые, штифтовые, клиновые, сварные, заклёпочные).....	68
3.2.6. Корпусные детали, опоры .....	91
3.2.7. Сосуды, аппараты и трубопроводы .....	92
3.2.8. Основные типовые технические решения.....	101
<b>РАЗДЕЛ 4. МЕТОДОЛОГИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ</b> .....	108
4.1. Изучение сферы применения машины и уровня техники.....	108
4.2. Выбор конструктивной схемы и компоновки изделия. Конструктивная приемственность .....	119
4.3. Поиск новых решений. Методы активизации творческой деятельности и изобретательская работа .....	129
4.4. Разработка рабочей документации .....	134
4.5. Практика выполнения проектных и конструкторских этапов разработки.....	138
4.5.1. Разработка установки для транспортировки полимерной крошки .....	138
4.5.2. Пример проектирования плоскощелевой головки для выпуска полимерной пленки или ламинирования материалов .....	154
4.5.3. Пример разработки технического предложения и эскизного проекта ленточного транспортёра .....	180
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	192
<i>Приложение А.</i> Расчёты при выполнении проектных и конструкторских работ .....	192
<i>Приложение Б.</i> Разработка конструктивного решения трансмиссии геохода.....	198
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	212

## ВВЕДЕНИЕ

Методология создания и конструирования машиностроительных изделий определяет объём, виды и порядок выполнения проектного и конструкторского раздела при разработке машиностроительных изделий (машин, механизмов, приборов, аппаратов и т. д.). Разработка входит в цикл работ по созданию новых изделий, проводимых в соответствии с ГОСТ Р 15.201-2000. Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок разработки и постановки продукции на производство.

При выполнении проектного раздела разработки на основании исходных данных, технического задания и аналогов проводится проработка и выбор оптимальных решений по компоновке изделия, по устройству сборочных единиц (узлов) и по изделию в целом. На конструкторской стадии выпускается рабочая (чертежи) и текстовая документация на основе выбранного оптимального варианта. По рабочим чертежам проводится изготовление и приёмка образца изделия, который после испытаний, пусконаладки и доводки принимается в эксплуатацию, либо служит основой для выпуска партии (серии) изделий. Таким образом, из изложенного следует, что уменьшение ошибок при конструкторской разработке ведёт к сокращению сроков и объёмов пусконаладочных работ и к снижению затрат. Поэтому овладение методологией конструирования имеет огромное значение в создании и освоении новой техники.

Процесс разработки машиностроительного изделия включает разработку технического задания, изучение и анализ уровня техники, подбор аналогов, разработку проектной и конструкторской (чертёжной) документации, проведение расчётов, подтверждающих работоспособность, и выпуск текстовой документации. Эти этапы длительное время выполнялись с помощью традиционных методов проведения работ – вручную. В настоящее время наблюдается массовый переход к компьютерному 2D- и 3D-проектированию и разработке (CAD и CAE), которые представляют новый и мощный инструмент конструктора [28].

При разработке и при проведении расчётов, а также во многих случаях при монтаже, эксплуатации и ремонте используются знания, навыки и умения, полученные при изучении общемашиностроительных (начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика, теория механизмов и машин, детали машин, технология машиностроения и др.) и специальных дисциплин. Материал, представленный в данном издании, может рассматриваться и использоваться как пособие, которое преследует цель развития у инженеров, студентов понимания структуры изделий и их составных частей, т. е. способствует систематизации приобретённых знаний. Оно базируется на работах известных советских и российских инженеров и учёных. К ним относятся труды П.И. Орлова, Н.С. Ачеркана, Д.Н. Решетова, П.Ф. Дунаева, А.П. Леликова, К.Ф. Фролова и других [4; 6; 13; 20; 22; 29; 43; 46; 47].

Главы 1, 2, 3 написаны Б.П. Белозёровым, В.Л. Бибином, А.Б. Ефременковым; глава 4 – Б.П. Белозёровым, В.Г. Бакаловым.

## Раздел 1. ПРЕДМЕТ И СОСТАВЛЯЮЩИЕ МОНОГРАФИИ

### 1.1. Предмет исследования

Методология создания машиностроительных изделий представляет собой комплекс задач, методов и приемов их решения. Она призвана помочь читателю научиться определять направление разработок, способствовать выбору оптимальных решений по совершенствованию техники и технологии при создании новых и модернизации существующих производств, машин, аппаратов, механизмов и т. д. Поэтому монография будет полезна не только конструкторам, но и эксплуатационникам, монтажникам, ремонтникам и др. В основном же монография призвана определять действия инженера-конструктора при выполнении проектных и конструкторских этапов разработки, которые являются основой создания новых машиностроительных изделий [9; 10; 13; 34; 37].

В монографии рассмотрена система разработки и постановки продукции на производство, где приведены технические требования и показатели качества машин, а также описан порядок создания новых машин, начиная с постановки задачи, разработки и заканчивая выпуском и освоением нового изделия.

Подробно рассмотрена собственно методология проектно-конструкторских работ; описаны подходы к выбору конструктивной схемы и компоновочных решений на основе выбранных аналогов; обоснована важность конструктивной преемственности при создании новых изделий и изложены методы активизации творческой деятельности при поиске новых решений. На ряде примеров описана практическая деятельность конструктора при выполнении проектных этапов (техническое задание, техническое предложение, эскизный и технический проекты), а также при разработке рабочей документации.

Отдельно рассмотрены методы выполнения проектно-конструкторских работ: традиционный и с использованием современных компьютерных программ (CAD, CAM, CAE).

Коллектив авторов надеется, что монография будет способствовать формированию квалифицированного специалиста и магистра, а также ориентировать инженера на полноценное освоение проблем технической практики и помогать специалистам в их практической деятельности по созданию новой техники.

### 1.2. Понятия и определения

Изделия машиностроения (машины, приборы, узлы, инструменты, детали и др.) представляют собой основу промышленности.

*Механизм* – это кинематическая цепь узлов и деталей, предназначенная для совершения определённых целесообразных движений [25].

*Машина* – это механизм или комплекс механизмов, предназначенный для выполнения требуемой полезной работы, связанной с процессами производства или транспортирования продукции или же с процессами преоб-

разования энергии. Различают *рабочие машины*, с помощью которых производится изменение свойств, состояния, формы или положения обрабатываемого объекта, а также *машины-двигатели*, в которых тот или иной вид энергии преобразуется в механическую энергию вращающегося вала или прямолинейно движущегося звена. К машинам относятся также преобразователи, в которых механическая энергия преобразуется в какой-либо вид энергии, например, генератор электрического тока.

*Аппарат* – это устройство, состоящее из сосуда (сосудов) и механизмов для проведения определённых физических и химических массообменных или теплообменных процессов в различных отраслях промышленности.

*Инструмент* – это деталь или комплекс деталей и механизмов, предназначенных для выполнения различных операций или манипуляций, связанных с обработкой, переработкой или измерением при проведении различных видов работ.

*Прибор* – это устройство для получения, передачи и отображения информации (измерения, регистрации, сигнализации и др.).

Все эти виды машиностроительных изделий представляют собой *оборудование* различных предприятий, цехов, заводов. Разнообразие машиностроительных изделий безгранично. Они используются в различных отраслях: автомобильной, сельскохозяйственной, химической и т. д.

Развитие техники осуществляется путём совершенствования старых и создания новых изделий (далее – машин), новых технологических процессов, материалов.

*Создание машиностроительного изделия* – это комплекс работ, включающий разработку, изготовление, испытания, приёмку в эксплуатацию и в ряде случаев – в серийное производство. Для сложных агрегатов, линий машин, требующих подключения к сетям и системам завода-потребителя, выполняется монтаж изделия и его испытание [13].

*Испытания* – это работы по определению показателей качества изделия в период поднадзорной эксплуатации с целью выявления соответствия этих показателей требованиям технического задания.

*Приёмка изделия в эксплуатацию* – это этап работы, выполняемый после изготовления изделия и заключающийся в его проверке на соответствие проекту, техническим условиям (далее – техусловиям) и действующим нормам техники безопасности и промышленной санитарии.

*Приёмка изделия в серию* – это этап работы, выполняемый после испытаний в случае соответствия изделия исходным данным и техническому заданию (далее – техзаданию) и при решении организовать выпуск нескольких изделий (серии или партии).

### 1.3. Пути развития техники

Техника и, в частности, изделия машиностроения развиваются путём совершенствования продукции (освоенной и выпускаемой предприятием), а также путём создания новых, ранее не выпускавшихся оригинальных изделий на основе научных разработок, инженерного поиска и изобретений.

Наиболее распространено развитие техники путём совершенствования выпускаемой продукции. Оно происходит в результате доработки и замены отдельных наиболее слабых узлов. Этот процесс основан на изучении и использовании самых современных аналогов и на базе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИР и ОКР) как в направлении применения и разработки новых машиностроительных технологий, так и в отработке конструктивных решений по профилю создаваемого изделия, а также на применении серийных и стандартных изделий.

Рассмотрим ход развития техники на основе анализа жизненного цикла изделия (рис. 1.1). В него входят этапы создания изделия, его монтажа, использования (эксплуатации), ремонта, модернизации и утилизации. Следует отметить, что именно на этапе создания изделия обеспечивается его высокое качество и заданные в техническом задании технико-экономические и другие показатели. Следует, однако, учитывать, что достоинства конструкторских решений обеспечиваются технологией и качеством изготовления изделия [7; 34].

Создание новых изделий предназначено для выполнения заданных функций и получения доходов при его использовании. На схеме жизненного цикла (рис. 1.1) показано изменение затрат на создание новой техники и получение доходов пользователя во времени.

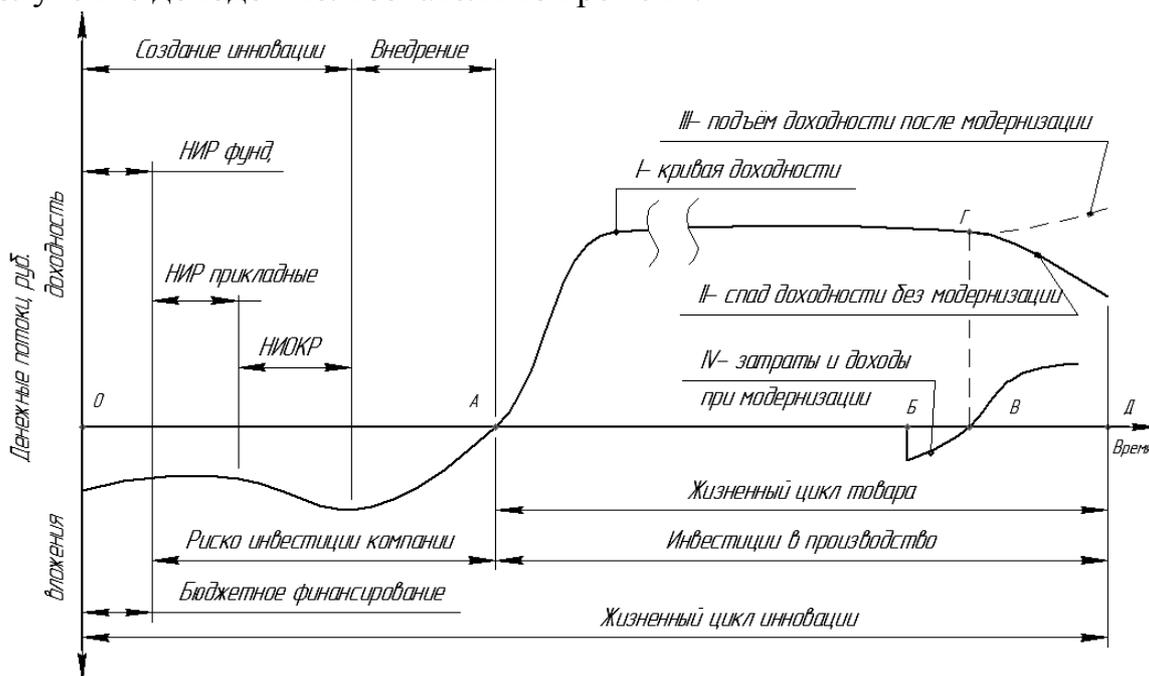


Рис. 1.1. Жизненный цикл изделия: А – начало окупаемости; Б – начало работы над модернизацией; В – начало окупаемости модернизированного производства; Г – начало совокупной доходности после модернизации; Д – вывод изделия из эксплуатации (при отсутствии его модернизации)

Этапы создания и внедрения крупного изделия (участок ОА кривой) производятся машиностроительной организацией и оплачиваются заказчиком (пользователем) изделия. Эти этапы включают научно-исследовательские, опытно-конструкторские работы, изготовление, монтаж, пусконаладку и сдачу изделия в эксплуатацию. Организация и выполнение

всего комплекса работ по созданию нового изделия, включая его приемку в эксплуатацию, осуществляется на основе организационно-технического плана [7]. На участке А–Д изображено изменение доходности изделия у заказчика. В начале эксплуатации происходит рост доходности, связанный с выходом на проектную производительность. С течением времени доходность начинает снижаться из-за падения показателей изделия. Когда доходность использования изделия становится неприемлемой для пользователя, производится его вывод из эксплуатации (точка Д).

Если имеется техническая и экономическая возможность повышения эффективности работы изделия, может быть проведена его модернизация. Для этого в момент Б начинаются работы по усовершенствованию изделия, его отдельных узлов. При этом на участке Б–В производятся необходимые затраты. После выполнения намеченных работ показатели изделия (качество продукции, производительность, энергозатраты) улучшаются и его доходность повышается. Необходимость вывода изделия из эксплуатации отпадает. Результаты модернизации внедряются и в новые подобные изделия.

Создание изделия и постановка его на промышленное производство регламентируется Системой разработки и постановки продукции на производство (СРППП). Этап создания изделия включает стадии разработки проектной и конструкторской документации, изготовление, монтаж, испытание, приёмку изделия и организацию промышленного производства.

Стадия разработки проектной и конструкторской документации составляет основное содержание методологии конструирования. Однако их рассмотрение необходимо проводить с учётом и в тесной увязке со стадиями изготовления, монтажа и приёмки изделия. Следует подчеркнуть, что при приёмке изделия необходимо чётко ответить на вопрос, соответствует ли изделие требованиям технического задания. Только при соответствии результатов испытаний техническому заданию изделие может быть принято и работы по его созданию можно считать выполненными.

## Раздел 2. СИСТЕМА СОЗДАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

### 2.1. Система постановки продукции на производство

Единая Система разработки и постановки продукции на производство (СРППП) преследует цель разработки и создания машин, изделий, новой техники, отвечающих потребностям, дающих наибольший экономический эффект и обладающих наиболее высокими показателями качества. Эта система регламентируется Государственными стандартами (ГОСТ Р 15.201-2000) и определяет объём и порядок создания новой техники, начиная от формулирования и выдачи исходных данных и технических требований на новые изделия и заканчивая приёмкой изделия в постоянную эксплуатацию (для разового заказа изделия) или в серийное производство.

Исходные данные составляются, как правило, заказчиком, являются основанием для всех последующих работ и содержат технические требования с показателями качества машины, а также данные об условиях поставки и финансировании работ. В некоторых случаях при инициативной разработке исходные данные подготавливает машиностроительное предприятие или организация-разработчик [7].

На основании исходных данных исполнителем разрабатывается проектная и конструкторская документация и организуется вся работа по обеспечению поставки машины заказчику.

В нее входят следующие основные этапы:

1. Выдача исходных данных и технических требований на машину.
2. Разработка проектной документации (техническое задание, техническое предложение, эскизный проект и технический проект).
3. Разработка рабочей конструкторской документации.
4. Изготовление машины и её приёмка.
5. Монтаж (при необходимости) и испытания машины.
6. Приёмка машины в эксплуатацию и в серийное производство (при необходимости).
7. Организация серийного производства.

Разработка конструкторской документации регламентируется и определяется стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД). В соответствии со стандартами ЕСКД при разработке с целью постановки на производство нового изделия предусматривается выполнение ряда основных документов на изделие разового заказа или на опытный образец в случае планируемого выпуска серии (табл. 2.1).

**Формализация порядка и процесса разработки изделия** не подавляет творческого характера процесса создания новой техники и не исключает возможности эвристического подхода при принятии решений в ходе разработки. Наоборот, плановый и эвристический выбор наиболее приемлемого решения из множества возможных остаётся основным этапом разработки, определяющим технические характеристики, уровень и качество изделия. При выполнении работ по составлению технического задания,

проведении патентных и библиографических исследований и по подготовке патентного формуляра проводится изучение состояния и уровня техники в заданном и смежном технических направлениях в своей стране и за рубежом (в передовых странах мира).

Таблица 2.1

*Виды документации, выполняемой при постановке машиностроительного изделия на производство*

<b>Вид документа</b>	<b>Исполнитель</b>	<b>Согласующая организация</b>
1. Исходные требования на изделие или опытный образец (ИТ)	Заказчик	Разработчик
2. Техническое задание (ТЗ)*	Разработчик	Заказчик
3. Отчёт о патентных исследованиях	Разработчик	Заказчик
4. Техническое предложение, эскизный проект (ЭП), технический проект (ТП)*	Разработчик	Заказчик
5. Рабочий проект (РП)	Разработчик	–
6. Текстовая документация (ТД) – входит в РП	–	–
6.1. Расчётно-пояснительная записка (РПЗ)	Разработчик	–
6.2. Инструкции по эксплуатации (ИЭ)	Разработчик	Заказчик
6.3. Ведомости и спецификации (В, Сп)	Разработчик	–
6.4. Патентный формуляр (ПФ)	Разработчик	Заказчик
6.5. Карта технического уровня (КТУ)	Разработчик	Заказчик
6.6. Паспорт (ПС) и инструкция по эксплуатации (ИЭ)	Разработчик	Заказчик
6.7. Технические условия (ТУ)	Разработчик	Заказчик
6.8. Программа и методика испытаний изделия (ПМ)	Разработчик	Заказчик

*Примечание:* \* документы по п. 2, 4 представляют собой проектную документацию.

Одновременно выбираются технические решения по объекту и обосновываются проводимые разработки. По наиболее важным, принципиальным решениям принимаются меры по обеспечению патентной защиты изделия, и эти решения патентуются.

На этапе 4 целью и основой разработки изделия является выбор его компоновки, обеспечивающий удобство работы, обслуживания за счёт расположения узлов и его современный внешний вид (форма, цветовые решения и др.). Конструктор должен работать в сотрудничестве с дизайнером или выполнять его функции.

При проектной проработке изделия (на стадиях технического предложения эскизного и технического проектов) часто проводится макетирование, выполняются основные расчёты, обосновывающие работоспособность, и проводится согласование проекта с заказчиком. После этого с соблюдением всех конструкторских норм и требований ЕСКД выполняется рабочий проект изделия. При этом проводятся детальные расчёты всех со-

ставных частей изделия, составляется расчётно-пояснительная записка и вся необходимая текстовая документация. Эти работы представляют собой наиболее трудоемкую и ответственную часть разработки – собственно конструкторскую работу. При выполнении данного этапа обеспечивается достижение всех показателей, заявленных в исходных требованиях и техническом задании. В последнее время при выполнении всех проектных и конструкторских работ широко используются системы САД – компьютерное проектирование (2D- и 3D-проектирование), что позволяет затем применять систему САМ (компьютерное обеспечение изготовления). Внедрение и использование этих систем даёт возможность существенно повысить качество всех этапов создания машины и перейти при необходимости к безбумажному производству.

Следует учитывать, что системы САД и САЕ являются мощным инструментом, который помогает специалисту при разработках, однако они не исключают проектных стадий, при выполнении которых конструктор выбирает оптимальные технические решения.

Выполнение всех этих работ требует больших знаний, навыков и профессионализма, которые приобретаются в практической конструкторской работе. Во время разработки рабочего проекта применяются современные конструкционные и отделочные материалы, средства контроля и автоматизации и комплектующие изделия. На стадии завершения рабочего проекта проводится проработка изделия на технологичность с целью обеспечения возможности изготовления изделия в конкретных производственных условиях.

Изготовление изделия проводится в условиях авторского надзора, что обеспечивает выявление и устранение недочётов и ошибок. В процессе изготовления и после него изделие проходит испытания в соответствии с требованиями чертежей, технических условий, программы и методики испытаний, в результате чего составляется протокол испытаний изделия на заводе-изготовителе.

В тех случаях, когда полный объём испытаний изделия в соответствии с техническими условиями, программой и методикой испытаний возможен только после подключения образца изделия к сетям и системам завода-потребителя (электросети, сети водо-, тепло-, пароснабжения, системы подачи сырья, канализации, вентиляции, газоочистки и т. п.), изделие монтируется в соответствии с проектом и принимается в пусконаладку или в опытную эксплуатацию с целью проведения его приемочных испытаний.

При подготовке к испытаниям, в процессе пусконаладки и доводки изделия устраняются все недочёты и недоделки, и изделие доводится до полного соответствия требованиям технического задания. Участие в этом разработчиков облегчает доводку и позволяет конструкторам повысить свою квалификацию и приобрести неоценимый опыт, который невозможно получить нигде больше.

После монтажа, пусконаладки и доводки проводится второй этап приёмочных испытаний изделия, по результатам которых составляется прото-

кол испытаний на заводе-изготовителе. Этот протокол в случае выполнения исходных требований и требований технического задания является основанием для приёмки работы по созданию машиностроительного изделия, сдаче изделия в постоянную эксплуатацию или для организации его серийного производства при необходимости. В некоторых случаях по взаимному согласию заказчика и разработчика приёмка изделия может быть осуществлена и при наличии каких-либо отклонений от технического задания. В последнем случае оформляется двухстороннее соглашение между заказчиком и разработчиком в установленном порядке с корректировкой техзадания.

Такая схема организации процесса разработки машиностроительного изделия исключает либо сокращает до минимума изменения исходных данных и требований во время разработки и приёмки, снижает затраты на изменение режимов работы и кинематики изделия, а также на другие работы по доведению состояния изделия до работоспособного и удовлетворяющего требованиям исходных данных и технического задания.

В случае приёмки изделия в серийное производство документация на него перерабатывается под технологические условия и возможности завода-изготовителя. После этого на нём, в соответствии с заявкой заказчика, изготавливается серия (партия) изделий.

Создание новых изделий может проводиться разными путями. Наиболее эффективный путь выпуска новой продукции в больших объемах и гарантии её сбыта – это создание новых изделий по заказу предприятий и отраслей, потребителей продукции (заказчиков). Эта работа производится на машиностроительных предприятиях, в КБ и НИИ.

Другой довольно распространённый путь – это инициативная разработка и поставка изделий потребителям на заводах, в КБ и НИИ. Эта разработка проводится на основе анализа потребностей и мирового опыта. В качестве примера можно привести создание горношахтного и сельскохозяйственного оборудования, станков, химоборудования и оборудования для других отраслей.

Третий и достаточно эффективный путь – это создание новой техники для собственных нужд предприятий в специализированных собственных подразделениях фирмы. Этот путь успешно используют крупные концерны, фирмы и отрасли (химпредприятия, станкостроительные заводы и др.) за рубежом и в нашей стране.

Разработки проводятся в условиях жёсткой конкуренции на мировом и отечественном рынке. Наиболее ярко это проявляется в военной технике, самолётостроении, автомобилестроении, медицинской технике, разработке аудио-, видео-, компьютерной техники и др. Особенно важна в этих работах концентрация сил, средств в перспективных направлениях и государственная поддержка, что видно на примерах за рубежом и в нашей стране.

Примеры результативности работ в развитии техники широко известны. В ряде случаев появляются принципиально новые виды изделий. Так, своё время в сельскохозяйственной отрасли появились зерноуборочные

комбайны, силосование, производство травяных гранул, плуги для безотвальной вспашки, технологии и оборудование для переработки криля и др. Например, криль, мельчайшие ракообразные, огромные массы которых обитают в водах мирового океана, представляют собой источник ценного белка. Однако эти организмы размером 1–3 мм покрыты панцирем, как креветки. Для их использования панцирь необходимо удалить. Для этого в СССР была создана высокопроизводительная технология удаления панциря. Для этого масса выловленного криля прямо на судне в проточном аппарате нагревалась под давлением до 200–300 °С и впрыскивалась с водой в аппарат, находящийся при атмосферном давлении. Панцирь при падении давления взрывался, а затем он отделялся от белкового организма. Полученная масса с добавками закупоривается в банки, и произведённые консервы доставляются на берег для продажи. Так на основе НИР была создана новая технология, разработано оборудование и организовано эффективное производство ценной диетической продукции.

Новые технологии приводят к появлению новых машин. Так, на рис. 2.1 показаны три принципиальных схемы уборки трав.

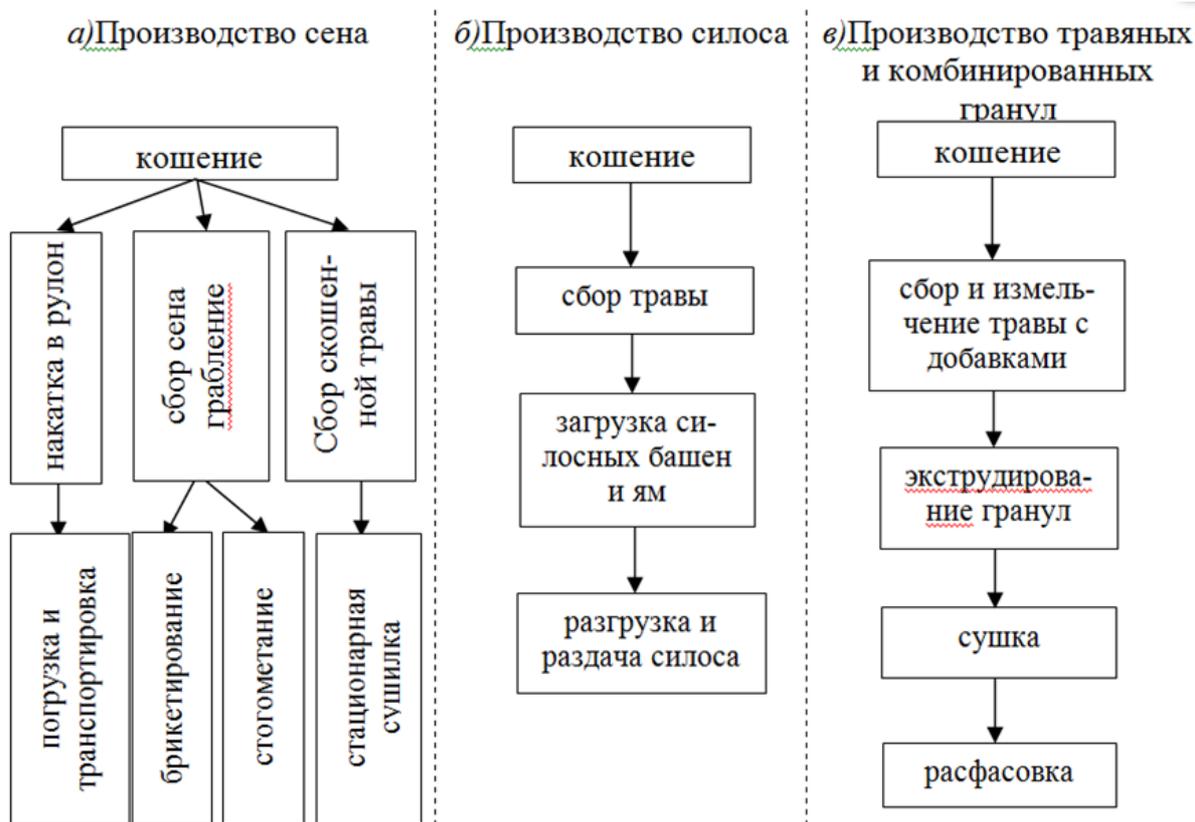


Рис. 2.1. Принципиальные технологические схемы уборки и переработки трав

Для этих схем появляются цепочки новых машин (новые трактора, комбайны, агрегаты для намотки сена в рулон, получения тюков сена, силосовые комбайны, агрегаты для производства травяных гранул и др.).

Схема, приведённая на рис. 2.1, в, включает кошение травы и доставку скошенной травы в цех производства травяных гранул. Там трава, минеральные и растительные добавки (стебли кустарников и др.) тщательно из-

мельчаются и перемешиваются, а затем направляются в бункер экструдера. В экструдере смесь истирается, нагревается и выдавливается в виде сырых гранул. Полученные гранулы сушатся, расфасовываются, упаковываются и направляются на животноводческие фермы. В создаваемой схеме максимально используются освоенные машины и узлы (тракторы, косилки, транспортные средства и др.). Некоторые машины и аппараты (экструдер, сушилка) разрабатываются на базе изделий, освоенных в сельскохозяйственной, химической и пищевой отраслях.

Так, на Юргинском машиностроительном заводе высокоразвитое механосборочное производство с уникальными крупногабаритными станками и станками с программным управлением дало возможность обеспечить высокое качество горно-шахтного оборудования и сделало его конкурентоспособным. Освоение прогрессивного шахтного оборудования позволило повысить производительность добычи угля и дало возможность отказаться от импортных услуг и оборудования, выпускаемого за пределами региона.

Разработка изделия входит в Единую систему постановки продукции на производство (ЕСПП), включающую составление исходных данных и технических требований, технического задания, разработку технической документации, изготовление, испытания, приемку и последующий выпуск серии. При этом изделие, разработанное на основании исходных данных и технического задания (ТЗ), при испытаниях должно подтверждать возможность выполнения всех требований исходных данных и ТЗ и достижение показателей качества изделия, приведённых в этих документах. В этом случае изделие и работа может считаться принятой.

*Машиностроительное изделие* – это предмет производства предприятия по окончанию цикла изготовления [25]. Машиностроительная продукция бесконечно разнообразна так же, как и все применяющие её отрасли техники, науки, сферы быта, культуры, образования, в которых используется эта продукция. Поскольку вся эта продукция выпускается промышленностью, она до начала изготовления подлежит разработке, т. е. является объектом разработки.

Разработчик (инженер, студент) при разработке изделия использует знания, полученные при изучении всех дисциплин в институте: общеобразовательных (физика, математика, химия и др.), общетехнических (начертательная геометрия и графика, теоретическая механика, теория механизмов и машин, сопротивление материалов, детали машин, гидравлика, допуски и технические измерения и др.) и специальных (технология машиностроения, технология и оборудование по специальности: агроинженерия, горные машины, сварка и др.).

Направление в разработке изделия выбирают на основе изучения и анализа передовых аналогов из оборудования отрасли и смежных отраслей. Затем на основе исходных данных и специальных дисциплин определяют внешние нагрузки, возникающие при его работе (например, станок, автомобиль, дрель, косилка и др.). После этого для принятой схемы изде-

лия (рис. 2.2, 2.3) на базе общетехнических дисциплин и общеобразовательных дисциплин определяют нагрузки на звенья механизмов, определяют размеры звеньев из условий прочности, проводят разработку чертежей с использованием начертательной геометрии, компьютерной графики, деталей машин, технологии машиностроения, допусков и технических измерений и др. В этой работе могут понадобиться все дисциплины и даже те, которые не изучались, поэтому необходимо учиться постоянно.

В качестве примера можно привести изделия, схемы которых приведены на рис. 2.2, 2.3.

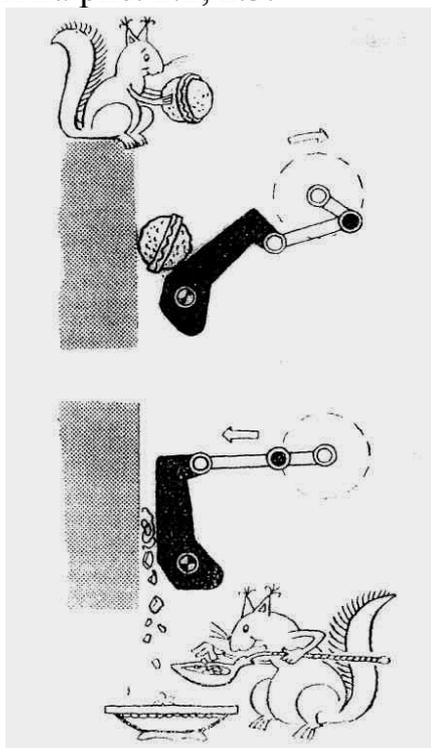


Рис. 2.2. Схема щековой дробилки

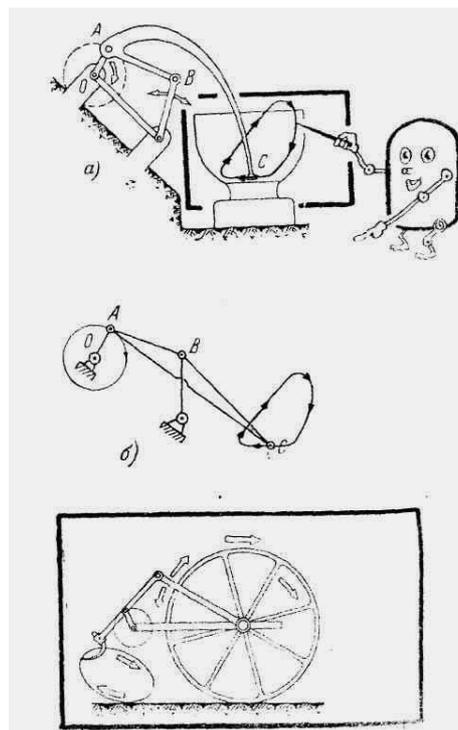


Рис. 2.3. Схема тестомесильной машины (а) и ворошителя сена (б)

Так, щековая дробилка (рис. 2.2) представляет кривошипно-шатунный механизм, который передает массивной подвижной щеке качательные движения. При этом между неподвижной щекой, связанной с корпусом, и подвижной щекой образуется переменный зазор. При раскрытии зазора в него попадает измельчаемый материал (орехи, камни и др.) и во время рабочего хода раскалывается подвижной щекой. Расколотые фрагменты просыпаются через нижнюю часть зазора и собираются для использования и переработки.

Работа тестомесильной машины и ворошителя сена понятна из рис. 2.3, а. Каждую схему при изучении курса студент должен самостоятельно рассматривать, анализировать и грамотно описывать, предлагая конструктивную компоновку. Могут быть предложены в качестве задания другие несложные схемы.

## 2.2. Технические требования и показатели качества изделия

Основанием для создания и разработки нового изделия служат исходные данные, выдаваемые заказчиком. Иногда они составляются разработчиком в машиностроительной организации. На основе исходных данных разработчик составляет техническое задание (ТЗ). В исходные данные и ТЗ включаются технические требования и показатели качества, которые должны быть достигнуты будущим изделием во время приёмочных испытаний и поднадзорной эксплуатации. Эти документы и процедура организации и проведения работ выполняются на основе стандартов ЕСКД и ЕСПП.

**Технические требования** к объектам разработки включаются в исходные данные (ИД) и в техническое задание на разработку. Для каждого объекта разработки в этих документах содержится конкретное описание технологического процесса, назначение и принципиальная схема или блок-схема объекта, описание продукции, вырабатываемой изделием. Вместе с тем в них включается набор типовых показателей качества в составе, принятом для всех объектов разработки. Например, номенклатура показателей качества и характеризуемые ими свойства велосипедов приведены в табл. 2.2.

**Показатель качества продукции** – это количественная характеристика одного или нескольких свойств объекта разработки, в достаточном объёме, количественно определяющих его качество. В части требований к внешнему виду и интерьеру эти показатели могут быть описательными, качественными. Назначение показателей качества изделия является важнейшим при разработке ИД и ТЗ. При этом изучаются исходные требования на изделие и указанные в них показатели качества подвергаются тщательному анализу. Дело в том, что показатели качества должны быть достаточно высоки, чтобы обеспечить **конкурентоспособность** нового изделия: оно не должно уступать передовым отечественным и зарубежным образцам. С другой стороны, показатели должны быть достижимыми, иначе при испытаниях изделие может быть не принято, а работа не выполнена.

Таблица 2.2

*Показатели качества и характеризуемые ими свойства велосипедов*

Наименование показателя качества	Обозначения показателей качества	Наименование характеризуемого свойства
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
1. ПОКАЗАТЕЛИ НАЗНАЧЕНИЯ		
1.1. База, мм	<i>L</i>	–
1.2. Обозначение шин	–	–
1.3. Шаг цепи, м	–	–
1.4. Коэффициент лёгкости хода	–	Экономичность расхода энергии при езде
1.5. Масса, кг	<i>M</i>	Экономичность расхода энергии при езде и расхода материалов

<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<b>1.6. Число передач</b>	–	Мощность, затрачиваемая велосипедистом
<b>2. ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ</b>		
<b>2.1. Нарботка на отказ, час</b>	$T_a$	Безотказность
<b>2.2. Установленный ресурс, час</b>	$T_\beta$	Долговечность
<b>3. ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ</b>		
3.1. Обобщенный эргономический показатель (ГОСТ 16035–81), баллы	–	Соответствие конструкции антропометрическим данным, удобство пользования велосипедом (удобство руля, седла, тормозных рукояток, переключателя передач, регулирования руля и седла, грязезащищённость)
<b>4. ЭСТЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ</b>		
4.1. Обобщенный эстетический показатель, баллы	–	Информационная выразительность, рациональность форм, целостность композиции, совершенство производственного исполнения
<b>5. ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ</b>		
5.1. Коэффициент использования материала	$K_M$	Экономичность расхода материала (чёрных и цветных металлов и пластмасс)
5.2. Трудоемкость изготовления, нормо-ч	$T$	Технологичность
<b>6. ПОКАЗАТЕЛИ СТАНДАРТИЗАЦИИ И УНИФИКАЦИИ</b>		
6.1. Коэффициент применяемости материалов, %	$K_{np}$	–
6.2. Коэффициент повторяемости, %	$K_n$	–
<b>7. ПАТЕНТНО-ПРАВОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ</b>		
7.1. Показатель патентной защиты	$P_{п.з.}$	–
7.2. Показатель патентной чистоты	$P_{п.ч.}$	–
<b>8. ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ</b>		
8.1. Обобщённый показатель	–	Обеспеченность велосипеда средствами и элементами безопасности и их эффективность
<b>8.2. Тормозной путь, м</b>	$L_{mp}$	Безопасность движения
<b>9. КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ</b>		
9.1. Тип велосипеда	–	Назначение
9.2. Тип рамы	–	–
9.3. Тип втулки заднего колеса	–	–

*Примечание:* полужирным шрифтом выделены основные показатели качества, характеризующие технический уровень велосипедов.

Номенклатура показателей качества промышленной продукции, установленная Госстандартом РФ применительно к машиностроительным из-

делям, включает следующие основные показатели: назначение; экономное использование сырья, материалов, топлива и энергии; надёжность; эргономика; внешний вид; эстетика; технологичность; транспортабельность; стандартизации и унификации; патентно-правовые; экологические и техники безопасности. В некоторых случаях в этот перечень могут включаться отдельные специальные показатели (внешнего вида, комфортности, автоматизации и др.). Это, как правило, те показатели, которые необходимы заказчику и отражают специфику сферы потребления изделия.

**Показатели назначения** включают основные для изделия требования, определяющие назначение и характеризующие изделие. Эти показатели для изделий различного назначения могут быть разными, но для однотипных изделий состав показателей, в основном, совпадает.

Так, для транспортных машин в состав показателей назначения входят грузоподъёмность, пределы скорости движения, число пассажиров, ширина колеи и база, тип топлива и др. Для грузоподъёмных машин показатели назначения включают грузоподъёмность, высоту подъёма, вылет стрелы и изменение грузоподъёмности в зависимости от вылета. Для ткацкой или вязальной машины в состав показателей назначения входят ширина полотна, тип исходных нитей, тип вырабатываемых полотен, масса  $1\text{ м}^2$  полотна, скорость выпуска полотна (кинематическая и эксплуатационная), производительность ( $\text{м}^2/\text{час}$ ) и годовой выпуск ( $\text{м}^2/\text{год}$ ).

При указании показателей назначения приводят средние и предельные их значения или только предельные. Часто указывают значения показателей в связке с другими, приводимыми в том же документе.

**Показатели экономного использования** сырья, материалов, топлива и энергии влияют на экономическую эффективность применения объекта разработки. Так, показатель использования сырья позволяет определить количество сырья, применённого для изготовления годной продукции и материала, который пошел в отходы или брак. Показатели металло- и материалоёмкости определяют количество металла и различных материалов, используемых в машине (пластмассы, керамика и др.). Затраты топлива и энергии определяют их расход при эксплуатации машины. Эти показатели рассчитываются в абсолютных величинах и в отношении к объёму выпускаемой продукции (в килограммах, киловаттах, гигакалориях на килограмм вырабатываемой продукции и т. п.). В последнем случае их называют удельными показателями.

**Показатели надёжности** включают показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. Эти показатели могут в некоторых случаях определяться в период поднадзорной эксплуатации. При этом отказы, поломки фиксируются службой эксплуатации под надзором разработчиков.

**Безотказность** – свойство изделия сохранять работоспособность в течение некоторого времени в условиях нормальной эксплуатации [13]. Отказы возникают не только в результате принятия несовершенных конструктивных решений, но и в результате нарушений регулировки, засоре-

ний, заеданий, изнашивания деталей и узлов машины. Отказы вызываются и нарушением или несовершенством технологического процесса, внешними воздействиями, не предусмотренными условиями эксплуатации, дефектами изготовления деталей и узлов, а также низким качеством сырья и реагентов. Безотказность характеризуется чаще всего наработкой на отказ, которая определяется как наработка объекта от окончания восстановления его работоспособности после предыдущего отказа до следующего отказа.

Наработку на отказ  $\tau_0$  находят как отношение продолжительности периода наблюдения  $\tau_n$  к числу обнаруженных отказов  $n$  за этот же период

$$\tau_0 = \frac{\tau_n}{n}. \quad (2.1)$$

Кроме этого показателя, безотказность может оцениваться вероятностью безотказной работы и интенсивностью отказов, а для неремонтируемых изделий – наработкой до отказа.

**Долговечность** – это свойство изделия сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния (поломки, сбоя) при установленной системе технического обслуживания и ремонта [13]. В качестве показателей долговечности чаще всего принимают *срок эксплуатации до капитального ремонта* и (или) *срок службы изделия*.

**Ремонтопригодность** – это свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта [13]. Этот показатель определяется временем, затрачиваемым на восстановление работоспособного состояния объекта. Повышение ремонтпригодности достигается отработкой конструкции, применением быстросменных узлов и т. д.

**Сохраняемость** – свойство объекта сохранять заданные параметры, характеризующие способность объекта выполнять свои функции в течение определенного периода во время и после его хранения и транспортирования [13]. Сохраняемость обеспечивается конструкцией объекта и техническими мерами по его защите, консервации и упаковке.

**Показатели эргономические.** *Эргономика* (эргон – работа, номос – закон) изучает состояние и поведение человека в рабочем процессе при взаимодействии его с изделием в рабочих условиях [13].

Эргономические показатели представляют собой количественную характеристику одного или нескольких эргономических свойств изделия. В их число входят усилия на рабочих органах, оформление зон обслуживания оператора на рабочем месте и на пультах, удобство и доступность органов управления, рабочих органов и др. Количественные значения отдельных показателей устанавливаются в соответствии с нормами государственных и отраслевых стандартов Единой системы стандартов безопасности труда (ЕСБТ).

**Показатели внешнего вида (эстетические)** характеризуют композиционную целостность, выразительность, рациональность формы и культуру исполнения изделия. В этой группе могут указываться общие требова-

ния к эстетическому оформлению либо приводиться конкретные требования по отдельным узлам и элементам, например, рекомендации по выбору материала, цветовой гаммы и т. д. Эти показатели обеспечиваются обработкой контуров изделия, а также интерьера, в том числе за счет облицовок, экранов и т. п., применением высококачественных отделочных материалов и подбором цветовой гаммы отделки [43].

**Показатели транспортабельности** определяют требования к транспортировке изделия. Оно может транспортироваться в полностью собранном виде, узлами с высокой монтажной готовностью, либо в разобранном виде. Учитывается влияние транспортировки на внешнее оформление. Крупногабаритные изделия могут поставляться в виде деталей, подготовленных к сборке и сварке на месте монтажа или использования изделия. При назначении этих показателей учитывается способ транспортировки изделия (железнодорожной, автотранспортом, морем либо по рекам). Выполнение этих показателей обеспечивается соответствующей упаковкой и консервацией с учётом условий транспортировки.

**Показатели стандартизации и унификации** используются для ускорения разработки, снижения себестоимости изделия и предусматривают применение стандартных и заимствуемых деталей, узлов и агрегатов. Унификация конструктивная предусматривает приведение технических решений по изделиям и частям, выполняющим одинаковые конструктивные функции, к обоснованному минимуму типов. При этом обеспечивается возможность многократного использования отработанных решений и (или) готовых стандартных узлов, что повышает надёжность и снижает затраты на изготовление и эксплуатацию изделий.

**Показатели патентно-правовые.** Эта группа показателей включает патентную чистоту и патентную защищённость.

**Патентная чистота** означает, что технологический процесс, изделие и его элементы могут поставляться в определённую страну или страны, не подпадая под действующие в них патенты. Патентно-чистые изделия не защищены от конкурентов, и они могут воспроизводиться любой фирмой при наличии необходимости. Патентная чистота достигается в результате патентной проверки разрабатываемого изделия и его основных составных частей по странам возможного производства и эксплуатации будущего изделия в соответствии со специальным регламентом патентного поиска с указанием стран, классов патентной классификации и периода поиска.

**Патентная защита** изделия в определенных странах обеспечивается получением в них патентов на главные составные части изделия (технология, само изделие, основные узлы) с патентной чистотой по второстепенным частям и комплектующим. Патентная защита предотвращает возможность повторения, копирования конкурентами изделия или недобросовестного использования его главных частей, которые создают основное преимущество поставляемого изделия. Патентная защита обеспечивается патентованием технологии и основных конструктивных решений по интере-

сующим разработчика и изготовителя изделия странам поставки изделия, а также промышленных образцов.

**Экологические показатели** характеризуют уровень вредных воздействий на окружающую среду, возникающих при эксплуатации или потреблении изделия. В состав этих показателей входят значения концентраций вредных соединений (газов, пыли и др.) в воздушных и водных сбросах, общее количество выделяющихся вредных химических веществ, данные о радиоактивных загрязнениях водного, воздушного бассейнов, земли, подземных вод, данные об электромагнитных излучениях, тепловых выделениях и др.

Эти показатели не должны превышать предельно допустимых концентраций вредного вещества в окружающей среде (ПДК) и на рабочем месте и его предельно допустимых выбросов (ПДВ), создаваемых при эксплуатации изделия. ПДК устанавливаются государственными санитарными нормами для конкретных веществ и соединений, а ПДВ назначаются для каждого изделия или промышленного объекта в проекте или в технической документации.

**Показатели безопасности** отражают свойство объекта при его нормальном функционировании или нарушении работоспособного состояния не создавать угрозу для жизни и здоровья людей, а также окружающей среде. Безопасная для жизни людей работа любого объекта актуальна на протяжении всего периода его функционирования. Поэтому при разработке различных объектов указываются требования, которые должны быть выполнены в машиностроительном изделии. К ним относятся показатели шума и вибрации, освещённость, показатели, характеризующие санитарно-гигиенические условия работы на рабочем месте (состояние атмосферы цеха, химические, радиационные и другие воздействия), определяемые стандартами системы ЕСБТ, санитарными нормами и др.

Весь набор показателей качества, который назначен для изделия, обеспечивается комплексом технических мер (устройства, узлы, системы контроля и др.), реализуемых конструктором при его разработке. В процессе разработки все требования заявки и исходных данных, а также технического задания должны быть обеспечены и подтверждены. Особенно это касается приемочных испытаний, на основании которых решается вопрос об успешном или неуспешном завершении работы.

## Раздел 3. СТРУКТУРА И ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ ИЗДЕЛИЙ

### 3.1. Построение компоновок машиностроительного изделия по его структуре

Машиностроительные изделия очень разнообразны и широко используются в различных отраслях техники, в науке, медицине, быту и т. д. Это и транспортные машины (автомобили, локомотивы, подвижной состав), самолёты, суда, химические и пищевые аппараты, текстильные, строительные, горнодобывающие машины, металлургическое, металлообрабатывающее оборудование и др.

Несмотря на такое разнообразие, все эти изделия состоят из ряда основных узлов одинакового или близкого назначения, отличающиеся некоторыми особенностями, вызванными спецификой области применения изделия. Так, для транспортных машин имеет значение вес составляющих их узлов, для металлорежущих станков очень важна жёсткость узлов, обеспечивающих форму и точность размеров изделия, для химических аппаратов важна стойкость к воздействию коррозионно-активных сред, давления и температуры. Тем не менее, все изделия будут иметь набор близких по назначению узлов с учётом особенностей функционального назначения этих изделий.

К числу этих основных узлов следует отнести рабочие органы, передаточные механизмы, редукторы, двигатели, опорные каркасы, органы управления и др. В процессе разработки изделия при выполнении проектных этапов (техническое предложение, эскизный проект, технический проект) конструктор на основе техзадания, изучения аналогов и предложенной схемы прорабатывает на эскизах варианты компоновки изделия из упомянутых основных узлов. *Эскиз* – это схематическое изображение объекта разработки с максимально допустимыми упрощениями. Они могут выполняться от руки или на компьютере. Устройство самих узлов также изображается схематически. Заимствованные узлы и комплектующие изображаются контурными линиями.

После этого на основе технического задания определяются внешние нагрузки, преодолеваемые изделием. Затем для каждого варианта по кинематической схеме определяются скорости и число оборотов каждого звена, а также проводится силовой анализ. На основании кинематического анализа подбираются или прорабатываются передачи (редуктор, передачи с гибкой связью), а по результатам силового анализа проводятся расчёты основных размеров узлов и деталей, обеспечивающих их прочность. Все расчёты являются прикидочными, ориентировочными. На их основе для каждого изделия выбирается несколько вариантов компоновок, которые прорабатываются более подробно и основательно. Это делается для выбора наиболее оптимального варианта.

Кроме разработки эскизов, в отдельных случаях проводят макетирование. *Макет* – это образец изделия, представляющий его копию, часто упрощённую, в заранее выбранном масштабе. Масштаб назначают умень-

шающий, увеличивающий или натуральный (1:1) в зависимости от назначения макета. Макетирование применяют для лучшего выбора расположения частей изделия и для выяснения возможностей размещения изделий в выделенном помещении. Способ макетирования вследствие его наглядности позволяет правильно и довольно быстро решить все возникающие проблемы компоновки.

В случае оценки удобства обслуживания машины, доступности органов управления, обзора приборов, рабочего пространства, например при отработке устройства станков, салона, кабины транспортных средств и др., макетирование применяется очень часто. Макеты изготавливают из легкообрабатываемых, дешёвых материалов (дерево, пластик, картон и др.).

В ряде случаев применяется моделирование машины или её отдельных узлов. *Моделирование* – это исследование на лабораторных моделях физических, химических процессов в машине, аппарате или их работы в условиях, приближенных к реальным. Иногда применяют математическое моделирование. Также часто некоторые механические процессы движения тел можно изучать, пользуясь специально построенными электрическими схемами. Результаты моделирования непосредственно используют в разработках или используют методы теории подобия.

В настоящее время компьютерные средства всё шире внедряются в процесс конструирования и на проектных этапах они используются для разработки эскизов, расчётов, а также для макетирования и моделирования, однако следует эти средства рассматривать как полезный инструмент. Их использование в разработке машин и аппаратов не должно заслонять суть и смысл создаваемых машин, аппаратов, приборов, явлений и процессов, происходящих в них.

При разработке каждого варианта следует по возможности максимально использовать освоённые предприятием ранее или серийно выпускаемые узлы и комплектующие (редукторы, вариаторы, крепёжные изделия, подшипники, цепи, плоские и клиновые ремни и др.).

Для иллюстрации изложенного рассмотрим схематические изображения компоновок нескольких изделий. На рис. 3.1 изображена компоновка токарного станка.

На этой компоновке располагаются двигатель 1, рабочие органы 4, корпусные детали (корпуса коробок, задней бабки, станина), а также передачи и их элементы (коробки скоростей и подач, механизм фартука, ходовой винт). Приведённая компоновка станка является традиционной. Тем не менее, в неё при проработке вариантов могут быть внесены некоторые изменения. Например, для снижения габаритов двигатель может быть помещён за станком в области коробки подач, под коробкой подач или под станиной. Станину, корпус задней бабки и коробки подач для снижения вибраций при обработке можно выполнить из гранита или керамогранита.

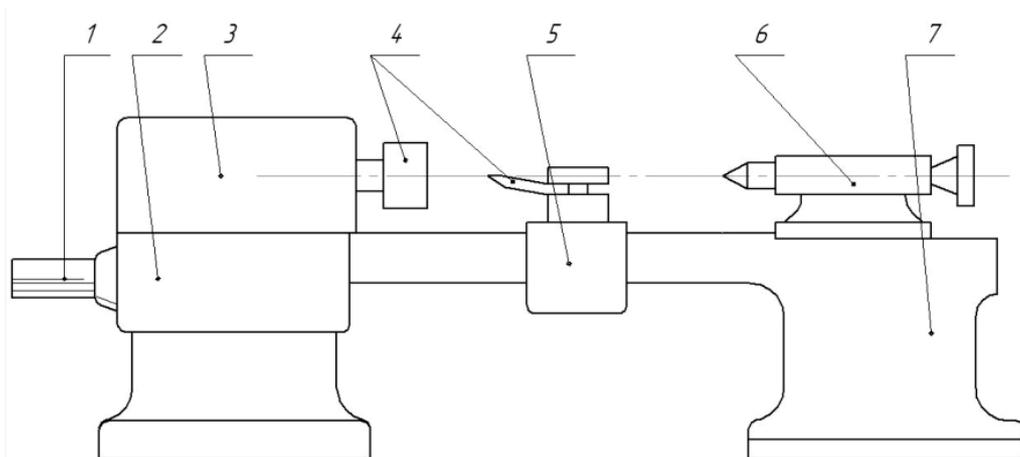


Рис. 3.1. Структура металлорежущего станка: 1 – двигатель; 2, 3, 5 – передаточные и функциональные звенья (коробки подач и скоростей, суппорт); 4 – рабочие органы (шпиндель с патроном); 6 – задняя бабка; 7 – станина (основание)

В компоновке бульдозера (рис. 3.2) предусмотрены два варианта расположения основных узлов. На рис. 3.2, а двигатель расположен впереди кабины, а на рис. 3.2, б он помещён за кабиной. Оба варианта должны иметь массу, обеспечивающую силу сцепления гусениц с грунтом, достаточную для восприятия силы, действующей на отвал (рабочий орган) вследствие перемещения грунта и других грузов. После проведения необходимых расчётов и конструктивной проработки и оценки эксплуатационных качеств всех вариантов выбирается оптимальный вариант и разрабатываются рабочие чертежи.

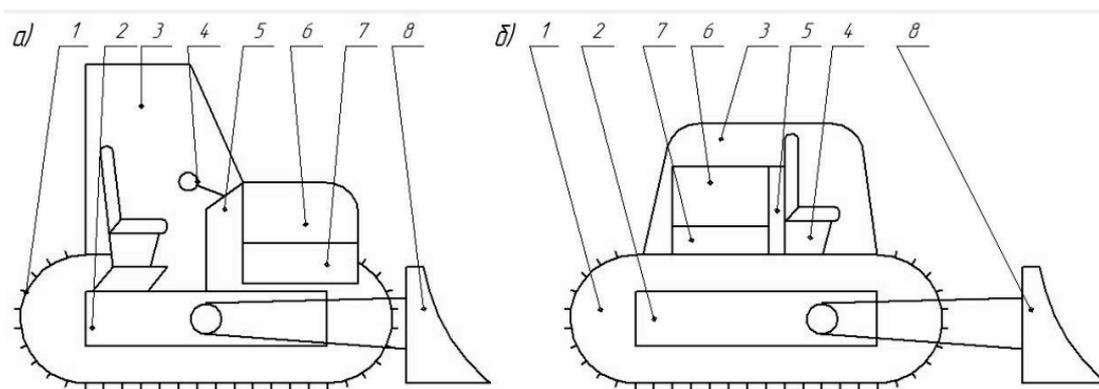


Рис. 3.2. Компоновка бульдозера: 1 – гусеницы (движитель); 2 – рама; 3 – кабина; 4 – органы управления; 5 – коробка передач; 6 – двигатель; 7 – гидропривод отвала; 8 – отвал (рабочий орган)

На рис. 3.3 показаны три варианта компоновки химического аппарата. На рис. 3.3, а изображена схема аппарата с пропеллерной мешалкой 4, приводимой в действие приводом 1, размещенным на крышке 3. Вал мешалки крепится в подшипниковой опоре 2. На рис. 3.3, б приведена схема аппарата с размещением мешалки 4 на валу мотор-редуктора 1. Валы мешалки 4 (по рис. 3.3, а) и мотор-редуктора 1 (по рис. 3.3, б) должны быть снабжены сальниками.

У аппарата, выполненного по схеме (рис. 3.3, а), привод и сальник, расположенные на крышке, монтируются и эксплуатируются более просто и легко. При появлении неплотности сальника он при давлении в аппарате будет пропускать газы, находящиеся в аппарате, а не жидкость. Недостатком этой схемы является возможность колебаний длинного вала.

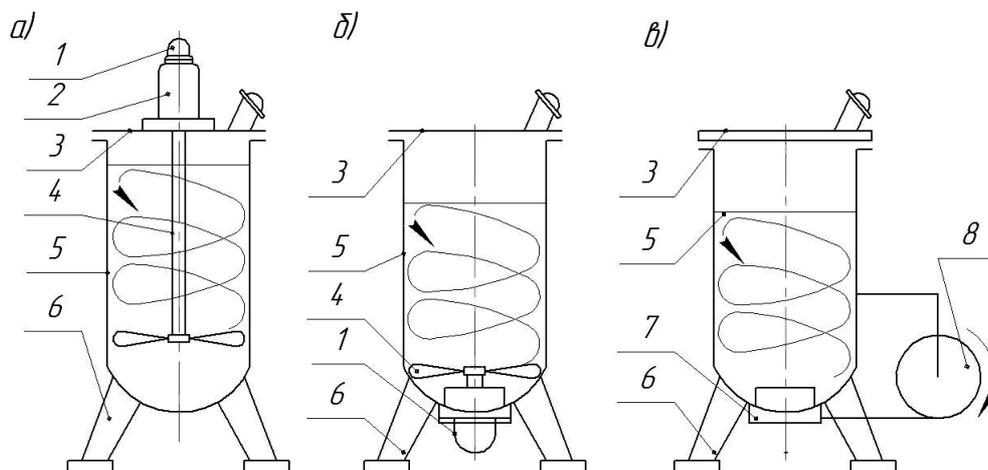


Рис. 3.3. Примеры компоновки химического аппарата: 1 – мотор-редуктор, 2 – подшипниковая опора мешалки; 3 – крышка аппарата; 4 – мешалка; 5 – корпус аппарата; 6 – лапы-опоры; 7 – струйное гидродинамическое устройство; 8 – насос

Аппарат, выполненный по схеме (рис. 3.3, б), не имеет длинного вала, отсутствует необходимость в дополнительной опоре вала мешалки. Однако при преимуществе в простоте конструкции имеется у этого аппарата опасность появления утечки раствора из аппарата через сальник вследствие его износа.

У аппарата, выполненного по схеме (рис. 3.3, в), механическая мешалка заменена струйным гидродинамическим устройством 7 (рис. 3.4). В этом устройстве, как указано на схеме, жидкость из аппарата 5 подаётся тангенциально в нижнюю камеру смесителя, расположенную вне аппарата, и движется в ней вдоль стенок камеры и вытекает в аппарат 5 через сопла, расположенные в верхней камере также тангенциально. Спиральные потоки в аппарате осуществляют гидродинамическое перемешивание. Достоинством этой схемы является отсутствие вращающихся деталей внутри аппарата. Это упрощение аппарата требует установки стандартного насоса 8. Возможны и другие варианты компоновки аппарата, здесь не рассмотренные.

По приведённым выше схемам проводятся необходимые расчёты и проработки, выполняется анализ и выбор оптимального варианта.

На основании вышеизложенного можно сформулировать следующий порядок разработки вариантов компоновки для каждого изделия при выполнении проектных этапов. При этом на основании исходных данных технического задания и выбранных аналогов выбирается несколько вариантов технологических или кинематических схем устройства, подлежащего разработке. После этого по схеме можно выделить основные функцио-

нальные узлы для каждого из вариантов, между которыми устанавливаются связи одностороннего и двухстороннего действия.

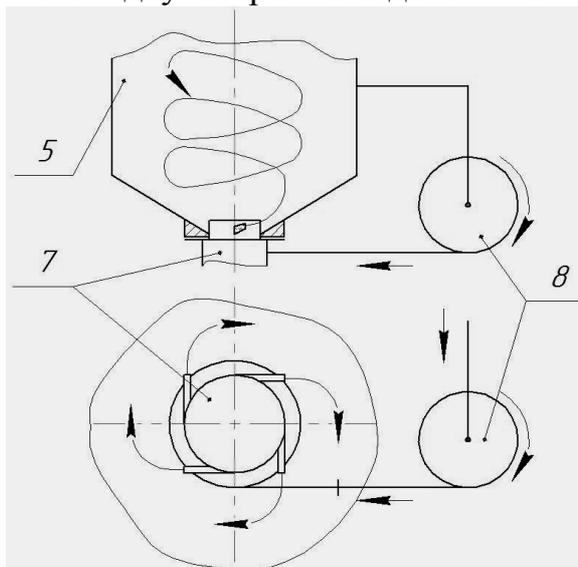


Рис. 3.4. Схема струйного перемешивающего устройства (обозначения по рис. 3.3)

Набор звеньев (узлов) и характер связей определяется функциональным назначением, типом и условиями эксплуатации изделия. Выбор узлов проверяется и подтверждается необходимыми расчётами. Этот набор узлов может быть расширен. Количество вариантов определяется сложностью, важностью и стоимостью изделия.

### 3.2. Основные узлы и детали машиностроительных изделий

К основным составным частям машиностроительных изделий (машинам, приборам, сосудам, аппаратам, инструментам и т. д.) относятся следующие узлы, механизмы, детали и др.:

- рабочие органы;
- двигатели;
- передачи (передаточные механизмы, редукторы, вариаторы);
- соединения (шпоночные, шлицевые, штифтовые, крепёжные, заклёпочные, сварные);
- валы, оси, опоры, уплотнения;
- корпуса, станины, опорные элементы.

Все эти составные части в разных изделиях соединяются в соответствии со схемой изделия, и в определённых типах изделия имеет место некоторая специфика использования составных частей.

#### 3.2.1. Рабочие органы

Рабочие органы машиностроительных изделий предназначены для выполнения этим изделием полезной работы (передвижение транспортного средства, обработка металлов и материалов, грунта, горных пород, перемешивание и измельчение различных сред и т. п.) в соответствии с его целевым назначением.

В связи с широким разнообразием изделий машиностроения их рабочие органы также различны. Так, в транспортных машинах рабочими органами являются движители – устройства, создающие движения машины (колёса, гусеницы, пропеллерные винты, реактивная сила и др.). В металлорежущих станках рабочими органами могут служить резцы, фрезы, протяжки, абразивные круги и другие режущие инструменты. Функции рабочих органов землеобрабатывающих машин выполняют лемеха, диски, колки, рыхлительные роторы и др. В химических аппаратах и машинах рабочие органы не менее разнообразны. В перемешивающих устройствах для жидких сред применяют различные мешалки (пропеллерные, рамные, турбинные), сопловые устройства и др. В машинах для измельчения твёрдых веществ (руда, уголь, другие виды сырья) используют ударные органы, шары и др.

При взаимодействии рабочих органов с обрабатываемой и перерабатываемой средой, с опорными поверхностями в процессе эксплуатации изделия на его элементы воздействуют внешние рабочие усилия (нагрузки). Устройство рабочих органов, процессы их взаимодействия с перерабатываемыми материалами, опорными средами (вода, воздух, грунт и т. п.) изучаются в специальных дисциплинах (технология машиностроения, горные машины, сельхозтехника, резание металлов, процессы и аппараты химпроизводства и др.). В этих и других дисциплинах рассматриваются и излагаются подход и методики расчёта нагрузок на рабочие органы и на изделие в целом. Так, при разработке машиностроительного изделия расчёт рабочих нагрузок и требуемой мощности является первым шагом при выполнении проектных и конструкторских этапов работы, если эти нагрузки не заданы в техническом задании и в исходных данных.

Данная монография не может повторить, а тем более заменить учебники, техническую и справочную литературу по общемашиностроительным и специальным дисциплинам. Наша задача – напомнить этапы и порядок выполнения определённых видов работ (создание эскизов, расчёты и т. п.) в ходе выполнения проектных и конструкторских этапов создания изделий машиностроения. Поэтому в качестве примеров определения рабочих нагрузок будет рассмотрен методический подход к их расчёту при создании металлорежущих станков, горных машин, фермы мостового крана и перемоточных устройств для производства химволокна. Дополнительно в ряде случаев рассмотрим расчёты кинематики и статики механизмов, воспринимающих рабочие нагрузки (коробки скоростей и подачи станка, привод буровой головки и др.).

#### ***Расчёт кинематики коробки скоростей и подачи токарного станка, определение рабочих нагрузок и мощности главного привода***

В исходных данных и техническом задании на станок обычно указываются следующие сведения:

1. Тип обработки (токарная, фрезерная, сверлильная и др.).
2. Номенклатура обрабатываемых материалов и режущих инструментов.
3. Высота центров  $h_c$  и расстояние между центрами  $L$ .
4. Число ступеней передач и числа оборотов в коробках станка.

На основе исходных данных и технического задания устанавливаются значения факторов резания и определяются предельные значения скоростей резания, чисел оборотов, усилий резания и мощность станка с использованием справочной литературы по расчету режима резания [40] в следующем порядке:

1. Устанавливаются для обработки разных материалов и видов обработки (чистовая и черновая) предельные значения подач  $s - s_{\min}$  и  $s_{\max}$ .

2. Устанавливаются максимальное ( $D_{\max}$ ) и минимальное значения диаметра ( $D_{\min}$ ) обрабатываемой детали:

$$D_{\max} = (1,5 \dots 1,9) h_y, \quad (3.1)$$

где  $h_y$  – высота центров станка;

$$D_{\min} = (0,1 \dots 0,12) \cdot D_{\max}. \quad (3.2)$$

Устанавливаются максимальные и минимальные значения глубины обработки  $t - t_{\max}$  и  $t_{\min}$ :

$$t_{\max} = C_t \cdot D_{\max}^{0,33}; \quad (3.3)$$

$$t_{\min} = 0,7 + 0,025 \cdot D_{\min}^{0,5} + 0,001 \cdot L, \quad (3.4)$$

где  $C_t$  – коэффициент глубины обработки;  $L$  – расстояние между центрами.

3. Аналогично с использованием справочной литературы по механической обработке устанавливаем максимальное и минимальное значение подач  $s_{\min}$  и  $s_{\max}$  [40].

4. Определяются максимальное ( $V_{\max}$ ) и минимальное значения скорости резания ( $V_{\min}$ ).

Максимальную скорость резания ( $V_{\max}$ ) находят для чистовой обработки легкообрабатываемых материалов инструментом с максимальной износостойкостью (металлокерамика), а минимальную скорость резания ( $V_{\min}$ ) определяют для черновой обработки труднообрабатываемых материалов наименее износостойким инструментом.

Скорость резания ( $V$ ) при наружном точении находят по формуле теории резания [40]

$$V = \frac{C_{v1}}{T^m \cdot t^x \cdot s^y \cdot \left(\frac{HB}{200}\right)^n}, \quad (3.5)$$

где  $C_{v1}$  – скоростной коэффициент;  $T$  – время стойкости инструмента, мин;  $HB$  – твердость обрабатываемого материала по Бринеллю;  $m, x, y, n$  – показатели степени при факторах резания.

Величина коэффициента учитывается рядом поправочных коэффициентов  $k_1 \dots k_9$ .

5. Аналогично определяются максимальное и минимальное значения  $i$ , равной тангенциальной и осевой составляющей силы резания –  $Pz_{\max}$  и  $Px_{\max}$ . Расчёт проводят по формулам теории резания [40]:

$$Pz_{\max} = C_1 \cdot t_{\max}^x \cdot s_{\max}^y \cdot HB_{\max}^n; \quad (3.6)$$

$$P_{x_{\max}} = C_3 \cdot t_{\max}^x \cdot s_{\max}^y \cdot HB_{\max}^n, \quad (3.7)$$

где  $C_1$  и  $C_3$  – силовые коэффициенты.

6. По найденным в п. 4 предельным значениям  $V_{\max}$  и  $V_{\min}$  с учётом установленных в п. 2 предельных значений  $D_{\max}$  и  $D_{\min}$  определяют предельные числа оборотов шпинделя станка  $n - n_{\max}$  и  $n_{\min}$ :

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot V_{\max}}{\pi \cdot D_{\min}}; \quad (3.8)$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot D_{\max}}. \quad (3.9)$$

Расчётный диапазон регулирования коробки скоростей:

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}. \quad (3.10)$$

С учётом прогресса технологии обработки и совершенствования режущего инструмента расчётный диапазон регулирования увеличивают на 20–25 %.

7. По найденным значениям  $V_{\max}$ ,  $Pz_{\max}$  и  $Px_{\max}$  находят эффективную, необходимую для обработки мощность

$$N_{\text{эф}} = Pz_{\max} \cdot V_{\max} + Px_{\max} \cdot \frac{s_{\max} \cdot n_{\max}}{1000}. \quad (3.11)$$

Затем определяется мощность станка

$$N_{cm} = \frac{k}{\eta} \cdot N_{\text{эф}}, \quad (3.12)$$

где  $k$  – коэффициент повторно-кратковременной перегрузки ( $k = 1, 2 \dots 1,3$ );  $\eta$  – коэффициент полезного действия, равный 0,75–0,85.

Как видно из изложенного, пределы скоростей, силы резания и мощность обработки рассчитывают на основе положений теории резания для конкретного вида обработки и исходных данных. Рассчитанные пределы числа оборотов и установленные пределы подач, число ступеней подач и скоростей используются при разработке структуры коробок скоростей и подач и при расчёте их кинематики. Значения усилий и мощности станка используются при расчёте элементов коробок скоростей и подач (шестерен, валов, подшипников и др.).

Приведём формулы моментов сопротивления на валу для привода некоторых машин.

- Для насосов:

$$M_c = \frac{K_3 g \rho Q (H_c + \Delta H)}{\eta_H \omega_H \eta_{II}^i}, \quad (3.13)$$

где  $M_c$  – момент сопротивления на валу асинхронного двигателя (АД), Н·м;  $K_3$  – 1,1–1,3 – коэффициент запаса;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;  $\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $Q$  – производительность насоса, м<sup>3</sup>/с;  $H_c$  – статический напор, м;  $\Delta H$  – потери напора в

трубопроводе, м;  $\eta_H = 0,45-0,75$  – КПД насоса;  $\omega_H$  – частота вращения насоса, рад/с;  $\eta_{II}$  – КПД передачи;  $i$  – передаточное число предполагаются известными.

- Для вентиляторов:

$$M_c = \frac{K_3 Q H}{\eta_B \omega_B \eta_{II} i}, \quad (3.14)$$

где  $K_3 = 1,1-1,5$  – коэффициент запаса;  $Q$  – производительность вентилятора, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – напор (давление) воздуха (газа), Па;  $\eta_B = 0,4-0,85$  – КПД вентилятора;  $\omega_B$  – частота вращения вентилятора, рад/с.

- Для лебёдки:

$$M_c = \frac{GR}{i\eta}, \quad (3.15)$$

где  $G$  – сила тяжести поднимаемого груза, Н;  $R$  – радиус барабана для навивки каната, м.

Расчётный момент на валу АД, Н·м,

$$M_{расч} \geq K_3 \cdot M_{сэ}, \quad (3.16)$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий повышение токов и моментов АД;  $M_{сэ}$  – момент сопротивления нагрузки эквивалентный, Н·м.

Если момент нагрузки не изменяется во времени, то  $M_{сэ} = M_c$ , а если он изменяется во времени и нагрузочная диаграмма имеет несколько участков, то  $M_{сэ}$  определяется как среднеквадратичная величина по формуле:

$$M_{сэ} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (M_{ci}^2 \cdot \tau_i) / \tau_{ц}}, \quad (3.17)$$

где  $M_{ci}$ ,  $\tau_i$  – момент и длительность  $i$ -го участка нагрузочной диаграммы соответственно;  $\tau_{ц}$  – полное время цикла нагрузки.

Расчётная мощность привода, кВт:

$$N_{расч} = M_{расч} \cdot \omega_{расч} = K_3 \cdot M_{сэ} \cdot \omega_{уст}, \quad (3.18)$$

где  $M_{расч}$  – расчётный момент на валу, Н·м;  $\omega_{расч}$  – расчётная частота вращения асинхронного двигателя (АД), если частота вращения исполнительного органа не регулируется, то расчётная частота вращения равна установившейся, т. е.  $\omega_{расч} = \omega_{уст}$ .

Имеются формулы и для непосредственного определения мощности АД для различных механизмов, которые приведены ниже.

Мощность для привода насоса можно рассчитать по формуле:

$$N_{np} = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot K_3}{102 \cdot \eta_n \cdot \eta_n}, \quad (3.19)$$

где  $N_{np}$  – мощность двигателя, кВт;  $H$  – дифференциальный напор столба подаваемой жидкости, м;  $K_3$  – коэффициент запаса, который рекомендуется принимать равным: при мощности двигателя до 50 кВт – 1,2; при мощности двигателя 50–350 кВт – 1,15; при мощности свыше 350 кВт – 1,1.

Дифференциальный напор вычисляется по формуле:

$$H = h_B + h_H + h_{II}, \quad (3.20)$$

где  $h_B$  – высота всасывания – расстояние по вертикали от уровня воды водозабора до насоса, м;  $h_H$  – высота нагнетания – расстояние по вертикали от насоса до выпуска воды из трубы, м;  $h_{II}$  – высота, соответствующая потерям напора в системе, или динамический напор, м.

Приближённая величина динамического напора может быть вычислена по формуле:

$$h_{II} = \frac{g^2}{2 \cdot g} \lambda_1 \frac{L}{d} + \lambda_2 + \lambda_3, \quad (3.21)$$

где  $h_{II}$  – потери напора, или динамический напор, м;  $g$  – скорость движения жидкости, м/с;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $\lambda_1$  – коэффициент сопротивления, зависящий от скорости движения жидкости (для воды см. табл. 3.1);  $\lambda_2$  – коэффициент сопротивления в коленах трубы, зависящий от диаметра трубы и радиуса закругления (для воды см. табл. 3.2);  $\lambda_3$  – коэффициент сопротивления, равный для клапанов 0,49 и для задвижек – 0,063;  $L$  – длина трубопровода, м;  $d$  – диаметр трубы, м.

Таблица 3.1

*Значение коэффициента  $\lambda_1$  для воды*

v, м/с	0,05	0,1	0,2	0,3	0,55	1,0	2,0	3,0	6,0
$\lambda_1$	0,057	0,044	0,036	0,032	0,028	0,024	0,021	0,02	0,018

Таблица 3.2

*Значение коэффициента  $\lambda_2$  для воды*

d/r	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
$\lambda_2$	0,13	0,14	0,16	0,21	0,29	0,44	0,98	1,98

*Примечание:* r – радиус закругления колена трубы; d – диаметр трубы.

Мощность привода вентилятора определяется по формуле:

$$N_{np} = \frac{Q \cdot H \cdot K_3}{102 \cdot \eta_B \cdot \eta_n}, \quad (3.22)$$

где  $N_{np}$  – мощность двигателя, кВт;  $K_3$  – коэффициент запаса, принимаемый равным: для асинхронного двигателя (АД) до 1 кВт – 2,0; для АД до 2 кВт – 1,5; для АД до 5 кВт – 1,25 и свыше 5 кВт – 1,1;  $\eta_n$  – КПД передачи (при её наличии), принимается равным: для ремённой передачи – 0,85–0,9; для клиноремённой – 0,97–0,98; зубчатой – 0,98; для непосредственного соединения АД с вентилятором с помощью муфты – 1,0.

Мощность двигателя для привода горизонтального ленточного транспортёра без промежуточных сбрасывателей может быть определена по формуле:

$$N_{np} = \frac{Q \cdot L \cdot K_{mp}}{367 \cdot \eta_n}, \quad (3.23)$$

где  $Q$  – производительность транспортёра, т/ч;  $L$  – рабочая длина транспортёра, м;  $K_{mp}$  – коэффициент трения; при подшипниках качения он равен 0,01–0,05.

Мощность двигателя для транспортёров скребковых и винтовых (шнеков) определяется по формуле:

$$N_{np} = \frac{Q \cdot K_2}{367 \cdot \eta_n} (K_c \cdot L_2 + H), \quad (3.24)$$

где  $K_2$  – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления при пуске транспортёра, принимается равным 1,2–1,5;  $\eta_n$  – КПД передачи, принимается как в предыдущей формуле;  $K_c$  – коэффициент сопротивления материала, который для малоабразивного материала (каменный кусковой уголь, поваренная соль и т. п.) принимается по табл. 3.3;  $L_2$  – расстояние перемещения груза, м;  $H$  – высота подъёма груза, м. Коэффициент  $K_c$  в зависимости от материалов принимается для шнеков по табл. 3.4.

Таблица 3.3

*Значение коэффициента  $K_c$  в зависимости от материалов для шнеков*

Материал	Значение $K_c$
неабразивный (зерно и т. д.)	1,85–2,0
малоабразивный	2,5
абразивный (гравий, песок, цемент и т. п.)	3,2
сильноабразивный и липкий (зола каменного угля, известь, формовочная земля и т. п.)	4,0

Таблица 3.4

*Значение коэффициента  $K_c$  в зависимости от производительности скребковых транспортёров со скользящими цепями*

Производительность, т/ч	$K_c$	Производительность, т/ч	$K_c$
4,5	4,2	27	1,9
9,0	3,0	36	1,7
18,0	2,25	46	1,6

Используя таблицы 3.3 и 3.4 находят значение коэффициента  $K_c$ , который подставляется в формулу 3.24 для нахождения мощности двигателя.

### 3.2.2. Двигатели механизмов и машин

Двигатели используют для приведения в движение механизмов, машин, узлов аппаратов и других устройств. Широко для этих целей применяют двигатели электрические, гидравлические, пневматические, двигатели внутреннего сгорания и двигатели, использующие возобновляемые источники энергии (силу ветра, падающей воды, прилива). Наиболее распространены электрические двигатели. Электродвигатель – основной элемент электропривода рабочих механизмов и машин. Хорошая управляемость электрической энергии, простота её распределения позволили широко применить многодвигательный привод рабочих машин, когда отдельные звенья рабочей машины приводятся в движение самостоятельными двигателями, например, станки с ЧПУ, современные автомобили, химические и текстильные агрегаты, горные и зерноуборочные машины и др. Около 70 % электроэнергии используется путём преобразования электрической энергии в механическую с помощью электродвигателей [26].

В народном хозяйстве в основном применяются асинхронные, синхронные двигатели и двигатели постоянного тока. Области применения их весьма широки – от приводов устройств автоматики и бытовых электроприборов до приводов крупного горного оборудования (горных машин, экскаваторов, дробилок и т. п.).

### *Асинхронные двигатели*

Наиболее широко применяются асинхронные двигатели, что объясняется их надёжностью в работе, простотой конструкции и удовлетворительными рабочими характеристиками.

Асинхронный двигатель без нагрузки на валу обладает синхронной частотой вращения вала ротора

$$n_1 = f \cdot \frac{60}{p}, \quad (3.25)$$

где  $f$  – синхронная частота сети;  $p$  – число пар полюсов статора.

Особенностью асинхронного двигателя является снижение частоты вращения ротора под нагрузкой. Разность частот вращающегося поля статора  $n_1$  и частоты вращения ротора  $n_2$  определяется скольжением  $s$

$$s = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}; \quad (3.26)$$

$$n_2 = n_1(1 - s). \quad (3.27)$$

Для асинхронных двигателей при номинальной нагрузке номинальное скольжение  $s_{ном} = 1-8\%$ . При этом для двигателей большой мощности  $s_{ном} = 1\%$ ,  $n_2 = 1485$  об/мин (при  $n_1 = n_{синхр} = 1500$  об/мин), а для двигателей малой мощности  $s_{ном} = 8\%$ ,  $n_2 = 1380$  об/мин при той же синхронной частоте. Это обстоятельство следует учитывать при разработке приводов машин, и если изменение частоты вращения рабочих органов и двигателя недопустимо, то необходимо применять синхронные двигатели или двигатели постоянного тока.

Поэтому значительная часть асинхронных двигателей применяется для приводов механизмов с неизменной частотой вращения. Так, например, до 80% всех асинхронных двигателей общепромышленного назначения используют для приводов насосов, вентиляторов, транспортёров и обрабатывающих станков – устройств, не требующих регулирования частоты вращения приводного двигателя.

Электрические машины, в том числе и асинхронные двигатели, выпускаются сериями, представляющими собой ряд электрических машин возрастающей мощности, имеющей однотипную конструкцию и удовлетворяющей общему комплексу требований. Двигатели, предназначенные для массового применения, выпускаются едиными сериями, при разработке которых предусмотрен высокий уровень унификации деталей и узлов и их максимальная взаимозаменяемость. Наряду с едиными сериями промышленностью изготавливаются и другие серии двигателей, главным образом, специального назначения: краново-металлургические, судовые, тяговые и т. п.

Серия трёхфазных асинхронных двигателей 4А предназначена для применения во всех отраслях и, помимо основного, имеет несколько электрических модификаций и специализированных исполнений. Единая серия 4А охватывает диапазон мощностей от 0,06 до 400 кВт.

В настоящее время создана и осваивается серия АИ. Эта серия разработана совместно со странами Интерэлектро. Она представляет собой унифицированную серию двигателей, которая должна заменить серию 4А. Новая серия охватывает диапазон мощностей от 0,025 до 400 кВт [21; 36; 48]. Двигатели серии имеют улучшенные энергетические, пусковые и виброакустические характеристики. В них снижен расход меди, электротехнической стали и конструкционных материалов. Двигатели обеих серий изготавливаются на синхронные частоты вращения 3000, 1500, 1000, 750, 600 и 500 об/мин в двух исполнениях: закрытый обдуваемый и защищённый с внутренней самовентиляцией (рис. 3.5). Они изготавливаются с фазным и короткозамкнутым ротором, могут иметь разную нагревостойкость.

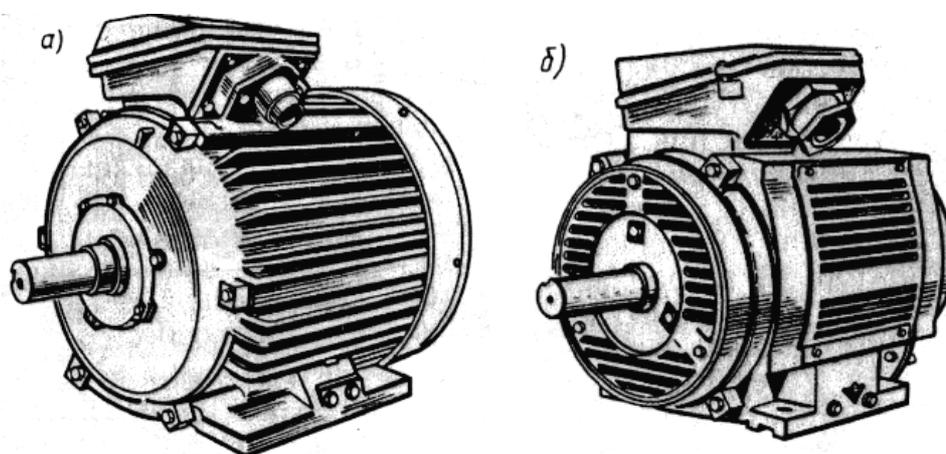


Рис. 3.5. Асинхронные двигатели серии 4А: а – закрытого обдуваемого исполнения; б – защищённого исполнения

Двигатели основного исполнения предназначены для приводов механизмов, не предъявляющих особых требований к пусковым характеристикам, скольжению и т. д. Они применяются для работы в атмосфере, не содержащей взрыво- и пожароопасных сред, токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров, способных вызвать коррозию металла и разрушение изоляции. Двигатели предназначены для работы от сети частотой 50 Гц и с напряжением 220–660 В в зависимости от их мощности.

Выпускаются следующие электрические модификации двигателей:

- с повышенным скольжением, что обеспечивает мягкую механическую характеристику;
- с повышенным пусковым моментом;
- многоскоростные – на 2–4 частоты вращения в диапазоне 500–3000 об/мин;
- двигатели на частоту сети 60 Гц.

По конструктивному исполнению электротехнической части двигатели разделяют на малошумные, встраиваемые в станки и механизмы, со встроенной температурной защитой. По условиям окружающей среды дви-

гатели разделяются на двигатели тропического исполнения, влагоморозостойкого исполнения, химстойкого, взрыво- и пожаробезопасного исполнения.

По способу монтажа и расположению конца вала двигатели выпускают в различном конструктивном исполнении: с креплением на лапах, с лапами и фланцем на крышке (подшипниковом щите) двигателя, с двумя или одним фланцем, для вертикального расположения, с одним или двумя выходными концами вала ротора и т. п. (рис. 3.6).

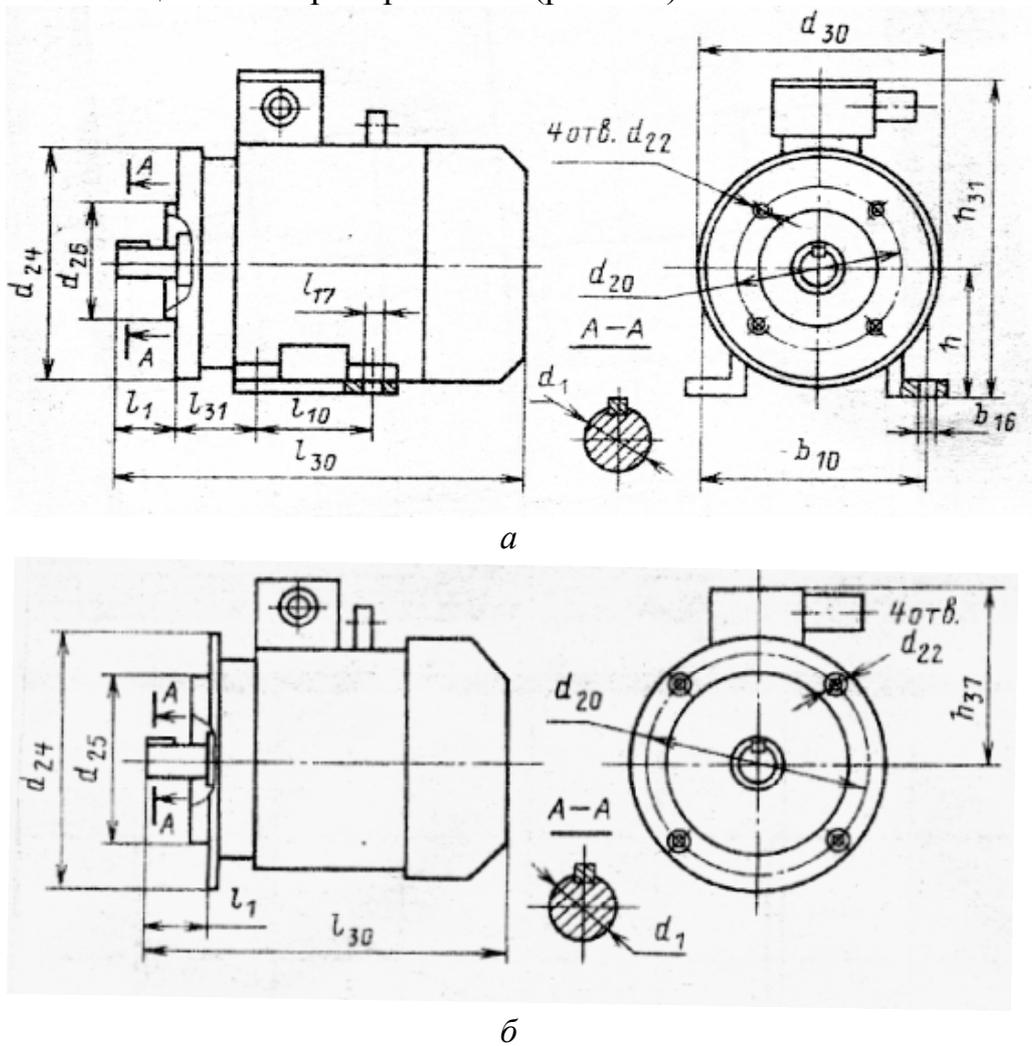


Рис. 3.6. Габаритные, установочные и соединительные размеры серии АИР:  
а – исполнение JM3081; б – исполнение JM2181

Таким образом, электродвигатель выбирается по требуемой мощности, частоте вращения, конструктивному исполнению по условиям монтажа (на лапах, фланцевый и т. п.), степени защиты в соответствии с условиями его эксплуатации (взрывоопасность, сырость, агрессивная среда и др.), режиму работы машины (длительный, повторно-кратковременный и др.), пусковому моменту, скольжению и др.

Все особенности устройства и эксплуатации двигателя должны быть установлены при разработке изделия и отражены в обозначении при внесении в конструкторскую документацию и при его заказе.

Поскольку обозначения двигателей в большинстве случаев не определены стандартами [4], можно привести только общую структуру обозначения. Применяют базовое, основное и полное обозначения [4; 28; 31].

*Базовое обозначение* – это сочетание символов, определяющее серию, вариант привязки мощности и частоты вращения с установочными размерами, высоты оси вращения, длины станины и числа пар полюсов.

Например, АИР100М4, где АИ – обозначение серии, Р – вариант привязки мощности к установочным размерам, 100 – высота оси вращения, М – установочный размер по длине станины, 4 – число полюсов статора.

*Основное обозначение* – это сочетание базового обозначения с видом защиты, охлаждения, с электрической и конструкторской модификацией, со специализированным исполнением и по условиям окружающей среды.

Например, АИРБС100М4НПТ2, где АИР100М4 – базовое обозначение, Б – закрытое исполнение без обдува, С – с повышенным скольжением, Н – малошумное, П – с повышенной точностью установочных размеров, Т – для тропического климата, 2 – категория размещения.

*Полное обозначение* – это сочетание основного обозначения с дополнительными конструкторскими и электрическими характеристиками.

Например, АИРБС100М4НПТ2 220/380 В, 60 JM2081, К–3–11, FF215, где АИРБС100М4НПТ2 – основное обозначение, 220/380 В – напряжение, 60 – частота сети, JM2081 – исполнение по способу монтажа и по концу вала, К–3–11 – исполнение вводного электрического устройства и количество штуцеров, FF215 – исполнение фланцев щита.

### ***Линейные асинхронные двигатели***

В случае, если статор двигателя «разрезать» и развернуть в плоскость, может быть получен первичный элемент линейного двигателя (индуктор), который создаёт бегущее магнитное поле. Преобразованная в соответствии с изложенным предложением подвижная часть двигателя (бегунок, тележка), помещённая на направляющих параллельно индуктору (рис. 3.7, а), при взаимодействии с последним может совершать поступательное движение. Поэтому применение линейных двигателей с поступательным движением рабочего органа позволяет упростить кинематику механизмов, уменьшить потери в передачах и повысить надёжность механизма.

Линейные асинхронные двигатели применяют для привода заслонок, ленточных транспортёров, подъёмно-транспортных механизмов [26]. На рис. 3.7 показана схема линейного асинхронного двигателя привода тележки подъёмного крана.

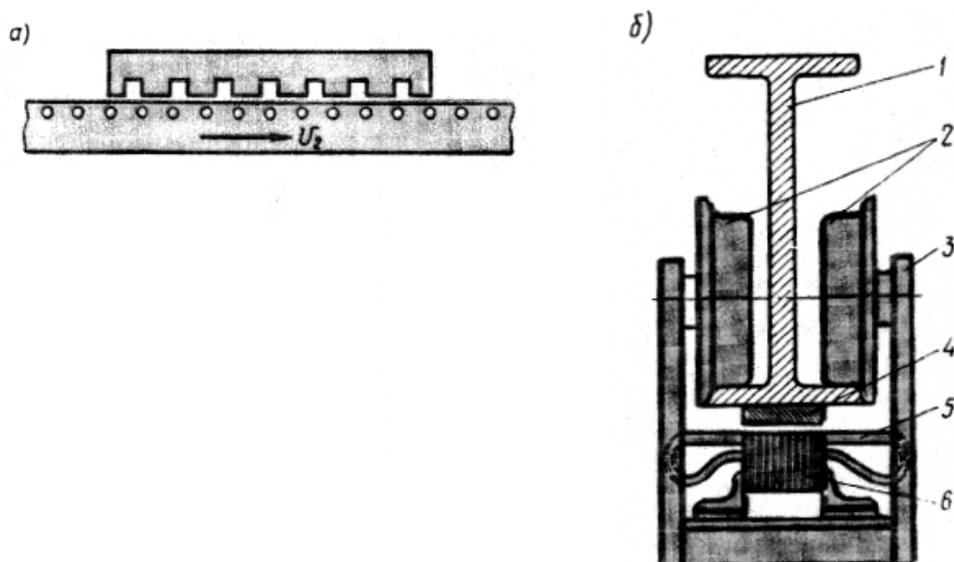


Рис. 3.7. Схема устройства линейного асинхронного двигателя (а) и применение его в приводе тележки подъёмного крана (б)

На тележке 3 расположен индуктор линейного двигателя, состоящий из шихтованного сердечника 6, в пазах которого расположена обмотка 5. Направляющая для колёс 2 представляет собой стальную балку 1, к нижней части которой прикреплена стальная полоса 4. Бегущее магнитное поле индуктора наводит в стальной полосе 4 вихревые токи. Электромагнитные силы, возникающие в результате взаимодействия этих токов с магнитным полем индуктора, перемещают индуктор (тележку) вдоль стальной полосы 4.

Линейные асинхронные двигатели значительной мощности применяют на транспорте в качестве тяговых двигателей. Один из вариантов такого двигателя показан на рис. 3.8.

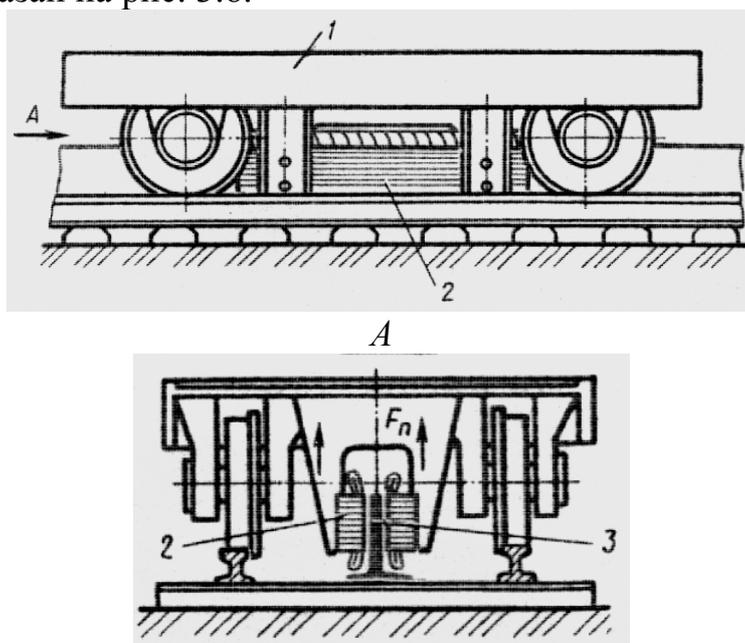


Рис. 3.8. Линейный асинхронный двигатель привода железнодорожного транспортного средства

Здесь индуктор 2 двигателя подвешен к транспортному средству 1, а стальная полоса 3 установлена вертикально на основании пути между рельсами. В этой конструкции поперечная сила  $F_n$ , вызванная краевым эффектом, используется полезно, так как она уменьшает силу давления на несущие оси и колёса и, как следствие, уменьшает трение качения.

Кроме асинхронных линейных двигателей, возможно использование электромагнитных (соленоидных), магнитоэлектрических с постоянными магнитами и электродинамических двигателей.

При выборе электродвигателя следует пользоваться справочниками, ГОСТами, каталогами электромеханических заводов. К выбору электродвигателя следует привлекать при конструировании специалистов-электромехаников, поскольку при этом выбирается и необходимая пуско-регулирующая аппаратура.

Так, в ряде случаев при необходимости бесступенчатого регулирования частоты вращения рабочих органов машины с использованием в приводе асинхронного двигателя применяют статические преобразователи частоты питающего напряжения на полупроводниковых приборах (тиристорах, транзисторах и др.). Данный способ позволяет плавно регулировать частоту вращения двигателя в широком диапазоне.

### ***Синхронные двигатели***

*Синхронные двигатели* – это бесколлекторные машины переменного тока. Они вращаются с постоянной синхронной частотой ( $n_2 = n_1 = const$ ) при любой нагрузке на валу. Поэтому их используют в приводах с постоянной частотой вращения. Применяются эти двигатели для приводов крупных объектов мощностью от 600 кВт до нескольких тысяч кВт (крупных вентиляторов, насосов, компрессоров, газодувок, мельниц, дробилок и т. п.). По своим технико-экономическим показателям синхронные двигатели превосходят все остальные. Выпускаются также синхронные двигатели малой мощности (микродвигатели). Они используются в устройствах автоматики и приборной техники, когда требуется постоянная частота вращения объекта. В конструкции таких двигателей используются постоянные магниты в пакете ротора.

Двигатели с аксиальным расположением магнитов имеют малый диаметр и номинальную мощность до 100 Вт. Двигатели с радиальным расположением ротора имеют больший диаметр и проектную мощность от 500 Вт до 1 кВт и более в зависимости от типоразмера двигателя.

Синхронные импульсные (шаговые) двигатели используются в качестве исполнительного двигателя в электроприводах с программным управлением. С их помощью электрические сигналы (импульсы) преобразуются в угловые или линейные скачкообразные перемещения (шаги), следующие с частотой (приемистостью) до 1000–1300 Гц.

### ***Двигатели постоянного тока***

Двигатели постоянного тока, или коллекторные двигатели, имеют ряд преимуществ по сравнению с бесколлекторными (асинхронными и синхронными). К их числу относится возможность повышения частоты вращения ротора и возможность её регулирования в широких пределах. По регулировочным свойствам они делятся на двигатели с нормальным регулированием (диапазон регулирования 1:5) и на двигатели широкорегулируемые (диапазон регулирования 1:1000) [26; 48].

Эти достоинства двигателей постоянного тока позволяют применять их в приводах главного движения и подач станков с ЧПУ, в автоматизированных технологических установках и агрегатах, так как они позволяют осуществлять регулирование скоростей и перемещений в широких пределах и поддерживать заданные их значения с высокой точностью.

В связи с необходимостью увеличения выпуска широкорегулируемых тиристорных приводов с двигателями постоянного тока для нужд народного хозяйства и с развитием автоматизированных станков с ЧПУ была в начале 80-х годов XX века создана серия машин постоянного тока 4П. В неё вошла гамма двигателей мощностью от 0,16 до 10 кВт с частотой вращения 750–3000 об/мин с нормальным регулированием, которые использовались в станкостроении, железнодорожном и морском транспорте [48]. Для более крупных и мощных приводов можно использовать двигатели мощностью до 250 кВт. Для приводов машин и агрегатов металлургического производства, крупных металлорежущих станков выпускаются двигатели мощностью до 800 кВт [48].

Для применения широкорегулируемых приводов с двигателями постоянного тока выпускаются двигатели серии 2П с диапазоном мощности 0,17–200 кВт с тахогенераторами. Структура обозначений двигателей постоянного тока сходна со структурой обозначения асинхронных двигателей.

Выбор двигателей из приведённых выше при проработке вариантов компоновок и конструкции изделия в соответствии с техническим заданием надо проводить очень внимательно с целью определения оптимальных решений с привлечением специалистов электромехаников.

### ***Гидравлические и пневматические приводы***

*Гидро- и пневмопривод* – это система, служащая для передачи посредством жидкости или воздуха (рабочего тела) механической энергии и преобразования её в кинетическую энергию на выходе системы.

В качестве рабочего тела используют минеральные масла либо подготовленный атмосферный воздух [1; 2; 5; 11; 12; 23]. Далее мы будем говорить о гидроприводах, отмечая отдельно их особенности и особенности пневмоприводов.

Гидро- и пневмоприводы позволяют рационально располагать оборудование и его узлы при компоновке, более полно использовать мощность двигателей, снижать ударные нагрузки в системе. Они довольно широко

используются в станкостроении, самолёто- и судостроении, в горных машинах, в строительной технике и т. п.

Гидропривод являет собой совокупность гидронасоса, гидродвигателя, трубопроводов, гидроаппаратуры (регуляторы, предохранительные клапана, краны и др.) и вспомогательных устройств, предназначен для приведения в движение машин и механизмов посредством гидравлической энергии. В пневмоприводах в качестве источника энергии используют сжатый воздух из общей системы либо специальный компрессор с влагоотделителем и ресивером. В гидро- и пневмоприводах используют двигатели прямолинейного возвратно-поступательного движения (силовые цилиндры и квадранты), а также гидродвигатели (гидромоторы) вращательного движения.

К достоинствам гидроприводов относится высокое рабочее давление (200–350 атм), что обеспечивает минимальные габариты силовых элементов по сравнению с пневмоприводами, в которых рабочее давление не превышает 6 атм. Достоинствами гидроприводов является возможность непрерывного бесступенчатого регулирования выходной скорости в диапазоне 1:1000. Нижний предел числа оборотов отечественных гидромоторов с малым крутящим моментом (0,3–2 кГм) составляет 8–16 об/мин и 2–3 об/мин у гидромоторов с крутящим моментом более 10 кГм. Общий КПД гидроприводов составляет 95–96 %.

Мощность выпускаемых гидромашин составляет 5–1000 кВт, однако выпускаются гидромашин мощностью до 5000 кВт. Работают гидромашин, в основном, при 1000 об/мин. Например, аксиально-поршневые моторы работают при давлении 210–350 кг/см<sup>2</sup>. Они обеспечивают производительность 1000–1800 л/мин при рабочем давлении 210 кг/см<sup>2</sup> и более 1000 л/мин при давлении 350 кг/см<sup>2</sup>. Зарубежные машины работают при давлении до 490 кг/см<sup>2</sup> и обеспечивают максимальную производительность 5600–8700 л/мин. Срок службы отечественного оборудования составляет 4000–6000 часов, а зарубежного – до 10 000–20 000 часов. Насосы производительностью до 400 л/мин выпускаются за рубежом на рабочее давление до 550 кг/см<sup>2</sup> с  $\eta = 0,97–0,98$  [23; 40].

К недостаткам гидросистем относится возможность утечек минерального масла и пожароопасность.

В пневмосистемах используется атмосферный воздух, очищенный от пыли и влаги, содержащий распылённую смазку. Эти машины являются разомкнутыми системами: обратный трубопровод, как правило, не нужен. Применение пневмоприводов на горных выработках снижает пожаро- и взрывоопасность. При резких колебаниях нагрузки пневмодвигатели менее разрушительно действуют на передачу машины. При частых включениях пневмодвигатели, в отличие от электродвигателей, не перегреваются, а наоборот, охлаждаются.

К числу недостатков пневмоприводов относится повышенный уровень шума при их работе, а также влияние сжимаемости рабочего тела на точность перемещения рабочих органов.

Пневматическое оборудование (привода механизированного инструмента и горных машин, пневматические перфораторы и ударные машины, привода режущего инструмента и др.) довольно широко применяются в строительстве, горном деле, машиностроении. Мощность единичного двигателя может составлять от нескольких ватт до 100 киловатт и более.

Приведём для примера характеристики некоторых пневмодвигателей.

Мощность ротационных пластинчатых двигателей колеблется в диапазоне 0,04–12 кВт, пусковой момент  $M_{пуск} \approx (1,5-2)M_{ном}$  и номинальный момент  $M_{ном} = 800-900$  кг·м при рабочем давлении среды  $P=(210-28)$  кг/см<sup>2</sup>. Радиально-поршневые двигатели выпускаются мощностью 5-30 кВт, частота вращения 600–1500 об/мин, номинальный момент  $M_{ном} = 10-30$  кг·м.

Выпускаются и эксплуатируются в промышленности пневмо- и гидроприводы и двигатели, в основном, следующих типов: силовые прямолинейного и качательного движения (поршневые, диафрагменные и т. п.) и вращательного действия (гидронасосы и гидромоторы) – шестерённые, ротационно-пластинчатые, радиально- и аксиально-поршневые и др.

Рассмотрим в качестве примера несколько образцов гидро- и пневмодвигателей, применяемых в промышленных машинах. Длинноходовые гидро- и пневмоцилиндры применяются для прямолинейного перемещения звеньев механизма вхолостую и под нагрузкой, короткоходовые – для создания усилия (зажатие, прессование и др.).

При высокой скорости движения поршневого механизма необходимо предусматривать устройства, предотвращающие резкие динамические удары в конце хода. К таким устройствам относятся упругие прокладки или пружины, воспринимающие удар в самом конце хода, или внутренние пневматические тормозные устройства. На рис. 3.9 показан пневматический цилиндр с наиболее распространенным типом внутреннего тормозного устройства. До начала торможения основной поток воздуха из нерабочей полости выходит через кольцевой канал во вкладыше 2 и лишь небольшая часть его через регулируемый дроссель 7. При этом обратный клапан 9 закрыт. Когда поршень достигает положения, при котором манжет 5 перекрывает кольцевой канал, воздух может выходить только через небольшой канал, где установлен дроссель. Это сопровождается повышением противодавления и уменьшением скорости поршня при его дальнейшем движении. Обратный клапан открывается при впуске сжатого воздуха для обратного движения поршня. Обратные клапаны устанавливаются также в линиях питания пневмоцилиндров в тех случаях, когда внезапное падение давления в сети (например, из-за обрыва шланга) может привести к аварийной ситуации.

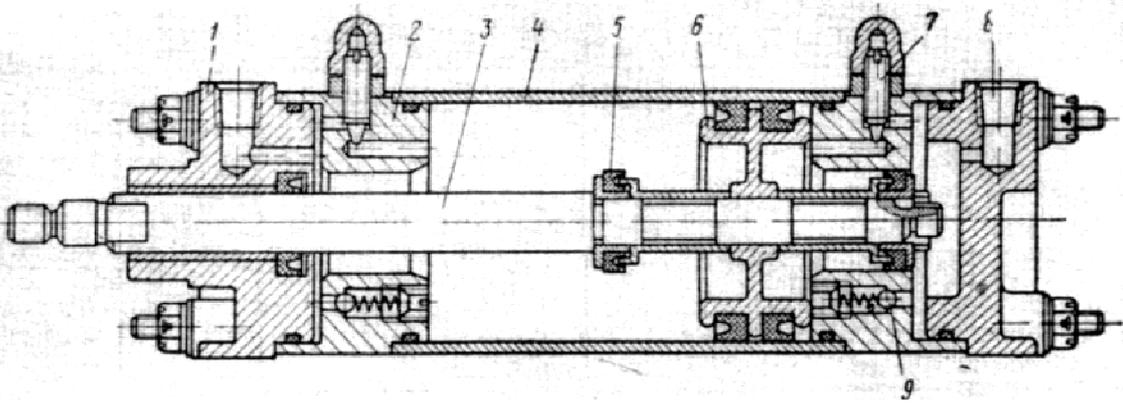


Рис. 3.9. Пневмоцилиндр с пневматическим тормозным устройством:  
 1,8 – крышки; 2 – вкладыш; 3 – шток; 4 – гильза цилиндра; 5 – манжет тормозного поршня; 6 – поршень; 7 – дроссель регулируемый;  
 9 – обратный клапан

Аксиально-поршневой пневматический двигатель РПД-М с наклонной шайбой показан на рис. 3.10. Семицилиндровый блок 1 является одновременно ротором двигателя. Поршни 2 соединены шатунами 3 с наклонной шайбой 4. Тангенциальная составляющая от аксиального усилия со стороны поршня является движущей силой, вращающей шайбу, блок цилиндров, силовой кардан 5 и вал-шестерню 6. Вал-шестерня входит в зацепление с сателлитами 7 понижающей планетарной передачи 8, водило 9 которой жестко соединено с выходным валом 10. Сжатый воздух по дренажным каналам 12,13 распределительного устройства 14 поступает в семицилиндровый блок 1. Кольцо 11 обеспечивает направление сжатого воздуха в камеру цилиндров.

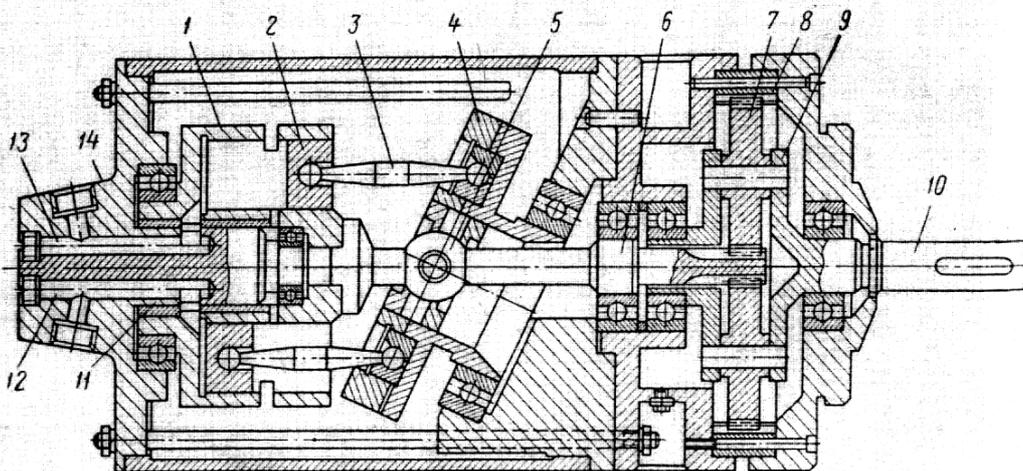


Рис. 3.10. Аксиально-поршневой двигатель типа РПД-М

В радиально-поршневых двигателях поршень, расположенный в рабочей камере ротора, перемещается в радиальном направлении и, опираясь роликом о наклонную плоскость статорного кольца, создаёт тангенциальное усилие, которое создаёт крутящий момент, что приводит ротор во вращение. Для увеличения крутящего момента применяют гидромоторы многократного действия, в которых статорное кольцо выполняется многогранным, фигурным (квадратным, шести-, восьми- и двенадцатигранными).

На рис. 3.11 статорное кольцо выполнено четырёхгранным. Нетрудно увидеть, что каждый из поршней 3 подобного гидромотора совершит за один оборот блока цилиндров (ротора) 2 несколько двойных ходов. Число этих ходов зависит от конфигурации статорного кольца и колеблется от двух до десяти. Для схемы, представленной на рис. 3.11, число двойных ходов равно четырём. Величина каждого хода  $h = a - b$ , где  $a$  – верхнее положение поршня;  $b$  – нижнее его положение.

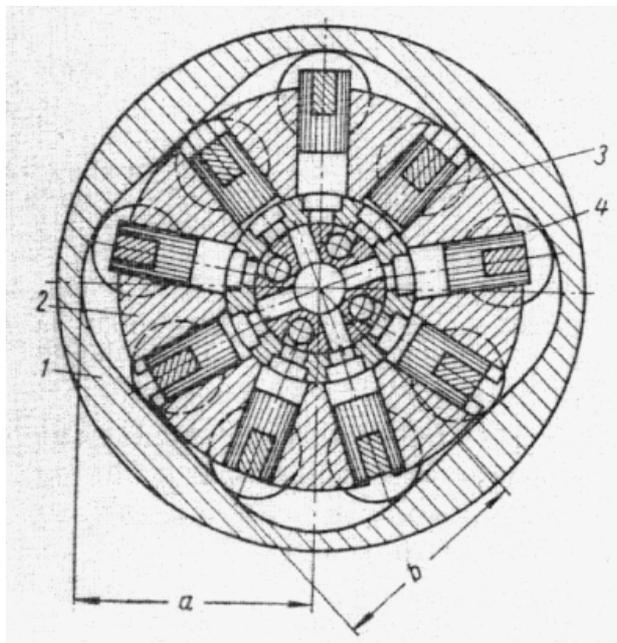


Рис. 3.11. Радиальный роторно-поршневой гидромотор многократного действия

Рабочий объём такого гидромотора за один оборот составит

$$q = \frac{\pi d^2}{4} h z m = \frac{\pi d^2}{4} (a - b) z m, \quad (3.28)$$

где  $m$  – число двойных ходов;  $d$  и  $z$  – диаметр и число цилиндров.

Поскольку рабочий объём такого гидромотора в  $m$  раз больше, чем гидромоторов одинарного действия, настолько же будет выше и крутящий момент. В соответствии с этим число оборотов такого гидромотора при том же расходе жидкости будет в  $m$  раз меньше числа оборотов мотора одинарного действия.

Для устранения трения скольжения о статор на внешних концах поршней 3 имеются ролики 4, помещенные на игольчатых подшипниках.

Ротационные пластинчатые двигатели вследствие компактности и небольшого веса на единицу мощности широко применяются в горных машинах и механизмах. На рис. 3.12 показан пневматический ротационный неререверсивный двигатель полуавтоматического бурового станка ПС1–М.

Двигатель состоит из корпуса 9, в который по плотной посадке входит гильза 8. Внутри цилиндрической полости гильзы эксцентрично помещается ротор 14, опирающийся на подшипники 2 в крышках 1 и 10. В пазы ротора входят восемь пластин 15, начальный контакт которых с внутренней расточкой гильзы обеспечивается пружинами 6 и толкателями 7. Торцевые поверхности гильзы, пластин и ротора уплотняются торцевыми

шайбами 5. Выходной вал ротора, оканчивающийся нейтральной шестерней планетарного редуктора, уплотняется манжетой 3, положение которой фиксируется кольцом 4. Крышки крепятся к корпусу двигателя соединительными деталями 11.

Сжатый воздух из штуцера 12 через впускные окна в гильзе поступает в камеры двигателя. Отработанный воздух через выпускные окна в гильзе отводится через выхлопной штуцер 13.

Этот пневмодвигатель работает при давлении 5 кг/см<sup>2</sup> и обеспечивает мощность до 7 кВт при числе оборотов до 2200 об/мин.

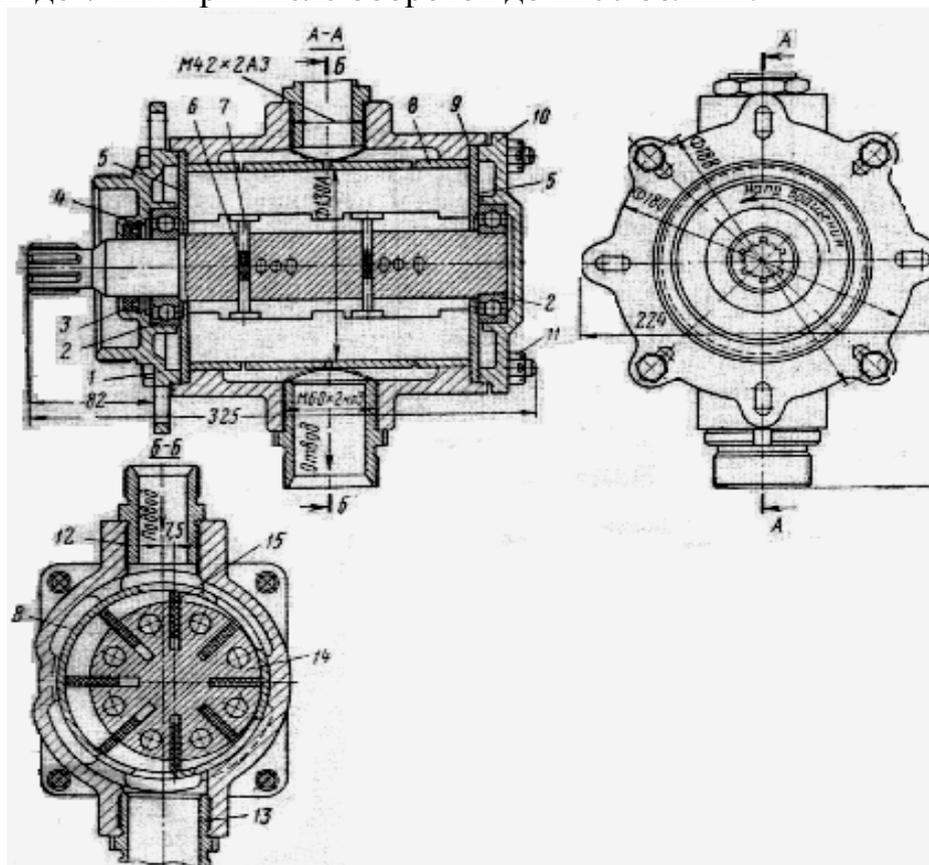


Рис. 3.12. Ротационный пластинчатый двигатель бурового станка ПС1-М

Возможность применения и выбор гидро- и пневмопередат определяются конструктором при выполнении проектных этапов. В связи с тем, что их разработка и изготовление требует практического опыта и глубоких теоретических специальных знаний, целесообразно применять эти механизмы, поставляемые специализированными предприятиями. Для этого необходимо использовать проекты, каталоги специализированных заводов и иностранных фирм и их сайты.

### 3.2.3. Передатчи, редукторы, вариаторы

*Передатча* – это устройство, передающее вращение с одного вала (ведущего) на другой (ведомый). Передатча осуществляется механическим способом через ряд соприкасающихся подвижных деталей, либо посредством включения жидкой или газообразной промежуточных сред или с помощью электрических преобразователей. В передатчах скорости враще-

ния ведомого ( $n_2$ ) и ведущего ( $n_1$ ) валов обычно различны. Отношение этих скоростей называются передаточным отношением ( $i$ ).

Механические передачи бывают двух типов:

- непосредственным касанием закреплённых на валах деталей (зубчатые, фрикционные);
- за счёт включения гибкой промежуточной связи (ремённые, цепные).

### **Зубчатые передачи**

*Зубчатая передача* – это механизм для передачи движения посредством зубчатых колёс и реек. Одно из звеньев, приводимое во вращение двигателем или другим звеном, называется *ведущим*. Другое, передающее движение приводимой детали, называется *ведомым*.

По форме соприкасающихся поверхностей зубьев различают эвольвентные, круговые и другие зацепления. По взаимному расположению сопряжённых зубчатых колёс различают цилиндрические зубчатые передачи (рис. 3.13, *а-г*) при параллельных осях, конические (рис. 3.13, *д-ж, и*) при пересекающихся осях. При скрещивающихся, не лежащих в одной плоскости осях (рис. 3.13, *з, и, к*) применяются винтовые, гипоидные, червячные, реечные передачи и др.

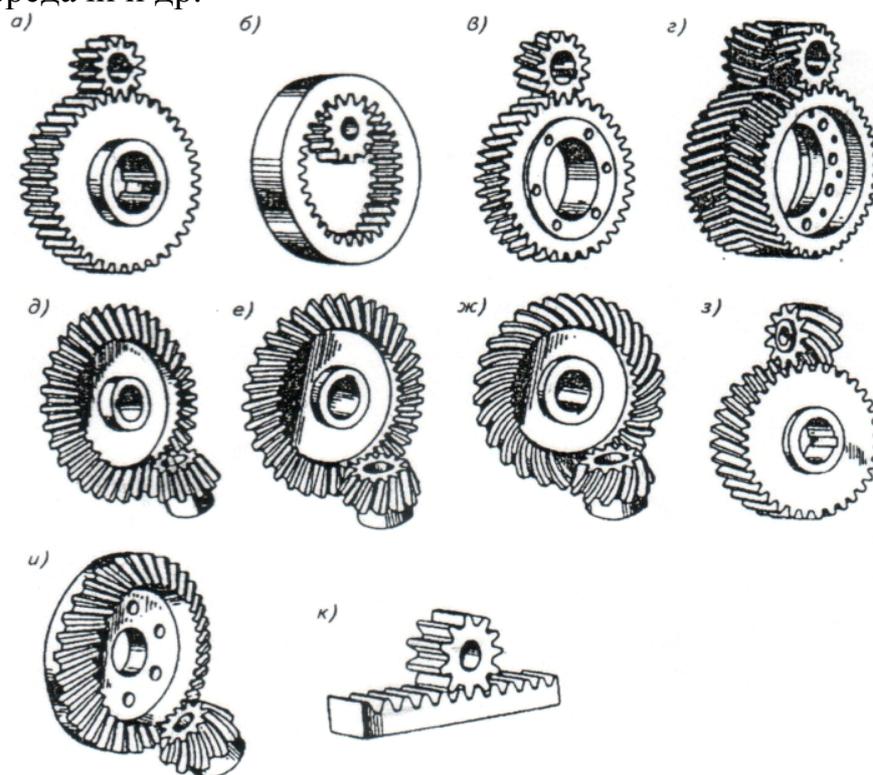


Рис. 3.13. Основные типы зубчатых передач: *а, б, в, г* – цилиндрические с прямыми, косыми и шевронными зубьями соответственно; *д, е, ж* – конические с прямыми, косыми и круговыми зубьями; *з* – винтовая; *и* – гипоидная; *к* – реечная

По конструктивному оформлению передачи выполняются открытыми, встроенными в механизм изделия или выполнены в виде редуктора. Выбор типа, конструктивного оформления и расположения передач проводит конструктор при выполнении компоновки изделия. Так, открытые переда-

чи применяют при больших размерах ведомого колеса, при необходимости получения нужного числа оборотов выходного вала в случае использования типового покупного редуктора (передача привода барабанной печи, бетономешалки и др.).

Для обеспечения компактности и удобства эксплуатации изделия часто выбирается передача, встроенная в машину или в его узел, как, например, в станках, транспортных машинах и т. п.

*Редуктор* – это передаточный механизм, изменяющий скорость вращения при передаче движения от одного вала к другому и состоящий обычно из зубчатых или червячных передач, смонтированных в отдельном корпусе. Редукторы бывают одно-, двух- и многоступенчатыми.

В случае возможности и целесообразности использования в компоновке покупного редуктора следует сделать этот выбор. Если использовать редуктор, изготавливаемый на специализированных заводах, невозможно, он подлежит разработке.

При разработке редуктора встроенной или открытой передачи на основании предварительной компоновки изделия производится его кинематический и силовой расчёт с использованием методов теоретической механики, теории механизмов и машин. В результате расчёта определяются скорости и усилия на входном и выходном валах передачи (редуктора), а также её общее передаточное отношение. Затем выбирается тип редуктора, число ступеней и проводится компоновка механизма (рис. 3.14) в нескольких вариантах и выбираются 2 или более схем, близких к оптимальному варианту. Для выбранных схем определяется число ступеней и общее передаточное отношение разбивается на передаточные отношения каждой ступени в соответствии с методикой курса «Детали машин». После этого определяются значения чисел оборотов и моментов на каждом валу и проводится предварительный прочностный расчёт валов, зубчатых колёс и деталей соединений, подбираются подшипники скольжения или качения.

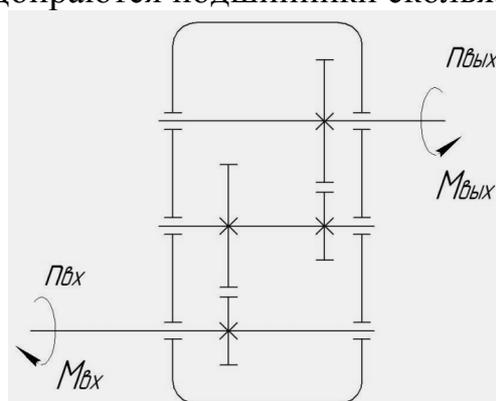


Рис. 3.14. Вариант компоновки редуктора

На основании расчётов выполняется рабочая компоновка с указанием размеров (длины валов, размер колёс, габариты редуктора и др.) и проводится уточнённый расчёт. Затем проводится конструкторская проработка с решением вопросов технологичности изготовления и сборки редуктора, удобства эксплуатации и обслуживания (регулировка, смазка, ремонт и др.).

Рассмотрим различные компоновочные схемы двухступенчатого цилиндрического редуктора, приведенные на рис. 3.15. На рис. 3.15, а показан редуктор с цельным, неразборным корпусом 2 и с двумя крышками – боковой 1 и верхней 3. При снятых крышках собранные валы вставляются в подшипники корпуса через боковой проём. Затем на шейки валов одевается крышка 1 с подшипниками. Сборка облегчается при снятой крышке 3.

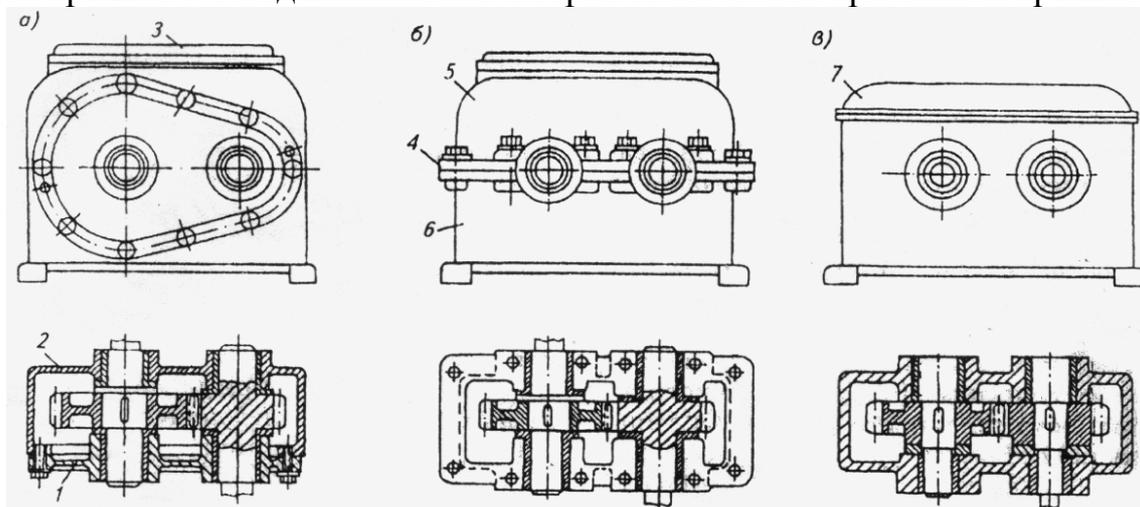


Рис. 3.15. Схемы компоновок редукторов

В конструкции, показанной на рис. 3.15, б, корпус выполнен из двух частей: верхней 5, нижней 6. Валы устанавливаются в обработанные в сборе ложа подшипников нижней части, накрываются верхней с установленной прокладкой 4 и обе части корпуса сжимаются болтовым соединением.

Сборка конструкции, приведённой на рис. 3.15, в, проводится следующим образом. Шестерни передачи помещаются в полость корпуса, в который с одной стороны установлены подшипники. Затем с другой стороны в корпус и шестерни вставляются валы, вкладываются подшипники, закрепляются подшипниковые крышки и крепится верхняя крышка 7.

На рис. 3.16 показаны два конструктивных варианта редуктора с шариковыми подшипниками. Сборка редуктора по схеме (рис. 3.16, а) проходит следующим образом. Вал в сборе с шестернями, шпонками, подшипниками, стянутыми торцевыми гайками, устанавливается в разъем корпуса, накрывается верхней частью. После скрепления половин корпуса резьбовыми соединениями (болты, винты, шпильки) с помощью прокладок и крышек проводится регулировка подшипников и их закрепление.

В конструкции, выполненной по схеме рис. 3.16, а, полностью собранные валы с подшипниками вставляются в корпус при снятых крышках 1. Сборка контролируется через верхний проём. Затем устанавливаются боковая и верхняя крышки. Различные варианты компоновок приведены в технической литературе и в атласах по деталям машин [4]. Эти примеры следует использовать при разработке передач, механизмов и машин в качестве аналогов.

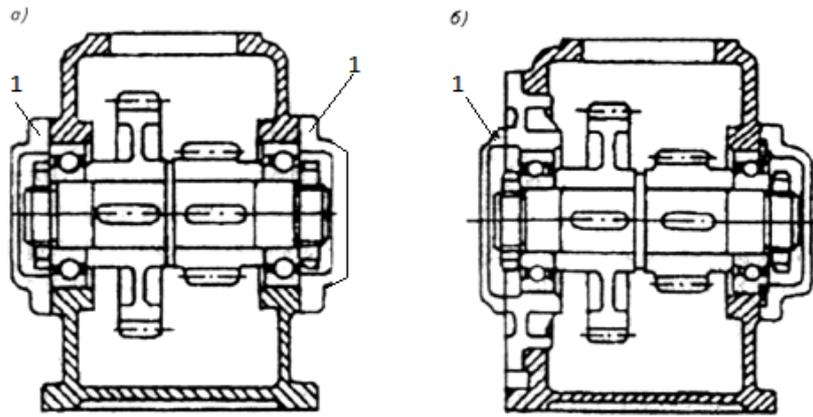


Рис. 3.16. Схемы редукторов с использованием подшипников качения

Номенклатура зубчатых редукторов очень широка. Существуют и выпускаются цилиндрические, конические, червячные, цилиндрикоконические, червячно-цилиндрические, планетарные редукторы (рис. 3.17).

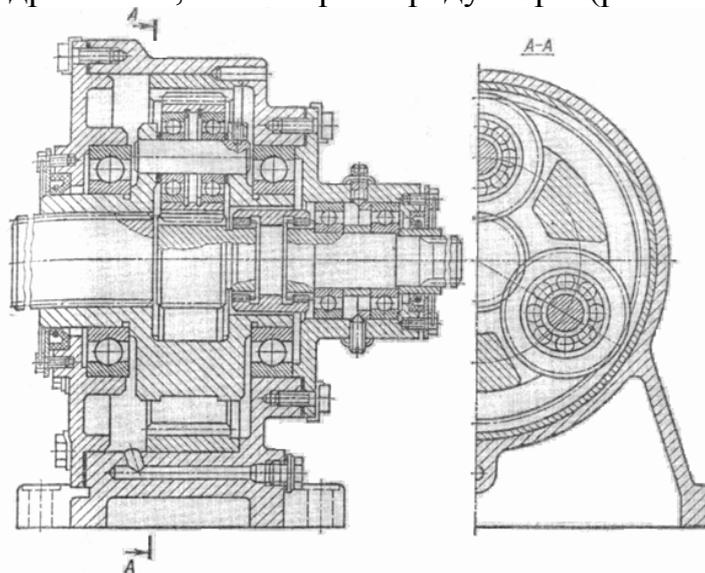


Рис. 3.17. Одноступенчатый планетарный редуктор

### **Фрикционные передачи, передачи с гибкой связью и вариаторы**

Фрикционные передачи – это устройство для передачи вращательного движения между двумя валами (рис. 3.18) посредством сил трения, возникающими между двумя дисками, насаженными на эти валы и прижатыми друг к другу.

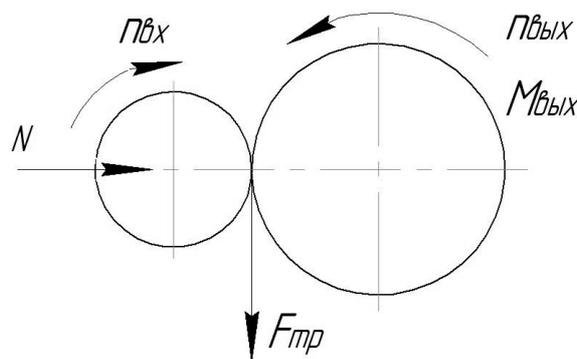


Рис. 3.18. Схема фрикционной передачи

На рис. 3.18 показана схема фрикционной передачи между двумя дисками, соприкасающимися цилиндрическими поверхностями. На рис. 3.19 показана схема фрикционного лобового вариатора с торцевой передачей. Такие вариаторы обеспечивают получение большого диапазона регулирования скоростей и обладают небольшими габаритами. Применяются также конические вариаторы с промежуточным роликом, со стальным кольцом.

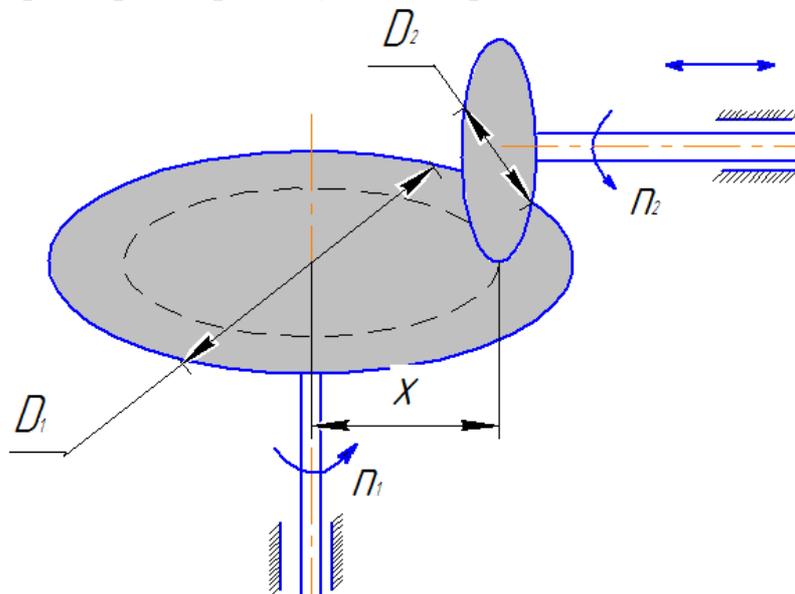


Рис. 3.19. Торцевой фрикционный вариатор

Фрикционные дисковые передачи работают с силой прижатия  $N$ , обеспечивающей возникновение требуемой силы трения  $F_{тр}$ .

В ряде случаев используется передачи с гибким звеном – ремённые, в которых передача вращения создаётся за счёт сил трения между ремнём и диском, и цепные, передающие движение за счёт взаимодействия ролика цепи с зубьями специального диска – звёздочки.

Ремни применяют плоские, клиновые и зубчатые (рис. 3.20–3.23).

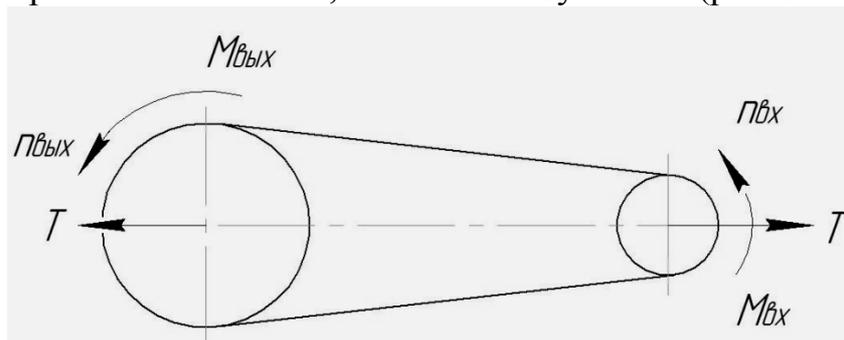


Рис. 3.20. Ремённая передача

Различные схемы ремённых передач показаны на рис. 3.21. Они работают бесшумно, но у них довольно большое межосевое расстояние, и имеет место проскальзывание. Для его снижения применяют клиноремённые передачи и используют натяжение ремня (рис. 3.22).

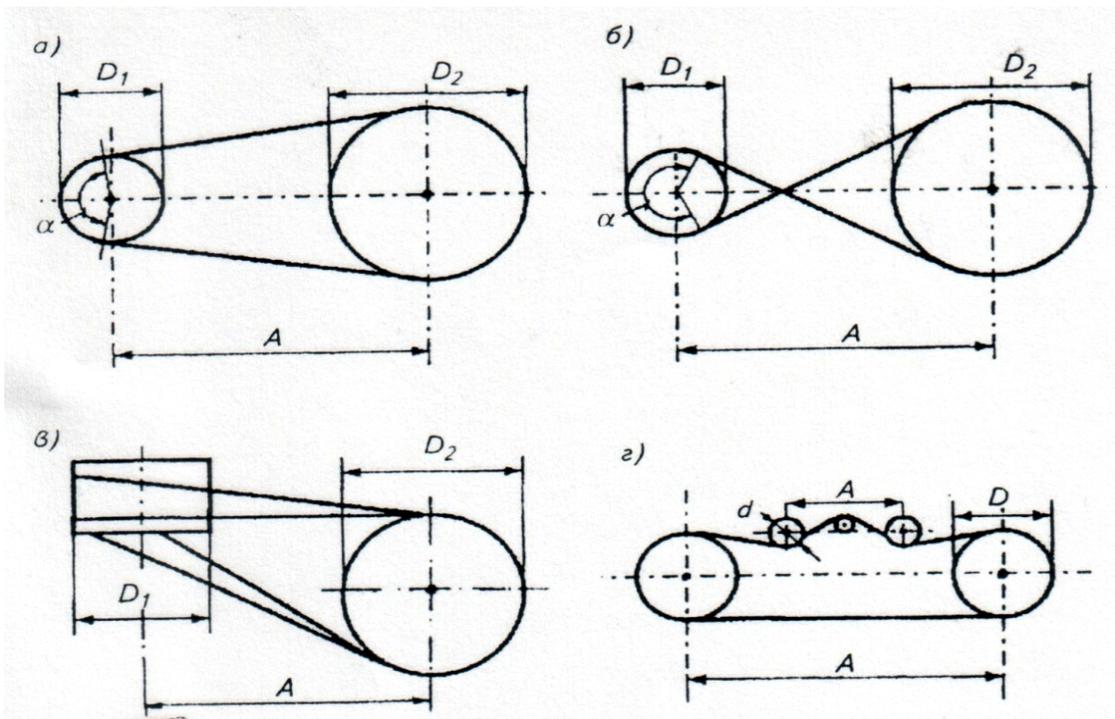


Рис. 3.21. Типовые схемы ремённых передач: а – открытая; б – перекрёстная; в – полуперекрёстная; г – тангенциальная

Для исключения проскальзывания применяют передачи с зубчатыми ремнями (рис. 3.23).

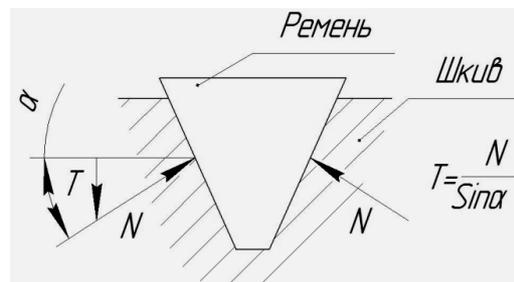


Рис. 3.22. Взаимодействие клинового ремня с канавкой шкива

В зубчатом ремне передача момента обеспечивается силами среза зубьев в дополнении к силе трения.

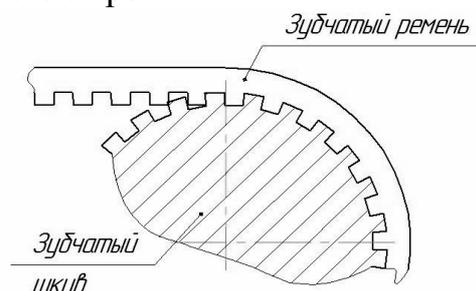


Рис. 3.23. Зубчаторемённая передача

В клиноремённой передаче за счёт геометрии ремня и канавки шкива при силе натяжения  $T$  в канавке шкива между ремнём и поверхностями канавки возникает значительно увеличенная нормальная сила  $N = T / \sin \alpha$ , и сила трения, передаваемая передачей, также сильно возрастает. В зубчатой передаче передаваемое усилие возрастает за счёт того, что помимо сил трения в передаче участвуют силы сопротивления резанию зубьев ремня.

Передачи с гибкой связью работают при натяжении, как показано на рис. 3.21, *з*. Тем не менее, во фрикционных передачах, в т. ч. и с гибкой связью, имеет место проскальзывание.

Для передачи больших моментов и полного исключения проскальзывания применяют цепные передачи. Цепная передача состоит из двух зубчатых колёс (звездочек) и бесконечной роликовой цепи (рис. 3.24–3.26), охватывающей эти звездочки.

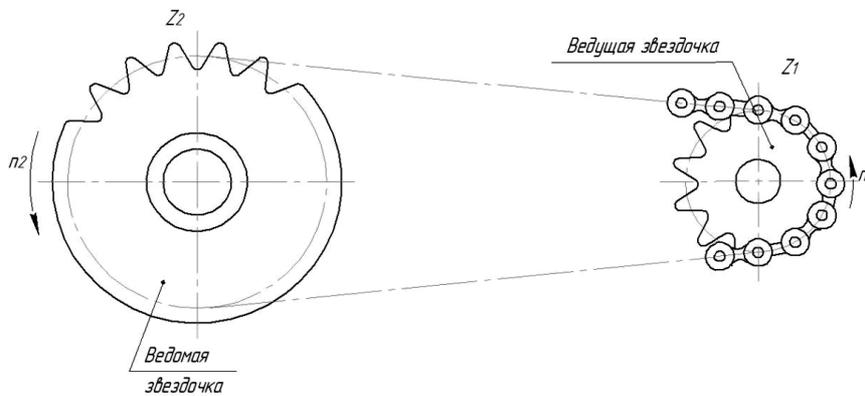


Рис. 3.24. Цепная передача

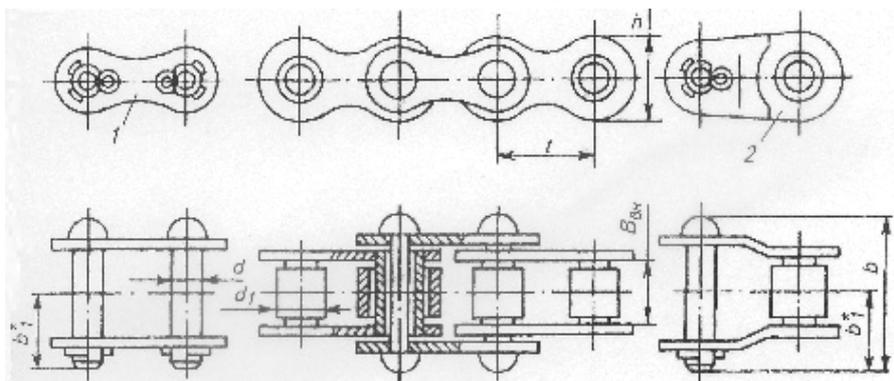


Рис. 3.25. Однорядные роликовые цепи типов ПРА и ПР:  
1 – звено соединительное; 2 – звено переходное

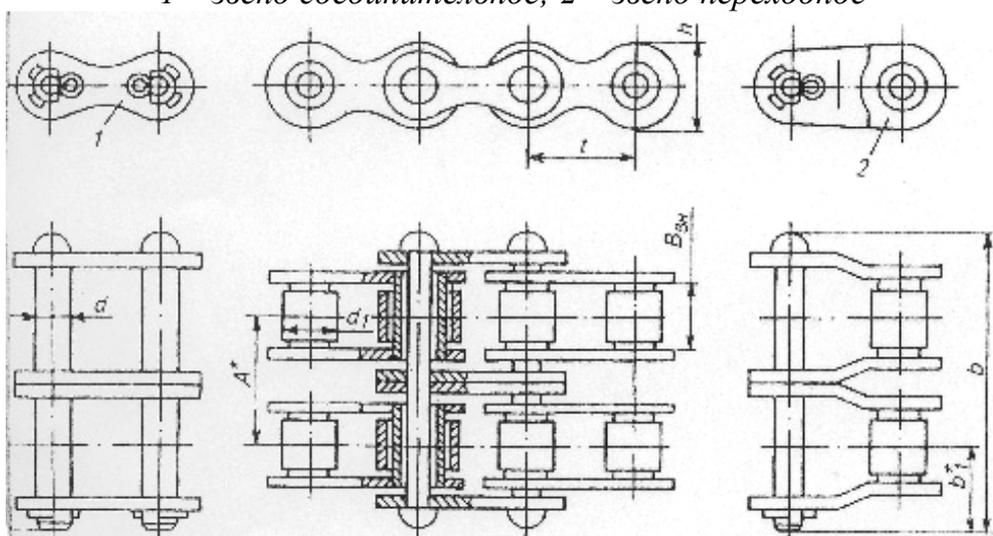


Рис. 3.26. Двухрядные роликовые цепи типа 2ПР: 1 – звено соединительное;  
2 – звено переходное

Передачи с гибкой связью, в основном, применяются в оригинальных разработках, так как машиностроительные заводы редко выпускают изде-

лия, подобные редукторам. При их разработке конструкторам необходимо применять стандартизированные изделия (ремни – плоские, клиновые, зубчатые, цепи – одно- и многорядные и др.).

Эти передачи с гибкой связью позволяют изменять передаточное отношение между валами (рис. 3.27). Изменение достигается за счёт перемещения плоского ремня вдоль осей конических шкивов (рис. 3.27, а) или за счёт синхронного разнонаправленного изменения расстояния между коническими шкивами с одновременным изменением расстояния между осями шкивов в случае клиноременной передачи (рис. 3.27, б).

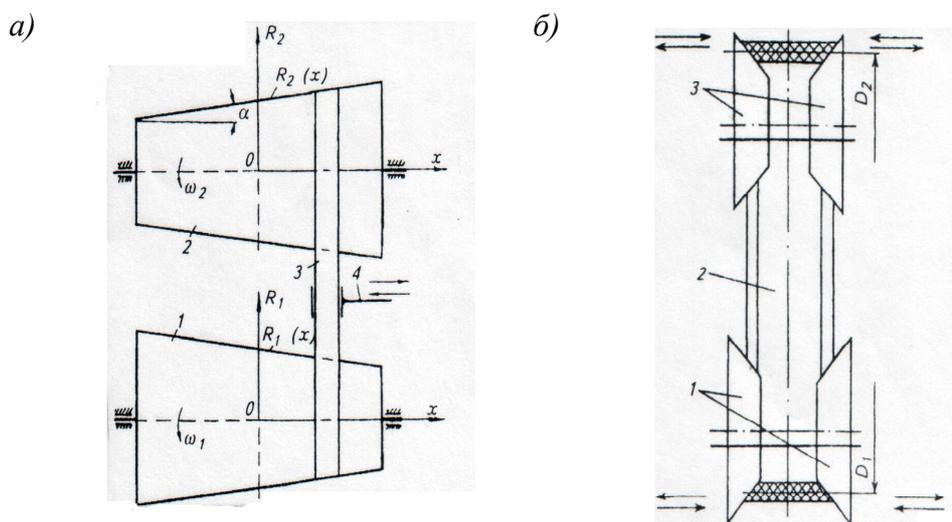


Рис. 3.27. Вариаторы с гибкой связью: а – конический вариатор, б – вариатор с раздвижными коническими шкивами

При выполнении проектных этапов конструирования и при разработке конструкторской документации целесообразно использовать редукторы и вариаторы, изготавливаемые на специализированных отечественных машиностроительных предприятиях и иностранных фирмах [4]. Очень полезно использовать для поиска информации об этих изделиях проспекты, каталоги заводов и их сайты.

### 3.2.4. Валы, оси, их опоры и уплотнения

#### **Валы и оси**

Качающиеся и вращающиеся детали механизмов устанавливают на осях или валах. *Валы* – это детали, предназначенные для передачи крутящего момента и поддержания закреплённых на них деталей. Валы устанавливаются и вращаются в подшипниках. При работе валы передают крутящие моменты и воспринимают перерезывающие силы и изгибающие моменты. Существуют валы самой разнообразной формы, которая определяется функциональным назначением и конструкцией машин (рис. 3.28, а-д).

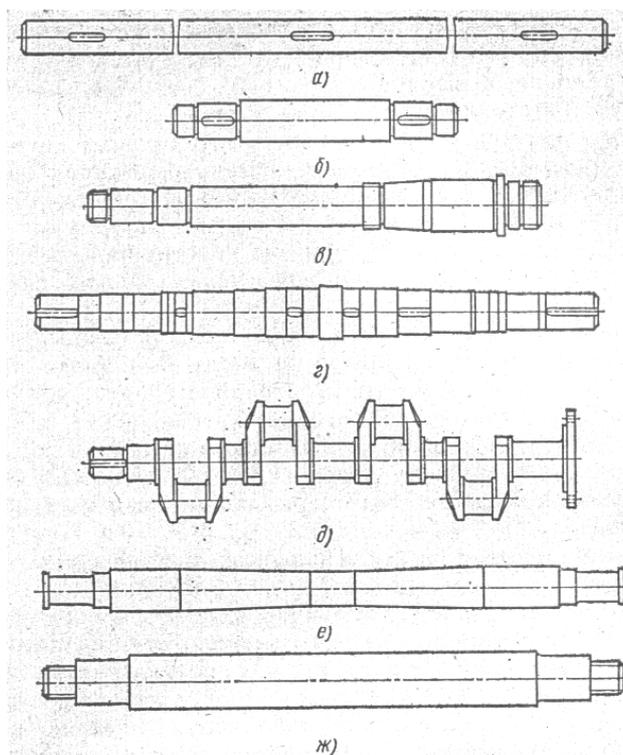


Рис. 3.28. Основные типы валов и осей: а – гладкий трансмиссионный вал; б – ступенчатый вал; в – шпиндель станка; г – вал паровой турбины; д – коленчатый вал; е – ось вагонная (вращающаяся); ж – ось вагонетки (невращающаяся)

Оси – это детали, служащие для поддержания вращающихся деталей и не передающих крутящего момента. Оси воспринимают только изгибающие моменты и перерезывающие силы. Их разделяют на вращающиеся и неподвижные (рис. 3.28, е, ж).

Опорные части валов и осей называются цапфами, а промежуточные ступени называют шейками, концевые шейки называют шипами [42].

При разработке изделия для каждого варианта компоновки проводится кинематический и силовой анализ, определяются нагрузки, действующие на детали и, в частности, на валы и оси. Затем из условия равновесия находят реакции в опорах и определяют опасное сечение вала. После этого проводится прочностный расчёт вала и, в зависимости от условий работы, может быть проведён расчёт на жёсткость, ползучесть, на вибрационную выносливость и резонансную частоту.

Валы (рис. 3.29, 3.30) крепятся в корпусах в подшипниках качения или скольжения. На них располагаются шестерни, шкивы и другие детали. Для передачи движения между валами чаще всего используют зубчатые передачи.

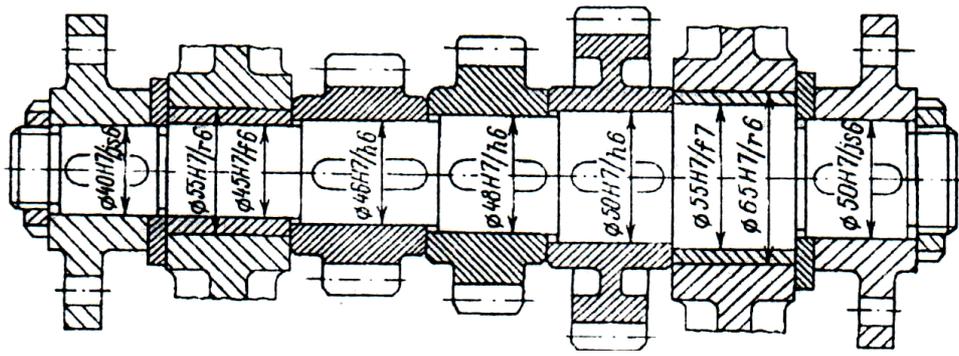


Рис. 3.29. Ступенчатый вал в подшипниках скольжения

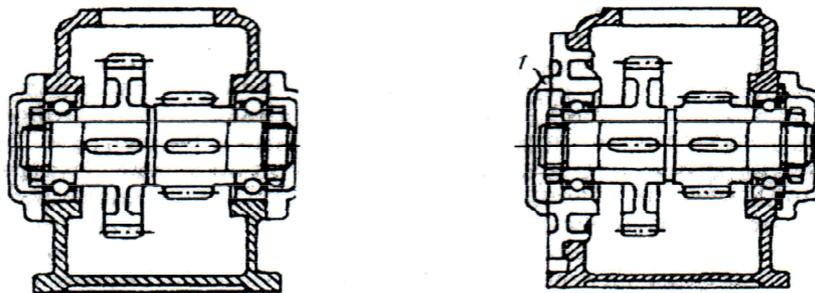


Рис. 3.30. Редукторы с использованием подшипников качения

Приведённые здесь и описанные ниже узлы и детали используют на различных стадиях разработки при создании и совершенствовании разнообразных машиностроительных изделий.

### **Подшипниковые опоры**

Подшипники служат опорами для валов и вращающихся осей, а иногда и для деталей, располагающихся на валах и осях. По типу трения различают подшипники качения и подшипники скольжения.

Подшипники скольжения бывают неразъёмные и разъёмные. Неразъёмные подшипники состоят из втулки, устанавливаемой в корпусе. Разъёмные подшипники представляют собой вкладыши (полукольца), которые устанавливают в корпус и накрывают крышкой. Для установления требуемого зазора вкладыши или втулки подтягивают с помощью специальных устройств (винты, клинья, прокладки, конусные втулки и др.).

Втулки и вкладыши изготавливают из антифрикционных материалов (бронзы, антифрикционные чугуны, металлокерамические, полимерные и углеродные материалы, графит, текстолит и др.). Разработка и расчёт подшипников скольжения проводится на основе рекомендации [42] и др.

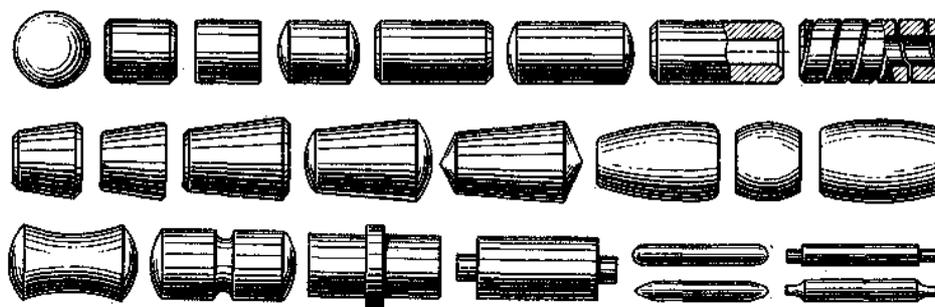
Подшипники качения ввиду их преимуществ (малых потерь на трение, простоты ухода, надёжности, возможности массового изготовления, а следовательно, низкой стоимости) во многих случаях вытесняют подшипники скольжения.

### ***Подшипниковые узлы с использованием подшипников качения***

В связи с большим разнообразием видов и диапазона нагрузок на валы, частоты их вращения промышленностью выпускается широкий ассортимент подшипников:

- радиальные шариковые и роликовые (однорядные, двухрядные и четырехрядные) игольчатые;
- радиально-упорные шариковые и конические роликовые и цилиндросферические;
- двухрядные шариковые и роликовые сферические самоустанавливающиеся;
- упорные шариковые и роликовые (однорядные и двухрядные);
- упорно-радиальные шариковые;
- упорные с коническими роликами и сфероконические упорные.

Разновидности тел качения приведены на рис. 3.31.



*Рис. 3.31. Разновидности тел качения*

Маркировка подшипников устанавливается по ГОСТ 3189-89 и включает условное обозначение марки и условное обозначение завода-изготовителя (если это регламентируется). Размеры и их основные характеристики приведены в соответствующих ГОСТах.

#### ***Радиальные подшипники***

Основные виды радиальных подшипников качения приведены в табл. 3.5.

Однорядные радиальные шариковые подшипники (табл. 3.5, экс. 1, 2) предназначены для восприятия преимущественно радиальных нагрузок, но могут одновременно нести значительные осевые нагрузки.

В подшипниках этого типа шарики катятся в беговых канавках, профилированных дугами окружностей радиусом, равным  $\sim 1,03$  радиуса шарика. Шарики заключают в штампованные из листовой стали или массивные сепараторы, предупреждающие трение между шариками и обеспечивающие равномерное расстояние между ними.

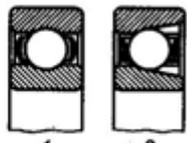
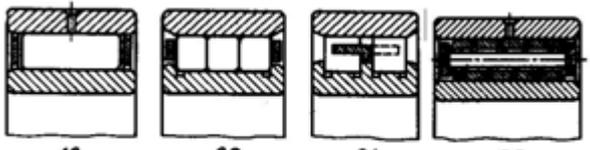
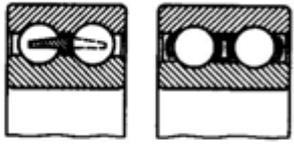
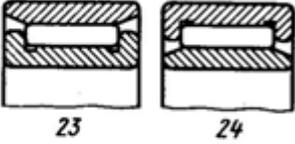
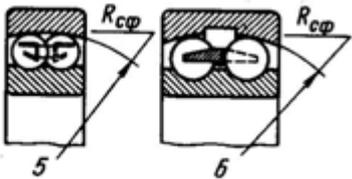
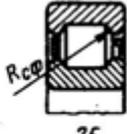
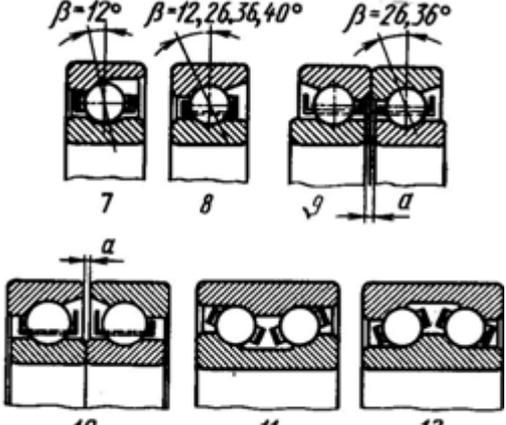
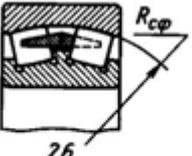
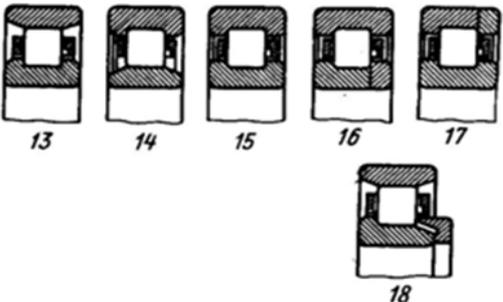
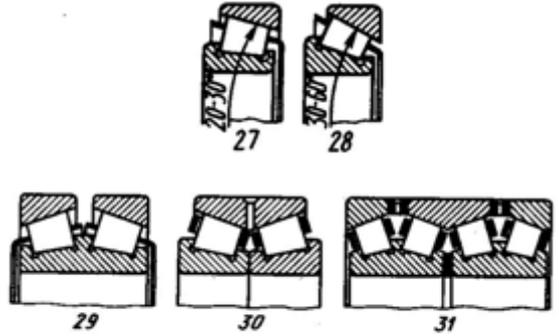
Подшипники по эскизу 1 собирают путем смещения внутренней обоймы относительно наружной и введения шариков в образовавшийся серповидный зазор. В конструкции 2 для введения шариков предусмотрены осевые канавки, что позволяет несколько увеличить число шариков. Подшипники этого типа обладают повышенной радиальной несущей способностью.

щей способностью. Применять их для восприятия осевой нагрузки, направленной в сторону канавок, не рекомендуется.

Таблица 3.5

Радиальные подшипники качения

Эскизы подшипников

 <p>1 2</p> <p>Однорядные радиальные шариковые</p>	 <p>19 20 21 22</p> <p>Радиальные роликовые</p>
 <p>3 4</p> <p>Двухрядные радиальные шариковые</p>	 <p>23 24</p> <p>Игольчатые</p>
 <p>5 6</p> <p>Двухрядные шариковые сферические</p>	 <p>25</p> <p>Цилиндросферические</p>
 <p>7 8 9 10 11 12</p> <p>Шариковые радиально-упорные</p>	 <p>26</p> <p>Сферические с бочкообразными роликами</p>
 <p>13 14 15 16 17 18</p> <p>Радиальные роликовые</p>	 <p>27 28 29 30 31</p> <p>Конические роликовые</p>

Осевая жесткость шариковых подшипников невелика. Осевое перемещение внутренней обоймы относительно наружной под высокой нагруз-

кой достигает нескольких десятых миллиметра. Жесткость парных установок можно повысить предварительным натягом подшипников.

Однорядные радиальные шариковые подшипники (эск. 1, 2) благодаря точечному контакту обладают наименьшим среди всех подшипников коэффициентом трения и наиболее приспособлены для высоких частот вращения.

Двухрядные радиальные шариковые подшипники (эск. 3, 4) отличаются повышенной несущей способностью, но более чувствительны к перекосам.

Двухрядные шариковые сферические подшипники (эск. 5, 6), обладающие самоустанавливаемостью, применяют в установках, где возможны упругие деформации вала или смещение оси одного подшипника относительно оси другого.

Снижение радиальной несущей способности вследствие неблагоприятной для контактной прочности формы беговой дорожки наружной обоймы компенсируется наличием двух рядов шариков. Форма беговой дорожки у сферических подшипников не позволяет нести значительные осевые нагрузки. Осевая жесткость их невелика.

Шариковые радиально-упорные подшипники (эск. 7, 8) предназначены для восприятия одновременно радиальных и осевых сил.

Форма беговой дорожки наружной обоймы позволяет увеличить число шариков, что повышает несущую способность подшипника. Разъемные радиально-упорные подшипники (эск. 7) допускают беспрепятственное снятие наружной обоймы; в неразъемных (эск. 8) подшипниках наружная обойма зафиксирована на шариках неглубокой закраиной беговой дорожки. Последняя конструкция удобнее для монтажа подшипника в узле.

У подшипников, предназначенных для небольших осевых нагрузок, угол контакта  $\beta = 12^\circ$ ; у подшипников для высоких осевых нагрузок  $\beta = 26\div 40^\circ$ .

Одиночную установку радиально-упорных подшипников применяют только при постоянной по направлению осевой нагрузке (например, на вертикальных валах). В большинстве случаев применяют парную установку, замыкаемую затяжкой обойм (наружных или внутренних).

Сдвоенные радиально-упорные подшипники (эск. 9, 10) выпускают с заранее установленным зазором  $a$ , выбираемым при затяжке.

Радиально-упорные подшипники в парной установке с натягом обеспечивают практически беззазорное центрирование и осевую фиксацию вала.

Применяемые иногда неразъемные радиально-упорные подшипники двустороннего действия (эск. 11, 12) лишены этого преимущества.

Радиальные роликовые подшипники (эск. 13–15) предназначены для несения высоких радиальных нагрузок при отсутствии осевых. Повышенная несущая способность роликовых подшипников (в 1,5–2 раза большая, чем одинаковых по размерам шариковых подшипников) обусловлена линейным контактом между роликами и беговыми дорожками, а также увеличенным числом роликов (которые в обоймы устанавливаются без затруднений).

Одну из обойм подшипника, обычно внутреннюю (эск. 13), реже наружную (эск. 14), выполняют с буртиками, направляющими ролики при их движении по беговым дорожкам. Вторую обойму делают гладкой.

Подшипники этого типа допускают известную свободу осевого перемещения одной обоймы относительно другой; их часто применяют в качестве плавающих опор.

При установке обе обоймы должны быть зафиксированы в осевом направлении.

Подшипники с буртиками на обеих обоймах (эск. 15) могут нести небольшие осевые нагрузки; их используют для фиксации валов.

Выпускают подшипники с отъемными буртиками (эск. 16, 17). Конструкцию по эскизу 18 сейчас не применяют из-за больших осевых размеров.

Роликовые подшипники с длинными роликами (эск. 19) отличаются повышенной несущей способностью и меньшими радиальными размерами. Направление роликов при движении по беговым дорожкам хуже, чем в подшипниках с короткими роликами, поэтому иногда применяют многорядную установку коротких роликов в ободьях сепаратора (эск. 20) или пользуются двухрядными роликовыми подшипниками (эск. 21).

Подшипники с витыми цилиндрическими роликами (эск. 22) отличаются несколько повышенной упругостью в радиальном направлении. Несущая способность их значительно меньше, чем у подшипников с массивными роликами.

Для установки на коленчатых валах подшипники этого типа изготавливают с разъемными в меридиональной плоскости внутренними обоймами, соединенными в ласточкин хвост. Широкого применения эти подшипники не получили.

Игольчатые подшипники с роликами малого диаметра и большой длины (эск. 23, 24) применяют при стесненных радиальных размерах для несения повышенных радиальных нагрузок при малых частотах вращения.

Цилиндросферические подшипники (эск. 25), у которых торцы роликов выполнены по сфере, могут наряду с радиальными нагрузками воспринимать довольно значительные осевые нагрузки. Условие чистого качения на торцах роликов в этих подшипниках не соблюдается.

Сферические подшипники с бочкообразными роликами (эск. 26) выгодно отличаются от сферических шариковых подшипников повышенной радиальной и осевой несущей способностью. Условие чистого качения в этих подшипниках соблюдается не полностью.

Конические роликовые подшипники (эск. 27, 28) применяют для восприятия высоких радиальных и осевых нагрузок.

Угол конуса наружной беговой дорожки в стандартных подшипниках  $\alpha = 20 \div 30^\circ$ . Осевая жесткость их невелика; приложение осевой силы  $P_{oc}$  вызывает высокие нагрузки на ролики  $(N - P_{oc}/\sin\alpha/2)$ , вследствие чего частота вращения этих подшипников ограничена; они чувствительны к перегрузке. В подшипниках, предназначенных для несения повышенных осевых нагрузок, угол  $\alpha$  увеличивают до  $60^\circ$ . В одиночной установке конические роликовые подшипники применяют только как упорные (преимущественно на вертикальных валах); обычно их устанавливают парно. Замыкание осуществляется установкой обоих подшипников зеркально один по отно-

шению к другому, с затяжкой парных (наружных или внутренних) обойм, обеспечивающей беззазорное центрирование и осевую фиксацию вала.

Промышленность выпускает сдвоенные (эск. 29, 30) и многорядные (эск. 31) крупногабаритные конические роликовые подшипники, предназначенные для несения особо высоких нагрузок.

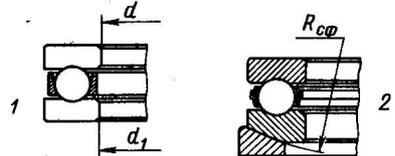
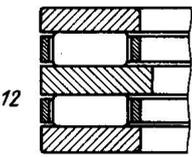
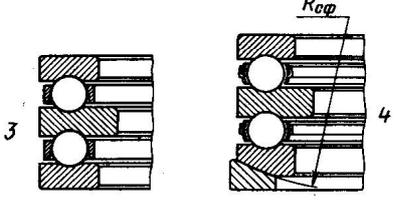
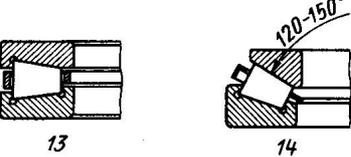
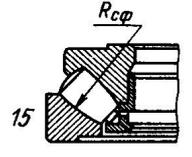
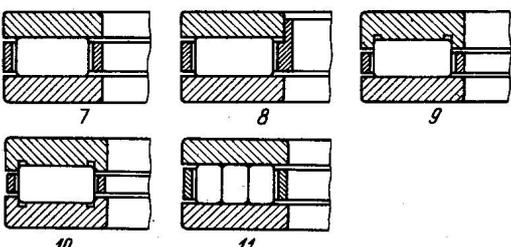
### Упорные подшипники

В табл. 3.6 приведены основные виды упорных подшипников качения.

Однорядные шариковые упорные подшипники (табл. 3.6, эск. 1) предназначены для восприятия осевых нагрузок в одном направлении. Радиальную нагрузку упорные шариковые подшипники воспринимать не могут. Их применяют только в сочетании с радиальными подшипниками (скольжения или качения).

Таблица 3.6

Упорные подшипники

Эскиз	Эскиз
 <p>1 2</p>	 <p>12</p>
Однорядные шариковые упорные	Двухрядные упорные с цилиндрическими роликами
 <p>3 4</p>	 <p>13 14</p>
Двухрядные шариковые упорные	Упорные с коническими роликами
 <p>5 6</p>	 <p>15</p>
Упорно-радиальные шариковые	Сфероконические упорные
 <p>7 8 9 10 11</p>	
Однорядные упорные с цилиндрическими роликами	

Одно из колец подшипника плотно сажают на вал (по диаметру  $d$ ), а другое устанавливают в корпусе. Для предотвращения трения между валом и свободным кольцом внутренний диаметр  $d_1$  последнего делают на несколько десятых миллиметра больше, чем закрепленного кольца.

Свойство самоустанавливаться придают, выполняя опорную поверхность одного из колец подшипника по сфере и устанавливая его на шайбе со сферической опорной поверхностью (эск. 2).

Двухрядные шариковые упорные подшипники (эск. 3, 4) предназначены для восприятия осевых нагрузок обоих направлений. Частота вращения у этих подшипников ограничена. Под действием повышенных центробежных сил шарики смещаются с беговых канавок (особенно, если осевая нагрузка переменная), вследствие чего нарушается правильная работа подшипника.

Упорно-радиальные шариковые подшипники (эск. 5, 6) могут наряду с осевыми нагрузками нести довольно значительные радиальные нагрузки.

Упорные подшипники с цилиндрическими роликами (эск. 7–12) состоят из двух плоских колец, между которыми катятся цилиндрические ролики.

Ролики центрируют в подшипнике сепараторами (эск. 7), которые, в свою очередь, центрируют на валу или по одной из обойм подшипника (эск. 8). Применяют также центрирование роликов буртами на одной (эск. 9) или на двух (эск. 10) обоймах.

В подшипниках этого типа ролики катятся только в одной точке своей длины, на остальных участках происходит проскальзывание относительно поверхности беговых дорожек. Для уменьшения проскальзывания иногда применяют установку в ряд нескольких коротких роликов (эск. 11). Для восприятия осевых сил в обоих направлениях применяют двухрядные роликовые подшипники (эск. 12). Частота вращения у этих подшипников крайне ограничена. Их применяют в тихоходных тяжело нагруженных опорах.

Упорные подшипники с коническими роликами выполняют с конусами, вершины которых сходятся на оси подшипника (эск. 13, 14), что обеспечивает правильное качение роликов.

Сфероконические подшипники (эск. 15) обладают свойством самоустанавливаемости и могут нести большие радиальные и осевые нагрузки. Наружная беговая дорожка у них выполнена по сфере, центр которой расположен вне подшипника; профили роликов очерчены дугами окружности с радиусом, равным радиусу сферы.

Условие правильного качения роликов сфероконических подшипников соблюдается не полностью.

### *Подшипники с разъемными обоймами*

Для несения повышенных осевых и радиально-осевых нагрузок применяют подшипники с разъемной в экваториальной плоскости наружной (рис. 3.32, а) или, реже, внутренней (рис. 3.32, б) обоймой. Разъем позволяет увеличить число шариков и углубить беговые канавки.

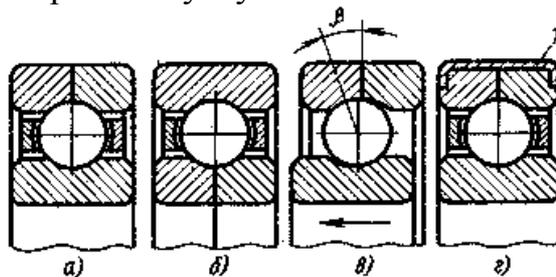


Рис. 3.32. Подшипники с разъемными обоймами

При чисто радиальной нагрузке в подшипниках этого типа образуются три точки контакта — две на разъемной и одна на целой обойме (отсюда их условное название «трехконтактные» подшипники). Правильное качество шариков одновременно по трем поверхностям, разумеется, невозможно. Тормозящиеся двухточечным соприкосновением с разъемной обоймой шарики проскальзывают по целой обойме, поэтому трехконтактные подшипники применяют для несения осевой нагрузки или радиальной при одновременном действии осевой. Осевая нагрузка прижимает шарики лишь к одной поверхности (рис. 3.32, в), на другой стороне шарики отходят от поверхности беговой дорожки, и в итоге получается двухконтактный подшипник.

Угол  $\beta$  контакта зависит от соотношения радиальной и осевой нагрузки. При чисто осевой нагрузке в исполненных конструкциях  $\beta = 20 \div 30^\circ$ .

Разъемные обоймы обычно стягивают крепежными гайками, причем взаимное центрирование обойм происходит по посадочной поверхности.

Подшипники, предназначенные для несения чисто осевых нагрузок, устанавливают в корпусах с радиальным зазором. В этом случае применяют подшипники с полуобоймами, соединенными наглухо с помощью гильзы, завальцованной на торцы (рис. 3.32, г).

### **Подшипники со встроенными уплотнениями**

Промышленность выпускает несколько типов радиальных шариковых подшипников со встроенными уплотнениями.

Односторонние (рис. 3.33, а, б) и двусторонние (рис. 3.33, в-е) защитные шайбы предохраняют подшипники от проникновения грязи; во внутренних установках они служат для защиты подшипников от избыточной смазки.

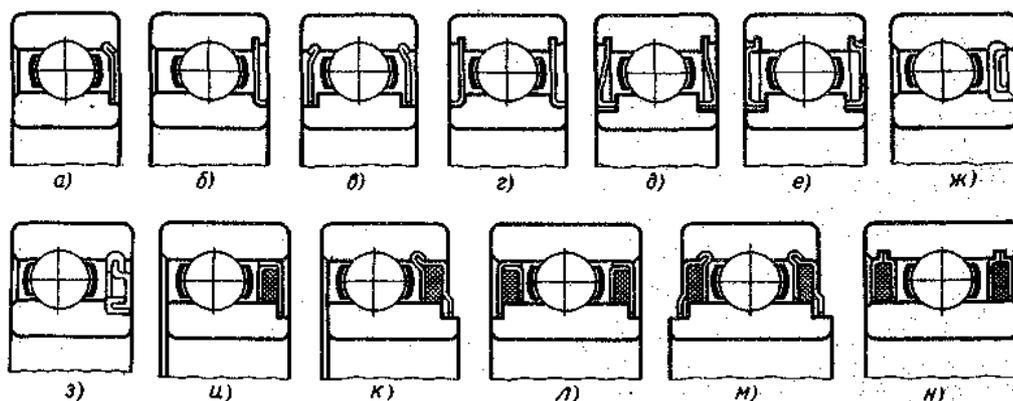


Рис. 3.33. Подшипники со встроенными уплотнениями

Для уплотнения подшипников в концевых установках применяют шайбы, спрессованные эластомерами (рис. 3.33, ж, з), или фетровые сальники (рис. 3.33, и, к).

Подшипники одноразовой смазки, во внутреннюю полость которых при выпуске с завода закладывают мерное количество пластичного смазочного материала, уплотняют шайбами (рис. 3.33, ж, з) или двусторонними фетровыми сальниками (рис. 3.33, л-н).

### Уплотнительные устройства на валах и штоках

Для предотвращения утечек смазочных жидкостей используют уплотнительные устройства различных типов (рис. 3.34–3.40).

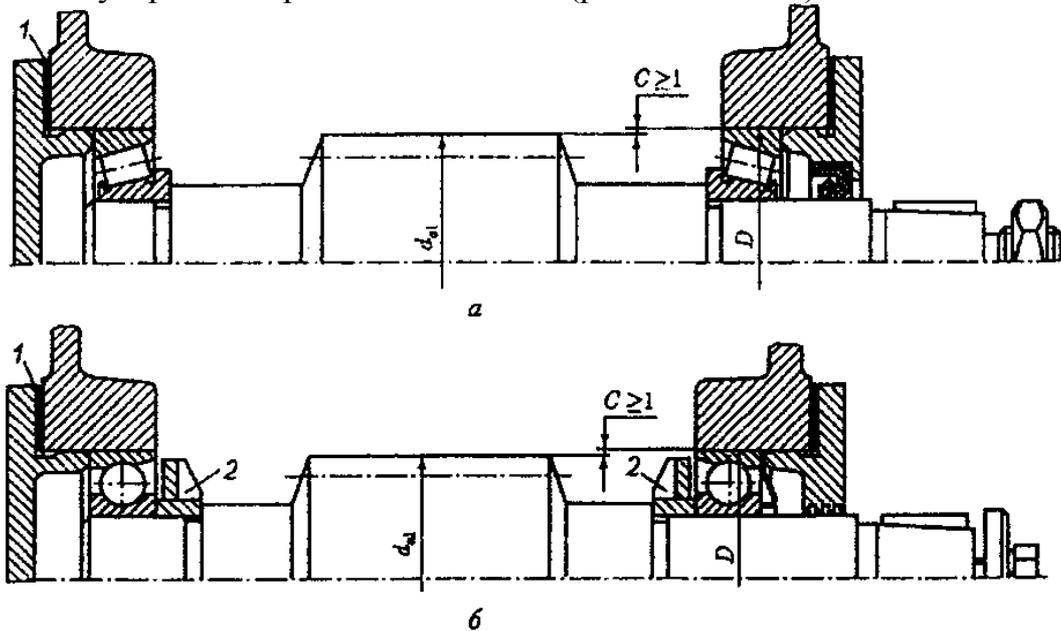


Рис. 3.34. Способы установки вала: 1 – регулировочная прокладка; 2 – распылитель-отбойник масла;  $C$  – зазор между диаметром червяка и диаметром отверстия в корпусе; а – вал с коническими роликовыми подшипниками; б – вал с радиальными шариковыми подшипниками

Уплотнения подвижных соединений очень разнообразны. В машиностроении широко применяют армированные манжеты для валов по ГОСТ 8752–79. Эти уплотнения представляют собой комплектное изделие, которое устанавливается в корпус. Манжета (рис. 3.35, а) состоит из корпуса 2, изготовленного из синтетического материала, например, маслостойкой или кислотощелочестойкой резины, каркаса в виде стального кольца Г-образного сечения 3 и браслетной пружины 1. Пружина стягивает воротник манжеты, в результате чего в контакт с валом входит рабочая кромка шириной 0,4–0,6 мм, уплотняющая вал в корпусе. Манжеты изготавливают двух типов: I – однокромочные и II – однокромочные с пыльником (рис. 3.35, б). Последние предназначены для работы в сильно загрязнённой среде. Манжеты выпускаются в двух исполнениях: 1 – с механически обработанной кромкой; 2 – с формованной кромкой. Армированные манжеты предназначены для работы в минеральных маслах, дизельном топливе, воде при избыточном давлении до 0,05 МПа, температуре от –60 до +170 °С и скорости до 20 м/с в зависимости от типа резины. Давление должно действовать со стороны браслетной пружины. Для защиты манжеты от выворачивания давлением с противоположной стороны устанавливается коническое кольцо. Для фиксации манжеты в осевом направлении применяют упор, упругое кольцо или проточку. Используются также уплотнения с винтовыми канавками на валу глубиной около 0,02 мм, которые играют роль маслоотгонных нарезок, сгоняющих масло внутрь корпуса (рис. 3.35, в). Иногда такие канавки выполняют на поверхности армиро-

ванной манжеты. Уплотнения с канавками и рисками применяют только при постоянном направлении вращения вала.

Для работы в коррозионных средах, воде, маслах используют воротниковые манжеты (рис. 3.35, *г*), фиксированные или плавающие, которые изготавливают из фторопласта в смеси с графитом, из капролона, поливинилхлорида, из кислотощёлочестойкой или маслостойкой резины. Срок службы пластмассовых манжет значительно больше, чем резиновых. При необходимости манжеты выполняют с двумя воротниками, один из которых уплотняет вал, а другой – корпус. Для уплотнения валов применяются также резиновые кольца круглого сечения по ГОСТ 9833–73 (рис. 3.35, *д*). Кольца устанавливают в канавки, предусмотренные тем же ГОСТом. Высота канавки должна быть меньше диаметра кольца на 5–6 %, что обеспечивает необходимое сжатие кольца. При расположении канавки перпендикулярно к оси вала допустимая окружная скорость не превышает 0,5 м/с. Установка кольца под углом  $\alpha$  к плоскости, перпендикулярной к оси вала, улучшает смазывание и охлаждение кольца (рис. 3.35, *е*).

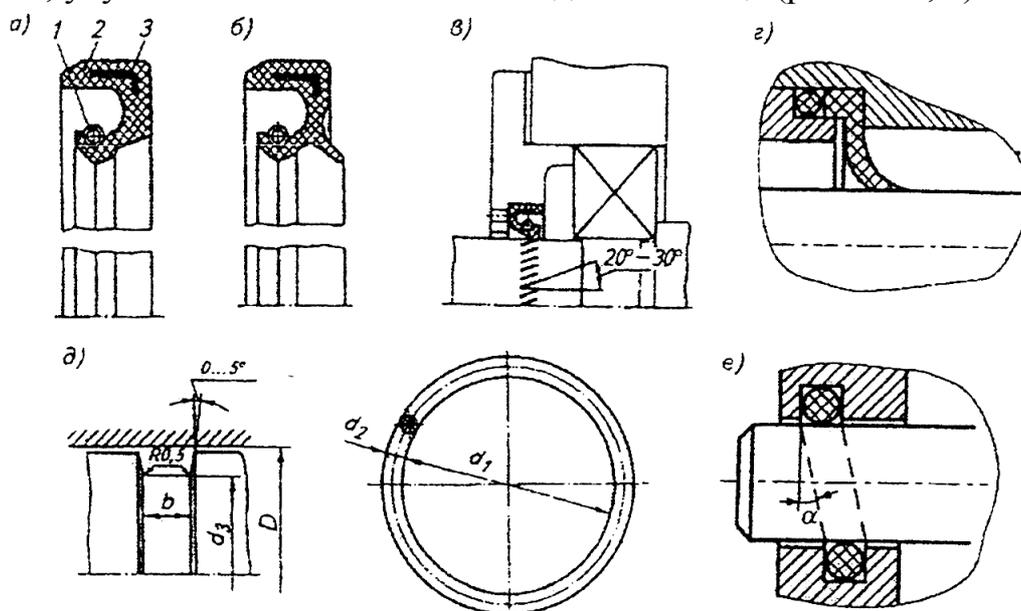


Рис. 3.35. Уплотнительные манжеты и кольца: *а* – армированная манжета с браслетной пружиной; *б* – армированная манжета с пыльником; *в* – уплотнение с винтовыми маслоотгонными канавками; *г* – воротниковая манжета из фторопласта; *д* – кольцо круглого сечения; *е* – кольцо в канавке, наклоненной к оси

Сальниковые уплотнения применяют как для низкого, так и для высокого давления. Фетровые кольцевые уплотнения (рис. 3.36, *а*, *б*) используют в основном в редукторах и приводах для предохранения от вытекания смазки. Набивные сальниковые уплотнения применяют в химических аппаратах (рис. 3.36, *в-д*). Для набивки используют фетр, хлопчатобумажные ткани, шнуры, вываренные в масле, асбест с добавлением дисульфида молибдена, металлических порошков.

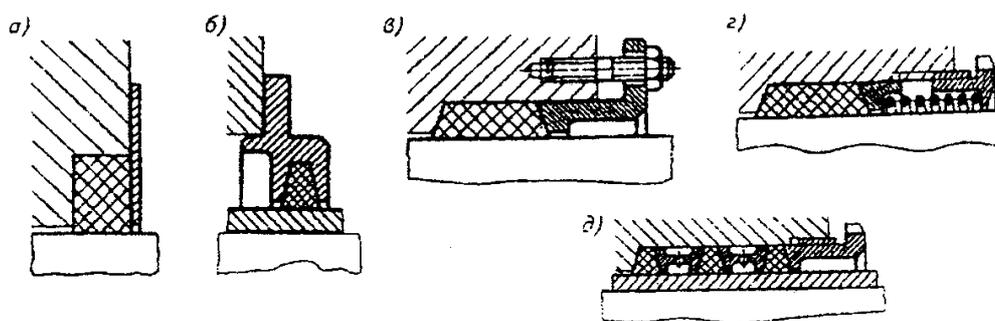


Рис. 3.36. Сальниковые уплотнения: а – набивное кольцо со съёмной крышкой; б – закладное набивное кольцо; в – поджимное уплотнение; з – самоподжимное пружинное уплотнение; д – многорядное уплотнение с распорными втулками

Поджимные и самоподжимные сальниковые уплотнения применяются при высоком давлении уплотняемой среды (выводы валов из аппаратов, гидронасосов, гидродвигателей турбин и др.). В качестве уплотнительных материалов используются хлопчатобумажные, пеньковые, асбестовые набивки в виде разрезных колец с косым срезом (внахлёт). Используются специальные комбинированные набивки. Поджимные сальники (рис. 3.36, в) требуют периодической подтяжки и допускают некоторую утечку среды. Самоподжимные (подпружиненные) сальники (рис. 3.36, з) используют для облегчения обслуживания сальника и снижения утечек.

Многорядные сальниковые уплотнения с распорными втулками (рис. 3.36, д) применяют в тех случаях, когда необходимо обеспечить слив жидкости, просочившейся через первые со стороны давления набивки, либо для подвода защитного газа.

Часто применяются статические и динамические уплотнения валов. Статические уплотнения представляют собой щелевое уплотнение, заполненное консистентной смазкой (рис. 3.34, б).

В динамических уплотнениях используется принцип взаимодействия вращающихся устройств со смазкой. Часто применяют винтовые канавочные (отгонные) устройства (рис. 3.37, а).

Так, при диаметре вала  $d = 95$  мм,  $n = 1500\text{--}3000$  об/мин, а зазоре  $s = 0,06$  мм винтоканавочное уплотнение обеспечивает возможность работы при перепаде давления  $\Delta p = 0\text{--}0,6$  МПа. Ещё более эффективны лабиринтные винтоканавочные уплотнения. Их использование позволяет многократно увеличить рабочий допустимый перепад (рис. 3.37, б).

Дисковые (гребешковые) уплотнения применяют для того, чтобы воспрепятствовать продвижению жидкости по валу и отбросить её действием центробежных сил в наружную кольцевую полость, откуда она стекает в корпус по дренажному отверстию (рис. 3.37, в, з). Использование конического диска с крыльчаткой позволяет более эффективно отражать жидкость и превращать её в туман. Последнее особенно полезно при смазке узлов масляным туманом (рис. 3.37, д).

Для герметизации соединений между валом и корпусом при больших скоростях вращения вала ( $V = 30\text{--}150$  м/с) используют центробежные бесконтактные гидродинамические (импеллерные) уплотнения (рис. 3.37, е). Они

создают гидродинамический затвор за счёт центробежных сил, возникающих при вращении в камере *A* относительно небольшого объёма жидкости крыльчаткой, укрепленной на валу. Такое уплотнение может работать при перепаде давления = 4,0–10,0 МПа. Бесконтактные гидродинамические уплотнения герметизируют соединение только при работе. Поэтому при остановке необходимо применять дополнительные (стояночные) уплотнения.

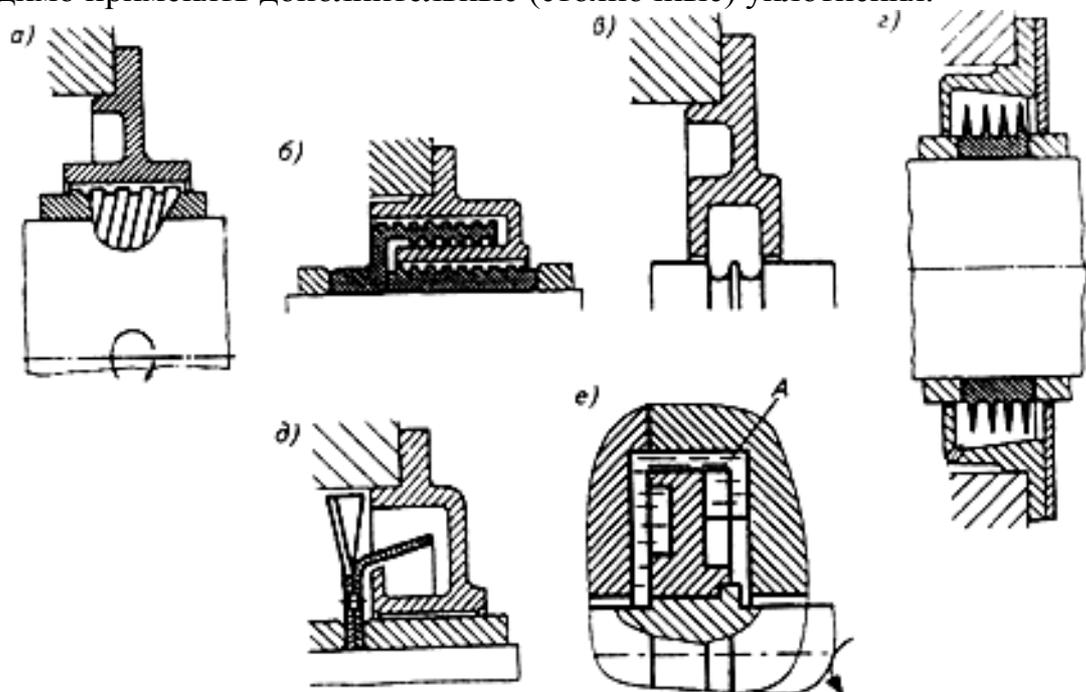


Рис. 3.37. Бесконтактные динамические уплотнения: а – уплотнение отгонной резьбой; б – лабиринтное винтовое (вихревое) уплотнение; в – дисковое (гребешковое) уплотнение; г – многодисковое уплотнение; д – уплотнение с коническим диском и крыльчаткой; е – центробежное (импеллерное) уплотнение; А – уровень масла при работе

Комбинированные уплотнения используют для повышения надёжности герметизации соединения. В них устанавливают обычно два-три уплотнения. Примером комбинированного бесконтактного уплотнения (рис. 3.38, а) может служить отражательный диск с отгонной резьбой. Бесконтактно-контактное уплотнение может состоять из отражательного диска с разрезными пружинными разрезными кольцами (рис. 3.38, б) или отражательного диска с армированной манжетой (рис. 3.38, в).

Торцовые уплотнения представляют собой комбинированные уплотнения, в которых подвижное соединение герметизируется по торцу сопрягаемых деталей, кроме того, производится уплотнение неподвижного радиального (по валу или корпусу) стыка.

В уплотнении 1 (рис. 3.38, г) кольцо изготавливают из антифрикционного материала марок АМС, АГ-1500-С05, 2П-1000Ф, а кольцо 2 – из сталей марок 1ХВ, 38ХМЮА, 40Х, ШХ15, закалённых до 48–60 HRC.

Ширину поверхности трения колец при диаметре вала 20–40 мм принимают равной примерно 3 мм, при диаметре 40–80 мм – 4 мм, а свыше 80 мм – 5 мм. Ширину поверхности трения кольца 2 делают на 2–4 мм больше, чем у кольца. Рабочие поверхности уплотнительных колец долж-

ны иметь отклонения от соосности не более 0,9 мкм, а шероховатость  $Ra \leq 0,16$  мкм. Давление на уплотняющей поверхности создаётся пружиной 3 и должно устанавливаться в зависимости от материала контактной пары в пределах  $(0,5-1,5)10^4$  Па. Различные варианты конструкции торцевых уплотнений приведены на (рис. 3.38, 2-3).

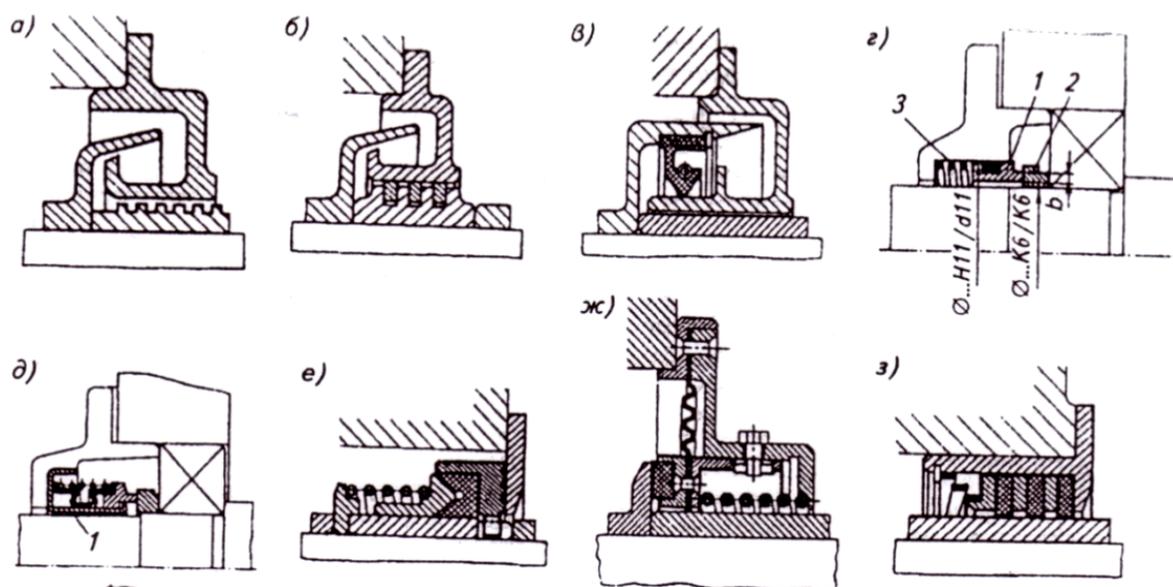


Рис. 3.38. Комбинированные уплотнения вращающихся узлов: а – уплотнение с отражательным диском и отгонной резьбой; б – уплотнение с отражательным диском и пружинными разрезными кольцами; в – уплотнение с отражательным диском и армированной манжетой; г – торцевое уплотнение с резиновым кольцом; д – торцевое уплотнение с резиновой гофрированной манжетой; е – торцевое уплотнение с воротниковой манжетой; ж – торцевое уплотнение с мембраной; з – многодисковое торцевое уплотнение с плавающими дисками

При уплотнении штоков и цилиндров уплотнения обеспечивают плотность соединения и позволяют создавать необходимые усилия.

Уплотнения деталей, движущихся возвратно-поступательно, разделяют по принципу их действия на контактные (сальники, манжеты, кольца, клапаны) и на бесконтактные упругие деформируемые (сильфонные, мембранные), а также щелевые.

По материалам уплотнительных поверхностей их разделяют на металлические (стальные, чугунные, бронзовые и др.) и неметаллические (резиновые, пластмассовые, асболополимерные, графитные, керамические, композитные).

Сальниковые уплотнения, применяемые для герметизации, в основном, штоков, по конструкции и условиям применения не отличаются существенно от подобных уплотнений для валов, и при их разработке можно пользоваться рекомендациями [4].

В условиях высоких давлений и температур используют сальники с пружинно-затяжными кольцами, состоящие из набора конических колец, поджимаемых в осевом направлении грундбуксой (рис. 3.39, а). Угол конуса стыкуемых колец должен быть больше угла трения во избежание их заклинивания при затяжке. Наружные кольца должны быть менее жёсткими

ми, чем внутренние, и плотно прилегать к поверхности корпуса ранее, чем будет произведена окончательная затяжка.

Используются также шевронные резинотканевые манжеты (ГОСТ 22704–77), предназначенные для герметизации штоков и цилиндров диаметром от 8 до 2000 мм, работающие при скоростях до 3 м/с, температуре от  $-50$  до  $+100$  °С и давлении до 63 МПа в среде минерального масла, нефти, пресной и морской воды, эмульсий и растворов. Материал манжет – ткань доместик (ГОСТ 1104–69), промазанная с двух сторон составом на основе сырой резины с добавкой графитовой пудры.

Шевронные манжеты используются в виде набора необходимого их количества (рис. 3.39, б). Диаметр и высота манжет выбираются из размерных рядов стандарта, длина их определяется согласно рекомендациям; со стороны, противоположной давлению, устанавливается опорное кольцо, а со стороны подачи давления среды – нажимное. Первоначальное осевое поджатие устанавливается в пределах 2–5 % первоначальной длины набора путем подтяжки нажимной буксы. По мере изнашивания уплотнения предусматривается периодическая подтяжка вплоть до уменьшения длины уплотнения на 20–30 % от начальной длины.

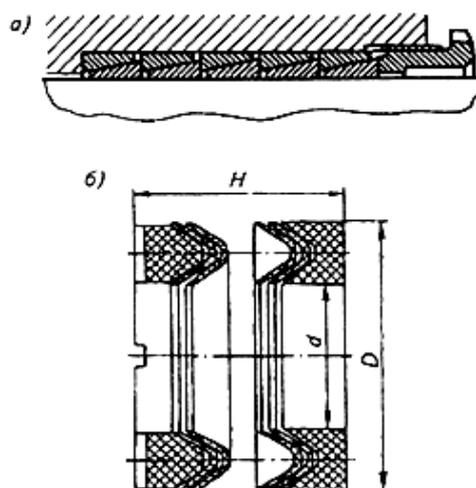


Рис. 3.39. Сальниковые уплотнения штоков и цилиндров: а – уплотнение с пружинно-затяжными кольцами; б – шевронные резинотканевые манжеты

Полиамидные шевронные манжеты, выпускаемые по нормали МП 5652–18, предназначены для герметизации штоков и цилиндров диаметром 12–750 мм на скоростях до 2 м/с при температуре от  $-50$  до  $+225$  °С и давлении до 100 МПа в среде воды, эмульсий и нейтральных растворов. По конструктивной схеме эти манжеты аналогичны резинотканевым шевронным.

Фторопластовые манжеты используются для тех же целей при скоростях до 0,015 м/с, температуре от  $-50$  до  $+225$  °С и давлении до 6,4 МПа.

Целесообразно использовать для изготовления манжет фторопласт с добавками графитовой пудры, дисульфида и мелкодисперсных наполнителей.

Манжетные уплотнения распространены очень широко. Уплотнительные резиновые манжеты для гидросистем (ГОСТ 14896–84) выпускаются трёх типов. Манжеты типа 1 используются для герметизации штоков и цилиндров диаметром 4–950 мм при скоростях  $\leq 0,5$  м/с при температуре от  $-60$  до  $+200$  °С (рис. 3.40, а) и давлении 0,1–50,0 МПа.

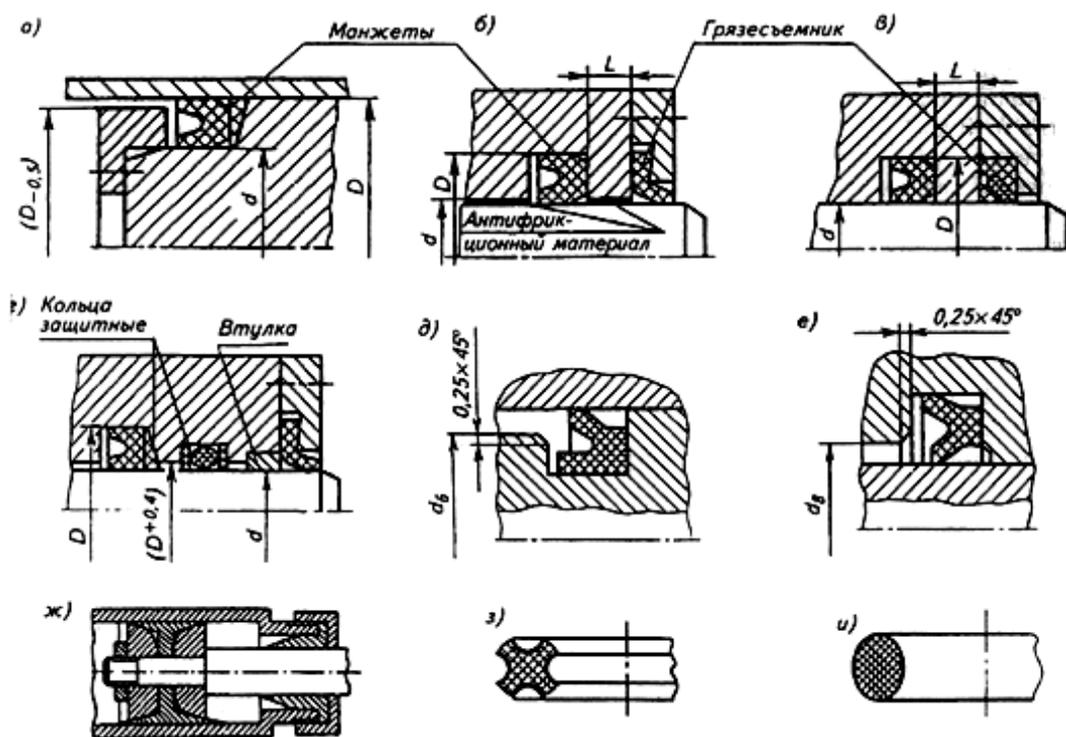


Рис. 3.40. Установка уплотнительных манжет, грязесъемников и защитных колец: а – манжеты для гидросистем; б – грязесъемник резиновый; в – грязесъемник с фторопластовым скребком; г – защитные кольца; д – манжета пневмосистем для поршня; е – манжета пневмосистем для штока; ж – металлические манжеты; з – кольцо Х-образного сечения; и – овальное кольцо

Для ремонтных работ предназначены манжеты типа 2, которые можно использовать при давлении 0,25–32,0 МПа. Манжеты типа 3 предназначены для давлений 1–50 МПа. Нормы на герметичность на эти манжеты установлены следующие: утечка в статике для всех типов не допускается, в работе для манжет типов 1 и 2 допустимая утечка не должна превышать  $0,5 \text{ см}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2)$ , а для манжет типа 3– $0,2 \text{ см}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2)$ . Фактическая удельная утечка  $U$  ( $\text{см}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2)$ ) определяется по формуле

$$U = \frac{Q}{\pi D L n}, \quad (3.29)$$

где  $Q$  – абсолютная утечка;  $D$ ,  $L$  – диаметр и длина манжеты соответственно;  $n$  – число манжет.

Для изменения числа оборотов валов используют зубчатые, фрикционные передачи и передачи с гибкой связью.

### 3.2.5. Соединения деталей (резьбовые, шпоночные, шлицевые, штифтовые, клиновые, сварные, заклёпочные)

Под *соединениями* в машиностроении понимают соединительные детали (винты, болты, шпонки и др.) и прилегающие части соединяемых узлов и деталей, вид и форма которых определяется задачей соединения. Соединения позволяют собрать из отдельных узлов и деталей машину, аппарат, агрегат и др.

Соединения разделяют на разъёмные, позволяющие многократные сборки-разборки (резьбовые, клиновые, шпоночные, шлицевые, штифто-

вые), и неразъёмные, которые без разрушения места соединения разобрать невозможно (сварные, заклёпочные и др.). В месте контакта и в соединяемых деталях должна обеспечиваться *равнопрочность*. Соединения сосудов и трубопроводов должны удовлетворять условиям плотности (герметичности). При необходимости обеспечения высокой точности под действием нагрузок соединение должно обеспечивать жёсткость, т. е. деформации не должны превышать деформации, установленные требованиями к изделию. Под действием знакопеременных нагрузок в соединениях должна быть достигнута виброустойчивость. Все эти требования должны обеспечиваться правильным выбором и расчётом соединения.

### **Резьбовые соединения**

Резьбовые соединения выполняются соединительными деталями – болтами, винтами, шпильками, а также соединительными деталями с резьбой. В основном, резьбовые соединения рассчитаны на восприятие осевой продольной нагрузки. Различают ненапряжённые и напряжённые соединения.

Ненапряжённые соединения воспринимают нагрузку только после её приложения, например, сила веса на крюке при подъёме, сила тяги только с момента трогания [4]. В напряжённом соединении возникают при затяжке значительные растягивающие нагружения и напряжения скручивания. В обоих случаях расчёт соединения проводится на растяжение-сжатие. Учёт скручивания проводится увеличением растягивающей силы на 25–35 %.

Поперечная нагрузка в резьбовых соединениях воспринимается точёными или цилиндрическими болтами, установленными в отверстия в обеих деталях из-под развёртки, болтами, установленными с зазором и разгрузочными элементами, помещёнными в стыки. При первом варианте стержень болта работает на срез и на сжатие и рассчитывается на эти виды деформации под действием поперечной нагрузки. При втором варианте поперечная сила воспринимается силой трения, возникающей при сжатии стыка в результате затяжки болта. Болт в этом случае работает на растяжение. В последнем случае в стыке располагают шпонку, штифт или уступ (рис. 3.41), которые рассчитывают на срез и сжатие под действием силы  $P$ .

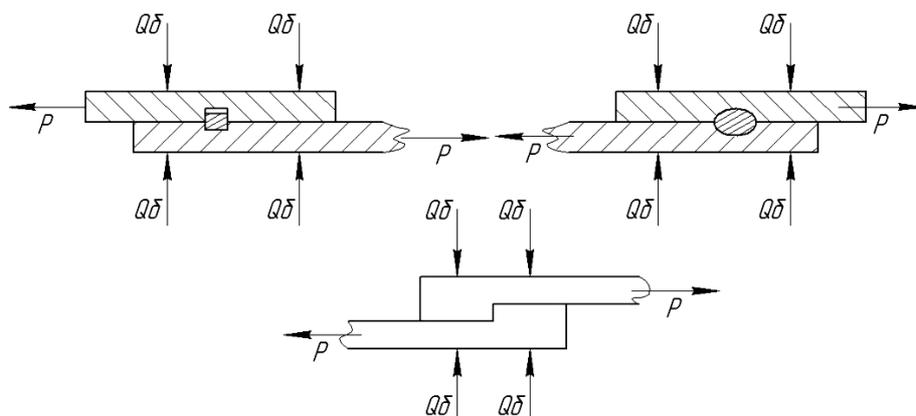


Рис. 3.41. Варианты применения устройств, разгружающих болты от поперечных нагрузок:  $Q_{\delta}$  – сила растяжки стыков болтами;  $P$  – поперечная сила

Во всех случаях по значению рассчитанных сил (растяжения, среза, смятия) определяется диаметр стержня болта и по стандартам для соответ-

ствуюющей соединительной детали (винт, болт, гайка) подбирается её типоразмер и обозначение по ГОСТу. Выбор производится с учётом компоновки изделия.

В машиностроении применяют три основных вида резьбовых крепёжных соединений:

- болтовые с гайками (рис. 3.42, I);
- ввёртными болтами (винтами) (рис. 3.42, II, III);
- шпильками (рис. 3.42, IV, V).

Возможны промежуточные соединения между болтом и шпилькой (рис. 3.42, VI).

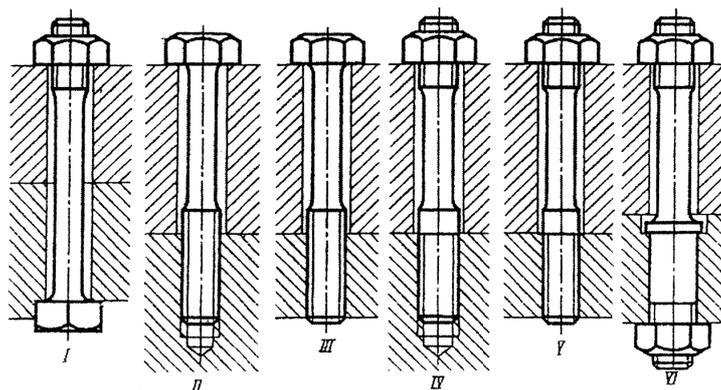


Рис. 3.42. Основные разновидности крепёжных соединений

Стандартами предусмотрена широкая номенклатура крепёжных деталей. В ряде случаев применяют их специальные виды.

Так, на рис. 3.43 приведены различные формы головок болтов. Головки с отверстиями (рис. 3.43, а) используются для фиксации против отворачивания болта методом вязки проволокой. Головка с квадратным подголовником (рис. 3.43, б) предотвращает поворот болта при затяжке. Головки с усом стопорятся от проворачивания путём врезания в край отверстия детали (рис. 3.43, в, г).

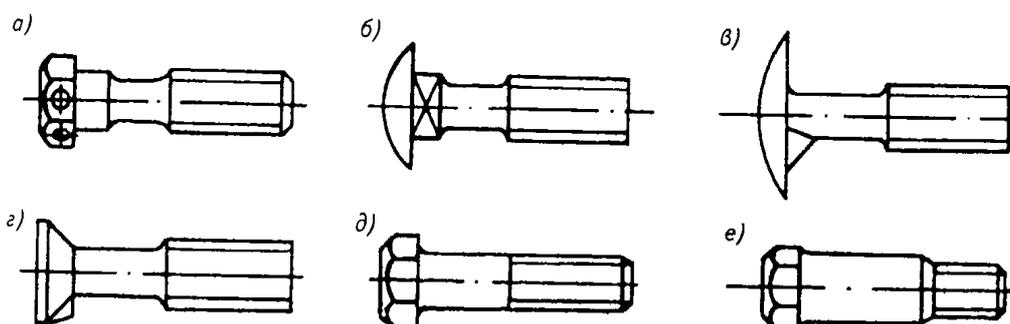


Рис. 3.43. Формы головок болтов: а – шестигранная с отверстиями; б – полукруглая с квадратным подголовником; в – полукруглая с усом; г – потайная с усом; д, е – шестигранная

Гайки и головки болтов бывают квадратные, шестигранные (рис. 3.43, д, е) (облегчённые, нормальные и увеличенные).

Размеры «под ключ» определены стандартами: 3; 3,2; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,6; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 17; 19; 22; 24; 27; 30; 32; 36; 41; 46; 50; 55; 60 и далее до 250 мм.

В отдельных отраслях бывают и другие размеры «под ключ». Применяют также головки болтов с накаткой и внутренним шестигранником (ввёртными элементами) (рис. 3.44, 3.45).

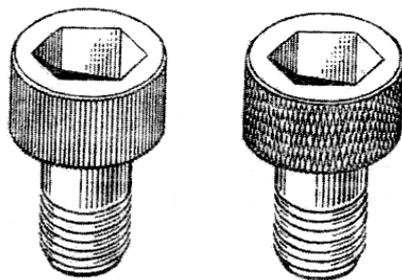


Рис. 3.44. Головки болтов с наружной накаткой и с внутренним шестигранником

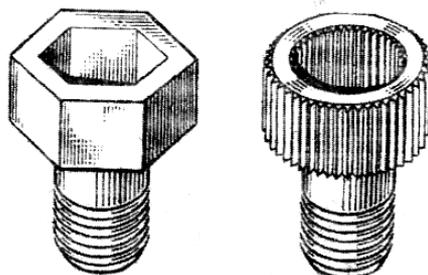


Рис. 3.45. Головки болтов с внутренней и наружной накаткой

Торцы нарезных концов болтов, винтов и шпилек (хвостовики) делают разной формы (рис. 3.46).

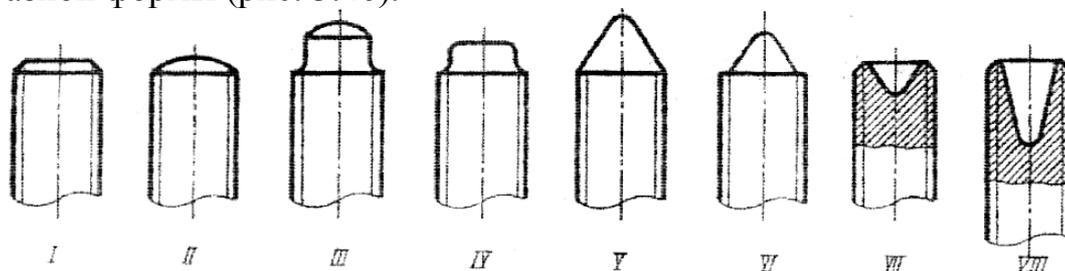


Рис. 3.46. Конструктивные формы торцов нарезных концов стержней

Помимо плоских торцов болтов обычного исполнения (рис. 3.46, I) делают для нажимных болтов сферические торцы (рис. 3.46, II, III). Хвостовик по рис. 3.46, IV выполняют для крупных болтов и винтов, заострённые хвостовики делают для направления болта в нарезное отверстие в труднодоступных местах (рис. 3.46, V, VI). Хвостовики с углублениями (рис. 3.46, VII, VIII) делают для увеличения податливости крайних витков.

При затяжке болт должен быть надёжно зафиксирован от проворачивания и от выпадения (при нижнем положении головки). Лучше это делать без использования ключа. Способы фиксации болта от проворота показаны на рис. 3.47.

Фрикционная фиксация коническим подголовником нежёсткая и не очень надёжная (рис. 3.47, I–III). Широко применяется фиксация по грани или лыске головки (рис. 3.47, IV, V). Способы, показанные на рис. 3.47, VI–X, применяют только в специальных случаях, так как они довольно дорогие.

Способы фиксации усиками или квадратными подголовниками сейчас не применяют из-за нетехнологичности.

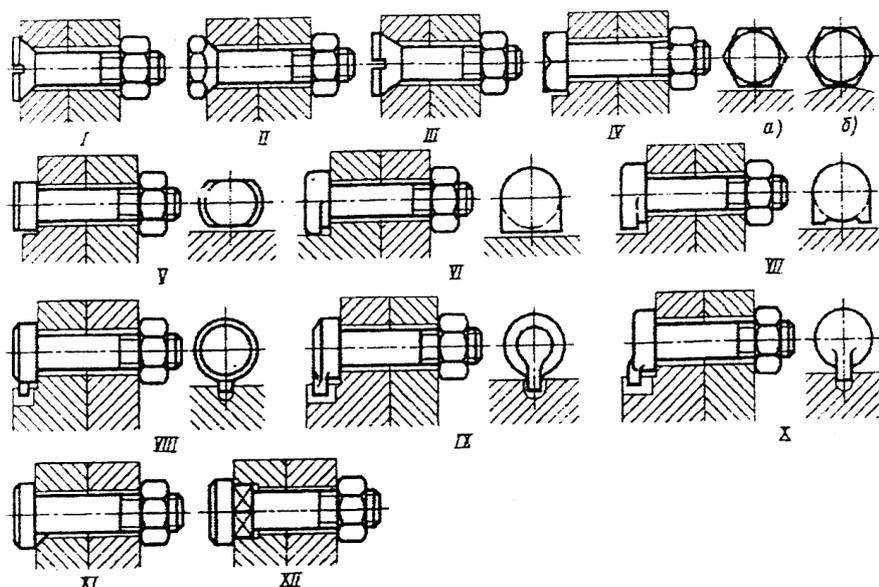


Рис. 3.47. Способы фиксации болтов от проворота при затяжке

Часто применяют специальные болты с Г-образной головкой, с Т-образной головкой, откидные болты и др. [37].

Очень разнообразны винты (стандартные и специальные). Так, применяют винты с головкой под отвёртку (рис. 3.48) и с усиленными завёртными элементами – головкой (рис. 3.49).

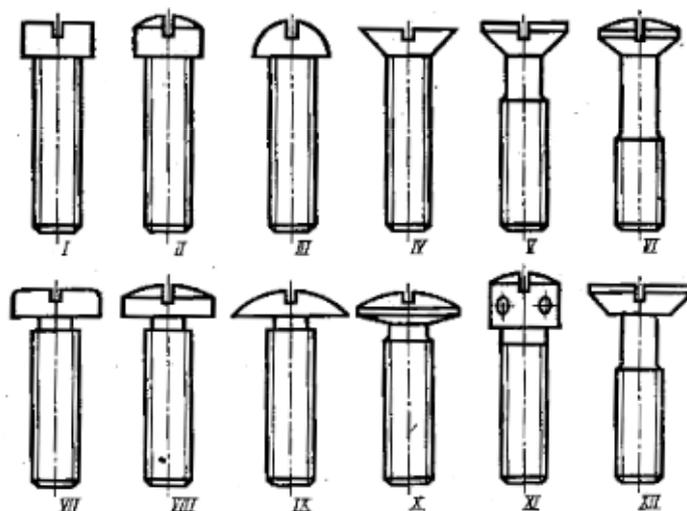


Рис. 3.48. Основные типы винтов под отвёртку

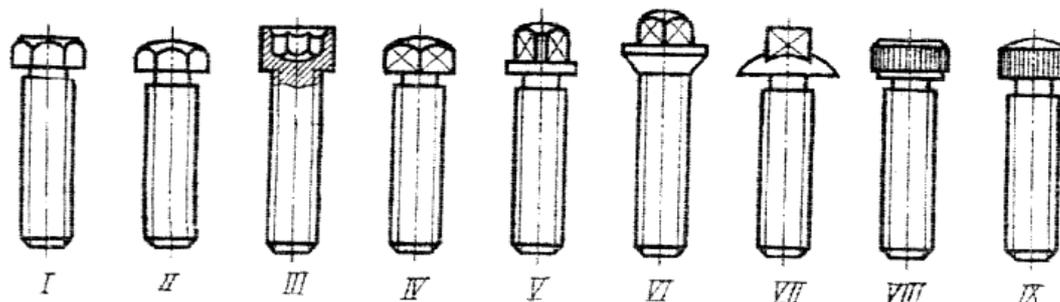


Рис. 3.49. Винты с усиленными завёртными элементами

Винты бывают крепёжные и установочные. Установочные винты применяют для фиксации деталей (рис. 3.50).

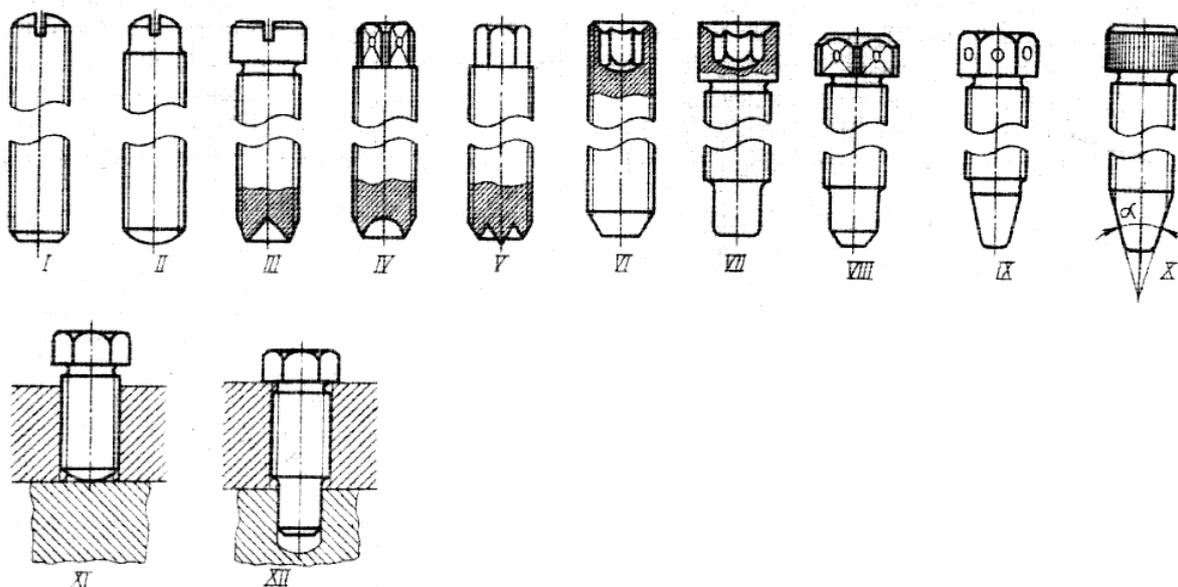


Рис. 3.50. Основные типы установочных винтов

Применяют винты нажимные (рис. 3.50, I–V) и врезные (рис. 3.50, VI–VII), входящие хвостовиком в отверстие фиксируемой детали. Нажимные винты менее надёжны, поэтому чаще применяются врезные винты.

Шпильки также очень разнообразны. Используются стандартные и специальные шпильки [4; 37]. Некоторые их типы показаны на рис. 3.51.

При ввёртывании шпилек или болтов в корпуса из лёгких сплавов, мягкой стали, чугуна применяют резьбовые ввёртные втулки (футорки, гужоны) (рис. 3.52). Гайки применяют в зависимости от назначения различной конструкции (рис. 3.53–3.56).

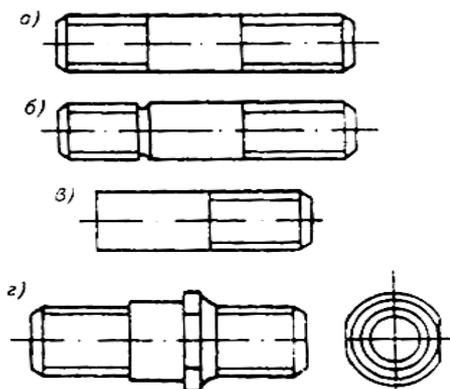


Рис. 3.51. Типы шпилек: а – обыкновенная; б – с канавкой; в – односторонняя; з – с выступом под ключ

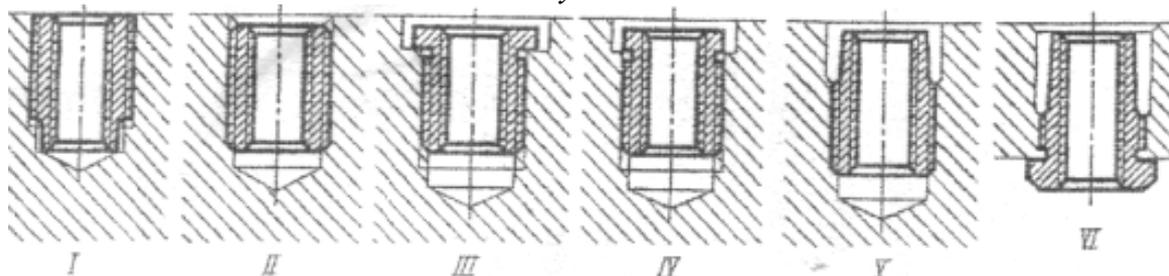


Рис. 3.52. Конструкции футорок

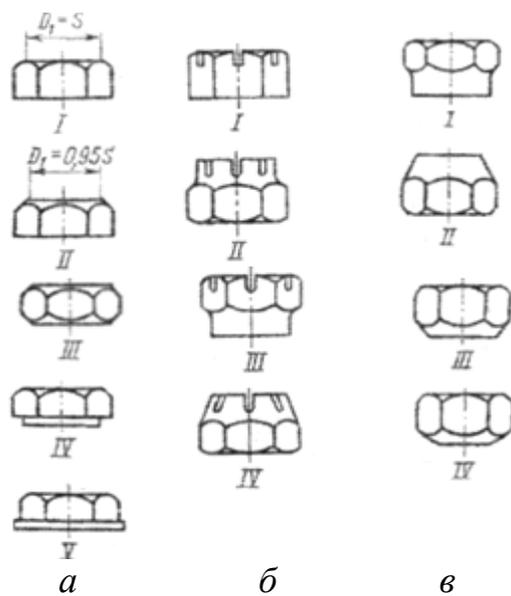


Рис. 3.53. Типы шестигранных гаек: а – основные типы; б – типы гаек под шпильты; в – специальные гайки

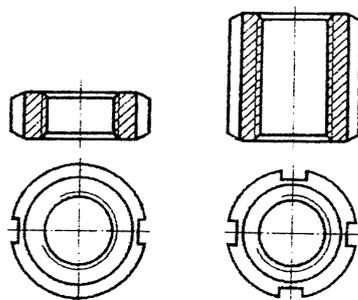


Рис. 3.54. Гайки с продольными пазами под ключ

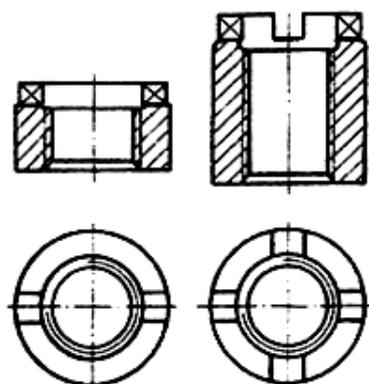


Рис. 3.55. Гайки с торцовыми пазами под ключ

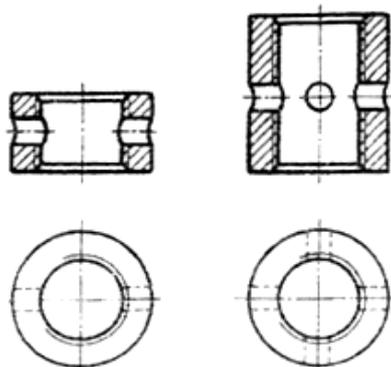


Рис. 3.56. Гайки с радиальными отверстиями под ключ

Применяют также кольцевые гайки с радиальными и кольцевыми отверстиями под специальные ключи, с наружным шестигранником. Эти гайки применяют для крепления подшипников на валах.

Для предотвращения самоотвёртывания резьбовых соединений при работе применяют их стопорение. Для этого используют различные способы стопорения: жёсткое, фрикционное, упругое и смещенное.

Для жёсткого стопорения применяют шплинты (рис. 3.57), эгибные шайбы (рис. 3.58–3.60), вязку проволокой (рис. 3.61, 3.62).

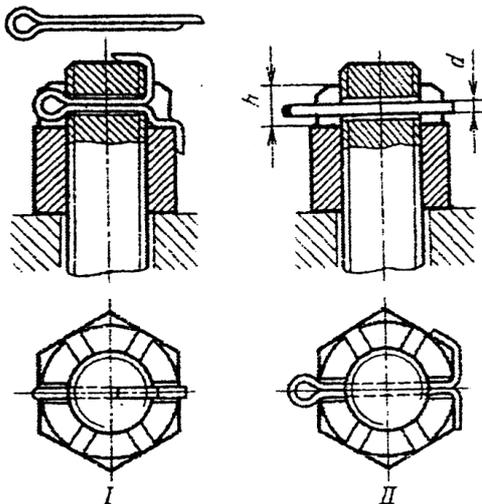


Рис. 3.57. Стопорение с отгибкой концов шплинта: I – на торец болта и грань гайки; II – на грани гайки

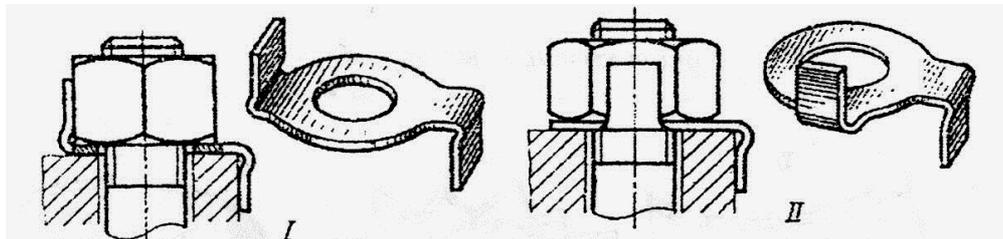


Рис. 3.58. Стопорение шайбой с отгибными лапками

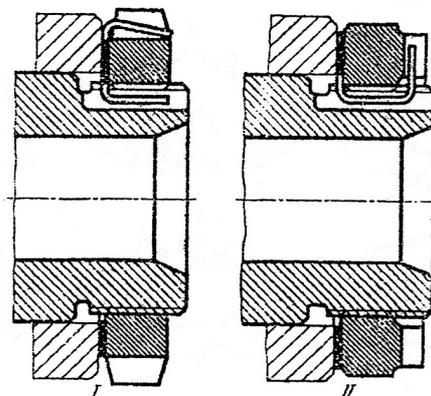


Рис. 3.59. Способы стопорения гаек лепестковыми шайбами на высокооборотных валах: I – не рекомендуемый; II – рекомендуемый

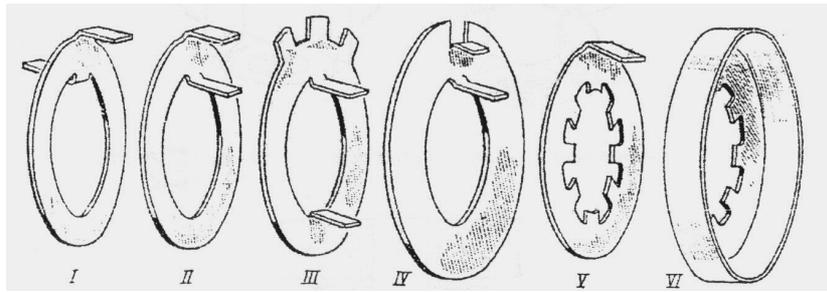


Рис. 3.60. Разновидности стопорных шайб

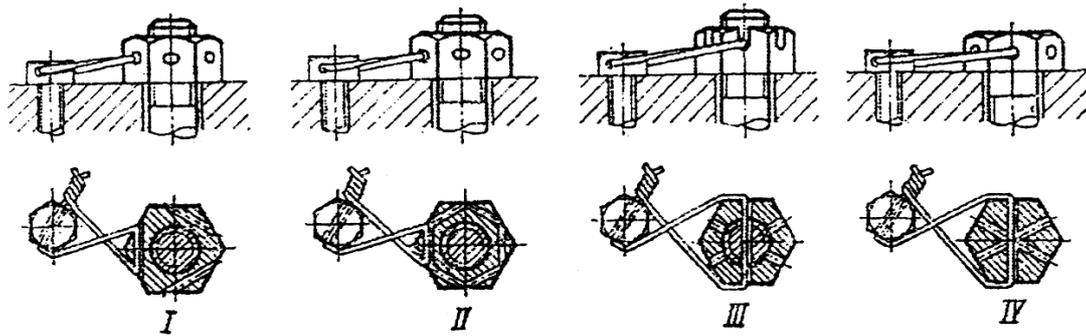


Рис. 3.61. Стопорение гаек вязкой проволоки

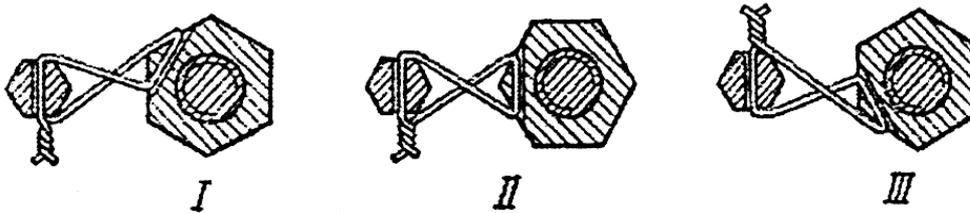


Рис. 3.62. Способы вязки проволоки: I, II – неправильные; III – правильный

Для упругого стопорения применяют упругие разрезные шайбы – шайбы Гровера (рис. 3.63), конические пружинные шайбы (рис. 3.64), храповые шайбы (рис. 3.65, 3.66) и множество других вариантов.

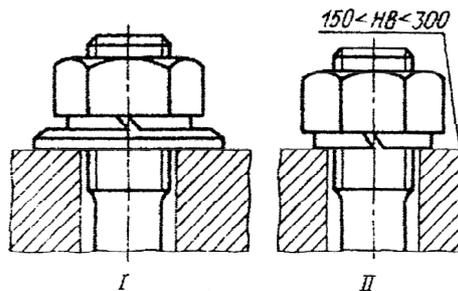


Рис. 3.63. Установка шайб Гровера с учётом твёрдости поверхности

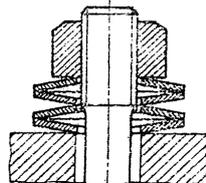


Рис. 3.64. Стопорение набором конических пружинных шайб

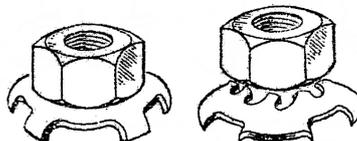


Рис. 3.65. Стопорение гайки выпуклыми храповыми шайбами

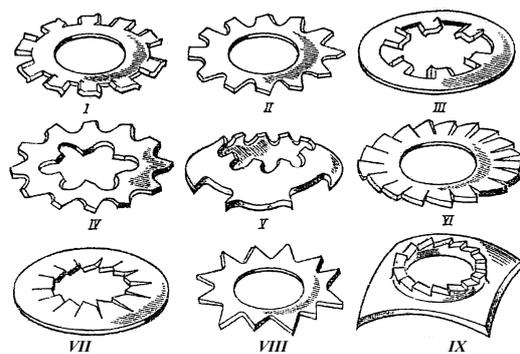


Рис. 3.66. Формы храповых шайб

При конструировании резьбовых соединений необходимо предусмотреть возможность завёртывания гаек ключом, чтобы обеспечить поворачивание ключа на максимальный угол (рис. 3.67–3.71).

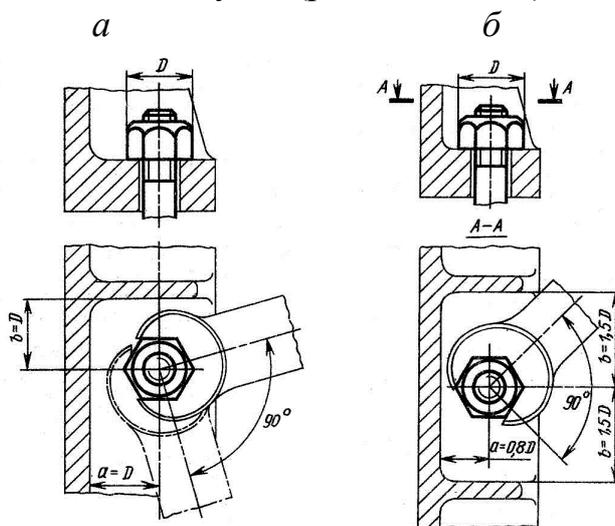


Рис. 3.67. Завёртывание гайки ключом с размахом  $90^\circ$ : а – при наличии ограничивающей стенки; б – при наличии двух ограничивающих стенок

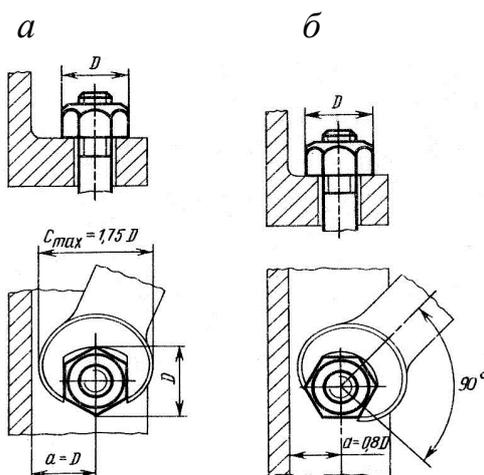


Рис. 3.68. Завёртывание гайки ключом: а – с размахом  $180^\circ$ ; б – с размахом  $90^\circ$

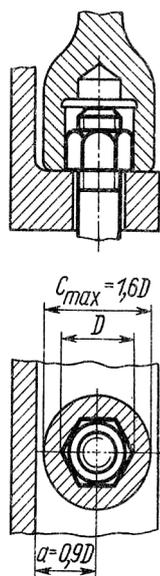


Рис. 3.69. Завертывание гайки торцевым массивным ключом

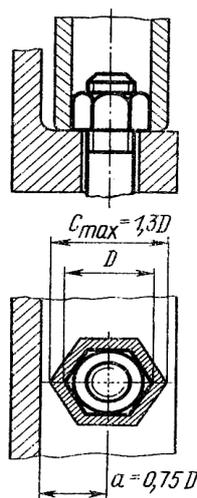


Рис. 3.70. Завертывание гайки тонкостенным трубчатым ключом

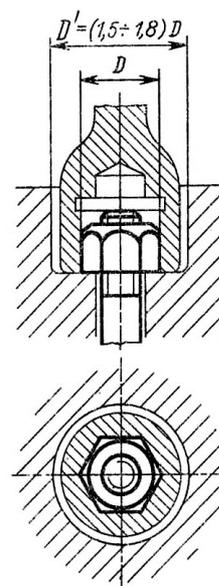


Рис. 3.71. Завертывание утопленной гайки торцевым ключом

### Клиновые соединения

Клиновым называют разъёмное соединение, затягиваемое или регулируемое с помощью клина. На рис. 3.72 показаны два примера соединения стержня с втулкой с помощью клина. Стержень входит в отверстие втулки. Он имеет клинообразный паз с уклоном, равным углу уклона клина. Соединение обычно затягивают забиванием клина либо затяжкой с помощью винта.

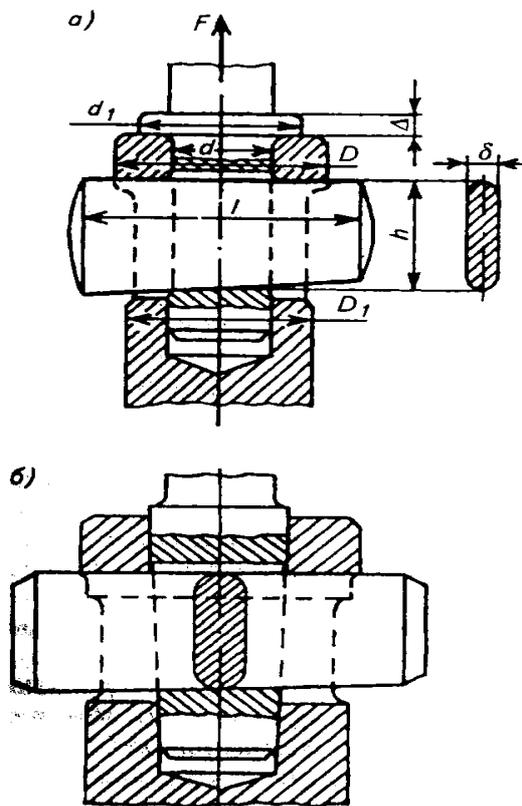


Рис. 3.72. Клиновые соединения стержня с втулкой: а – с буртиком; б – с конусом

Взаимная ориентация и фиксация стержня во втулке осуществляется по цилиндрической поверхности и торцу (рис. 3.72, а) или по конической поверхности стержня и втулки (рис. 3.72, б).

Достоинствами клинового соединения является простота его конструкции, быстрота сборки, возможность создания больших сил затяжки и восприятия значительных нагрузок. По назначению клиновые соединения разделяют на силовые, применяемые для прочного соединения деталей (рис. 3.72), и установочные, предназначенные для установки и регулирования требуемого взаимного положения узлов и деталей.

Примерами применения силовых клиновых соединений являются: соединения тяг, поршневых штоков с ползунами, затяжка горячих фланцевых соединений с помощью тяг с клиньями и др. Типовыми примерами установочных клиновых соединений являются регулировочные башмаки (рис. 3.73). В них клин устройства, перемещаемый в горизонтальном направлении, поднимает или опускает установленную на них машину или узел.

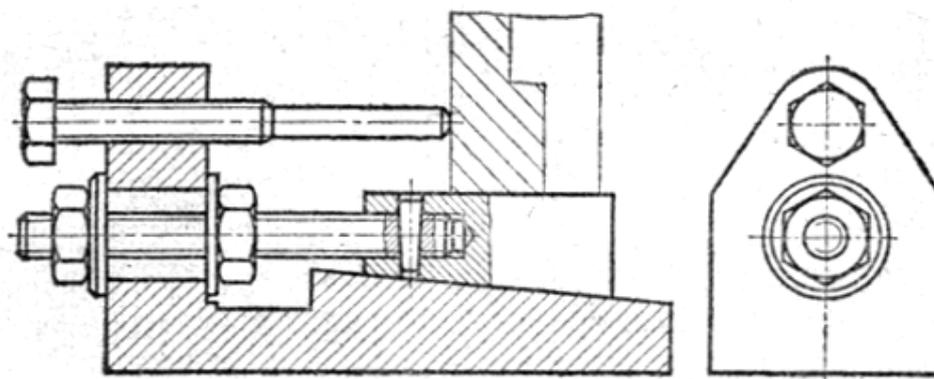


Рис. 3.73. Установочное клиновое устройство – башмак для выверки машин

Клиновые соединения представляют оригинальные конструкции, разрабатываемые для конкретных случаев. В силовых соединениях детали (клин, стержень, втулка) работают и рассчитываются на срез и на смятие, а также на растяжение в зоне паза. Толщина клина  $\delta$  и высота его сечения  $h$  выбираются из условия равнопрочности стержня на растяжение и смятие клином в зависимости от диаметра стержня  $d$

$$\delta = (0,25 \dots 0,3)d. \quad (3.30)$$

$$h \geq 2,5\delta. \quad (3.31)$$

### **Шпоночные и шлицевые соединения**

**Шпонка** – это продольный клин, установленный в пазы сопряжённых деталей параллельно оси детали или плоскости разъёма для передачи крутящего момента или поперечных (перерезывающих) сил. Наибольшее распространение шпонки получили при соединении вращающихся деталей, насаженных на валы и оси (шкивов, зубчатых колес, маховиков, рукояток и т. п.). Иногда шпонки применяют для фиксации сопряженных плоских деталей, например, для разгрузки болтом от поперечных сил, опор подшипников и т. п. шпонки являются типовыми деталями и применяются в соответствии с действующими ГОСТами.

Шпоночные соединения и шпонки делятся на три группы:

Первая группа – шпонки клиновые (затяжные), образующие в сборе с валом и втулкой соединение, находящееся в напряженном состоянии под действием предварительной затяжки и при отсутствии внешних сил и моментов. В эту группу входят шпонки врезные, шпонки на лыске, фрикционные и тангенциальные.

Вторая группа – шпонки призматические (обыкновенные, вставляемые в паз на валу, с креплением в пазу вала и скользящие). Они относятся к соединениям ненапряжённого состояния, так как без внешней нагрузки в соединяемых деталях отсутствуют действующие напряжения.

Третья группа – шпонки сегментные, так же образующие ненапряжённые соединения.

Шпонки первой группы представляют собой клин прямоугольного сечения. Верхнюю грань шпонки делают с уклоном 1:100. Натяг между валом и ступицей создают путём забивания врезной шпонки (рис. 3.74–3.76) в паз втулки или вала (рис. 3.74, а, в) или затяжкой шпонки в осевом направлении гайкой (рис. 3.74, б). Шпонка на лыске устанавливается в паз втулки и, соответственно, на лыску вала. Паз вала и лыска выполняются параллельно оси вала, а плоскость паза во втулке делается с уклоном 1:100.

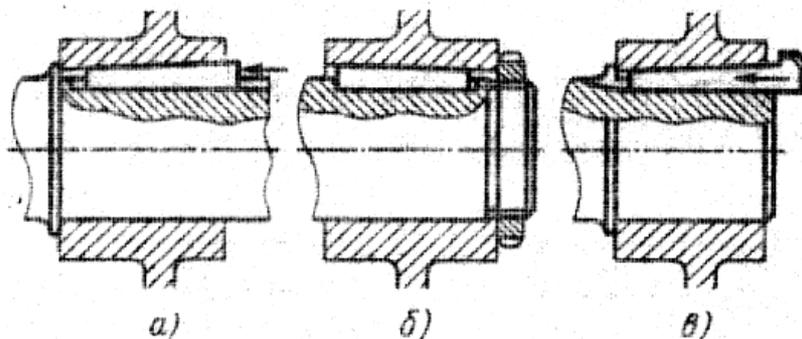


Рис. 3.74. Установка клиновых шпонок

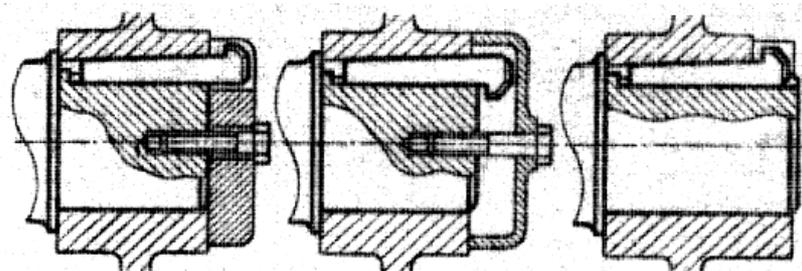


Рис. 3.75. Установка забивных шпонок с головками

Клиновые шпонки (рис. 3.76) устанавливаются в паз втулки на гладком полу. Крутящий момент возникает между шпонкой и валом при затяжке из-за сил трения. Для увеличения сцепления шпонки с валом на шпонке выполняются продольные выступы.

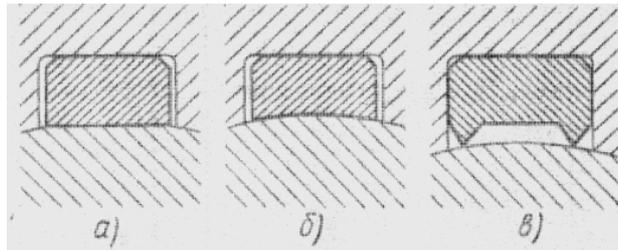


Рис. 3.76. Клиновые шпонки

Тангенциальные шпонки состоят из двух клиньев с боковыми односторонними скосами. Клинья забиваются в паз со сдвигом друг относительно друга. Паз образуется угловыми уступками на валу и во втулке (рис. 3.77).

Шпонки входят в паз ступицы так, что между шпонкой и дном паза остаётся зазор (рис. 3.78, а). Для увеличения прочности заделки шпонки в пазу вала, во избежание её выворачивания из паза, глубину паза в валу увеличивают (рис. 3.78, б).

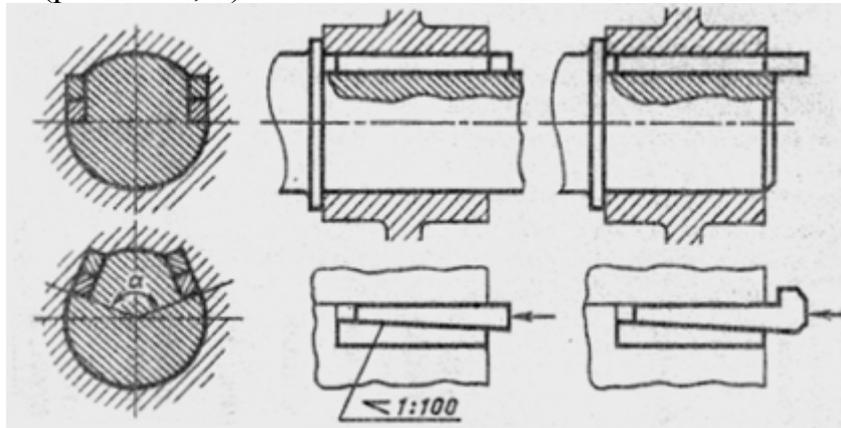


Рис. 3.77. Тангенциальные шпонки

Наибольшее распространение получили призматические шпонки (рис. 3.78).

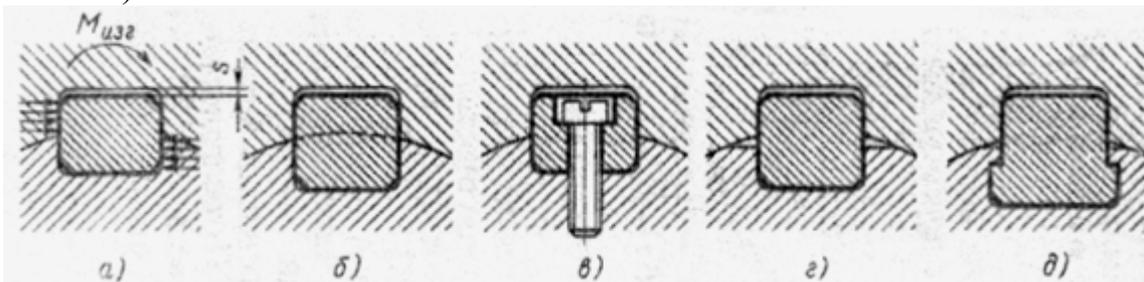


Рис. 3.78. Установка призматических шпонок

На валу шпонки крепят винтами со шлицем под отвёртку в головке (рис. 3.78, в) или с головкой с внутренним шестигранником. Для повышения прочности заделки шпонки на валу её выполняют, как показано на рис. 3.78, д. Для повышения прочности заделки и повышения сопротивления усталости по контуру паза на валу проводят обчеканку (рис. 3.78, з, д).

Сегментные шпонки (рис. 3.79) устанавливают в сегментном пазу на валу.

Возможны различные варианты установки сегментных шпонок. На рис. 3.79, а втулка с цилиндрическим посадочным отверстием и пазом, параллельным оси, фиксируется гайкой с упором в буртик вала. На рис. 3.79, б осевая фиксация обеспечивается насадкой ступицы гайкой по уклону паза ступицы. Возможна осевая фиксация гайкой по выступу на шпонке

(рис. 3.79, в). На рис. 3.79, г фиксация обеспечивается посадкой на конический хвостовик вала с помощью гайки с расположением шпонки в пазу параллельно оси. На рис. 3.79, д показана посадка ступицы на конус вала с пазом, имеющим уклон. Из этих вариантов наиболее удобны и технологичны варианты, показанные на рис. 3.79, а и рис. 3.79, г.

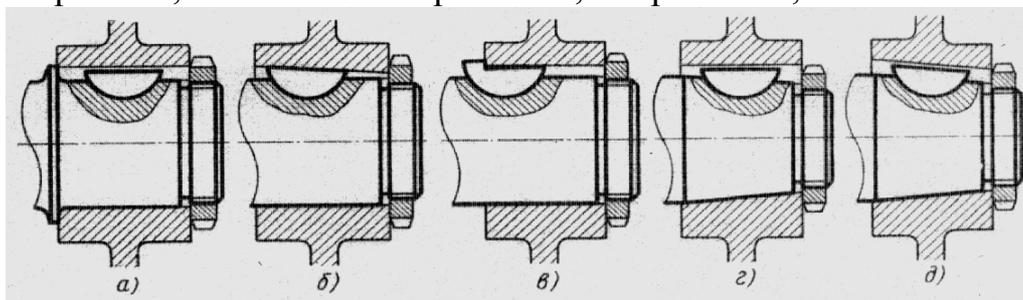


Рис. 3.79. Установка сегментных шпонок

Шпоночные соединения рассчитываются на прочность при смятии и проверяются на срез и на изгиб.

*Шлицевые соединения* образуются выступами на валу и соответствующими (ответными) впадинами во втулке (ступице). Иногда их называют многошпоночными соединениями. Шлицевые соединения имеют значительные преимущества перед шпоночными по прочности, технологичности и точности. Применяются эти соединения в различных отраслях машиностроения (авто- и тракторостроения, танкостроения и др.). Широко используются соединения со шлицами прямоугольного профиля (рис. 3.80, а), эвольвентного (рис. 3.80, б), треугольного (рис. 3.80, в) и трапецидального (рис. 3.80, г).

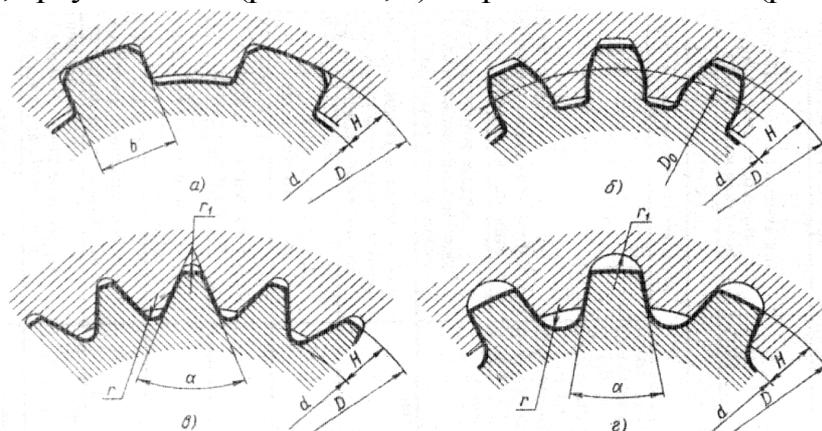


Рис. 3.80. Основные разновидности шлицев

Наружные поверхности шлицев обрабатываются фрезерованием, методом копирования и обработки и шлифованием центрирующих поверхностей и рабочих граней шлицев. Внутренние поверхности шлицев обрабатываются протягиванием, долблением методом копирования или обкатки, шлифованием центрирующих поверхностей.

Расчёт на прочность шлицевых соединений проводится на прочность при смятии с проверкой на срез и на изгиб с учётом специфики соединения по специальной методике.

На основании конструктивных проработок по действующим стандартам выбирается требуемый типоразмер соединения нужного профиля.

## Штифтовые соединения

*Штифт* – это цилиндрическая или коническая деталь, устанавливаемая в совместно обработанные отверстия в сопрягаемых деталях. Штифты используются для передачи поперечных сил и моментов, а также в качестве элементов, обеспечивающих точное, взаимное расположение скрепляемых между собой деталей.

Штифты применяют для фиксации точной установки деталей, иногда их используют для передачи незначительных моментов и сил. Срезающиеся штифты используют в качестве предохранительных деталей.

Выпускают цилиндрические, конические и насечные штифты (рис. 3.81).

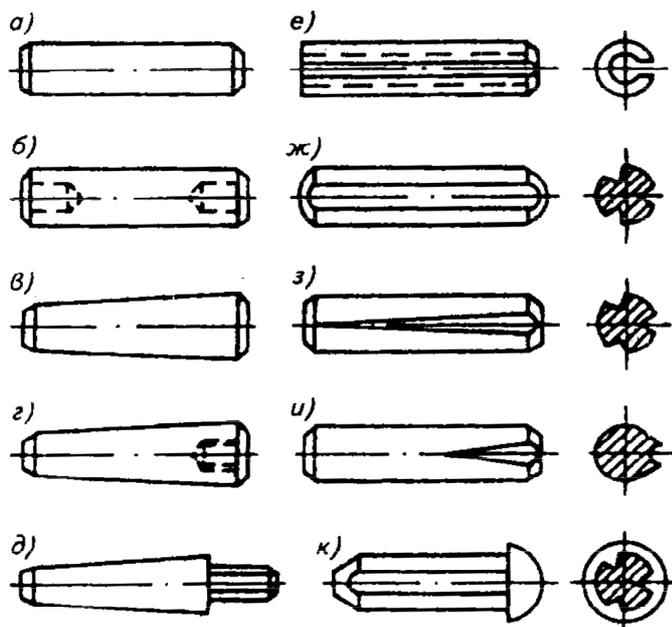


Рис. 3.81. Основные типы штифтов: а – цилиндрический; б – цилиндрический с засверлёнными концами; в – конический; г – конический с внутренней резьбой; д – конический с резьбовой цапфой; е – цилиндрический пружинный разрезной; ж-к – насечные

Штифты предпочитают устанавливать в сквозные отверстия для обеспечения их извлечения при разборке путём выбивания или выталкивания. При невозможности установки штифта в глухое отверстие (рис. 3.82, I) применяют штифты с заплечником для извлечения его с помощью вилки, щипцов (рис. 3.82, II), с нарезным концом (рис. 3.82, III, IV) и с нарезным отверстием (рис. 3.82, V, VI). Для исключения выпадения штифтов применяют расклёпывание их концов, стопорение гайкой, пружинным кольцом и др.

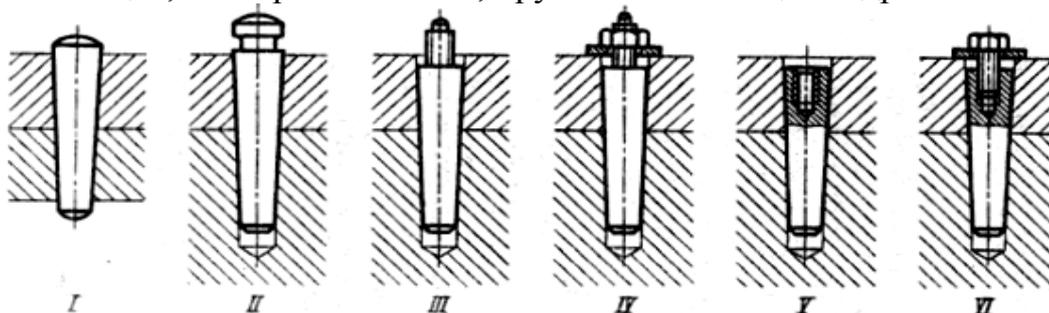


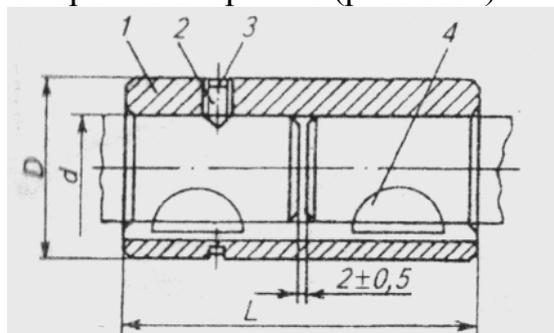
Рис. 3.82. Конические установочные штифты

Возможность применения того или иного варианта конструктивного исполнения штифтового соединения определяется на основании конструктивной компоновки изделия или его узлов. После этого на основании прочностного расчёта соединения на срез и смятие проводится выбор нужного типоразмера штифта по действующему стандарту или разрабатывается оригинальный штифт.

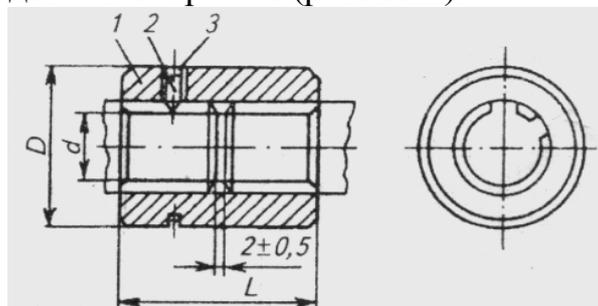
### Соединения соосных валов

Для соединения входного и выходного концов валов двух механизмов и для получения длинных трансмиссионных валов применяют муфты жёсткие и компенсирующие, допускающие некоторую несоосность соединяемых валов. Некоторые муфты включены в стандарты.

В качестве жёстких муфт, используемых для изготовления длинных сборных валов, применяют втулочные муфты (рис. 3.83), фланцевые или поперечно-свёртные (рис. 3.84) и продольно-свёртные (рис. 3.85).



Исполнение с сегментными шпонками: 1 – втулка; 2 – винт по ГОСТ 1476–93; 3 – кольцо по ГОСТ 2833–77; 4 – шпонка по ГОСТ 24071–97



Исполнение с прямоугольными шлицами: 1 – втулка; 2 – винт по ГОСТ 1476–93; 3 – кольцо по ГОСТ 2833–77

Рис. 3.83. Муфта втулочная

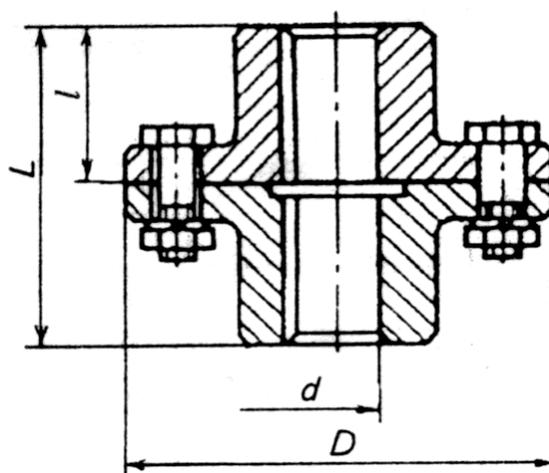


Рис. 3.84. Муфта фланцевая

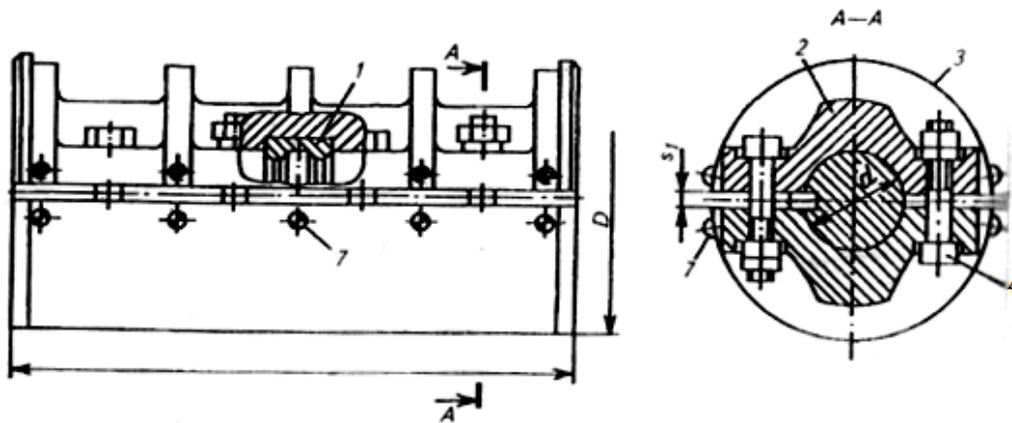


Рис. 3.85. Муфта продольно-свёртная по ГОСТ 23106–78

Муфты втулочные изготавливают с призматическими, сегментными шпонками и с прямобочными шлицами для валов с посадочным диаметром менее 100 мм.

Муфты фланцевые применяют для валов с посадочными диаметрами до 250 мм. Посадочные шейки изготавливают цилиндрические и конические.

Для соединения валов двух механизмов, имеющих отклонения от соосности, применяют компенсирующие муфты, жёсткие и упругие. Одной из наиболее распространённых жёстких компенсирующих муфт является цепная муфта (рис. 3.86).

Продольно-свёртные муфты (рис. 3.85) используют для тихоходных валов.

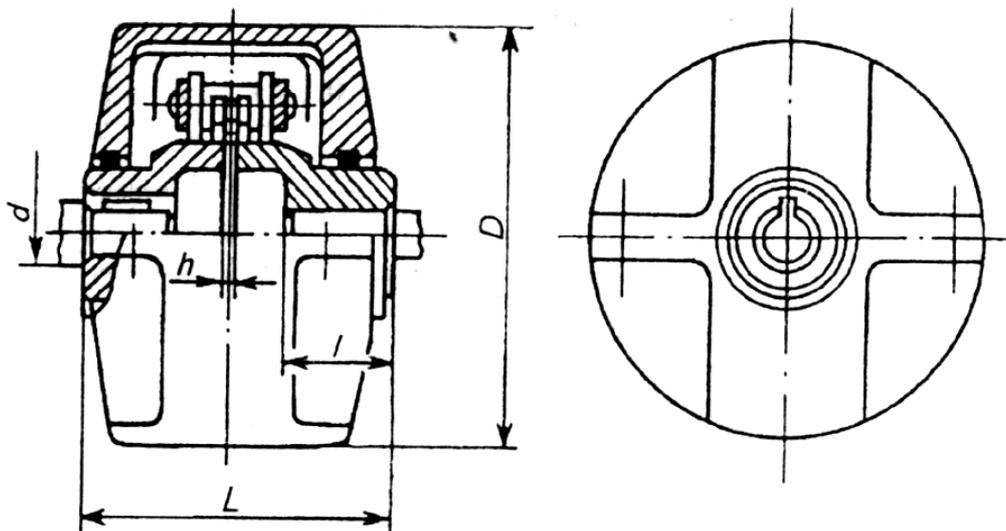


Рис. 3.86. Цепная компенсирующая муфта

К наиболее распространённым видам упругих компенсирующих муфт относятся дисковые полужёсткие (рис. 3.87) и упругие втулочно-пальцевые муфты (рис. 3.88).

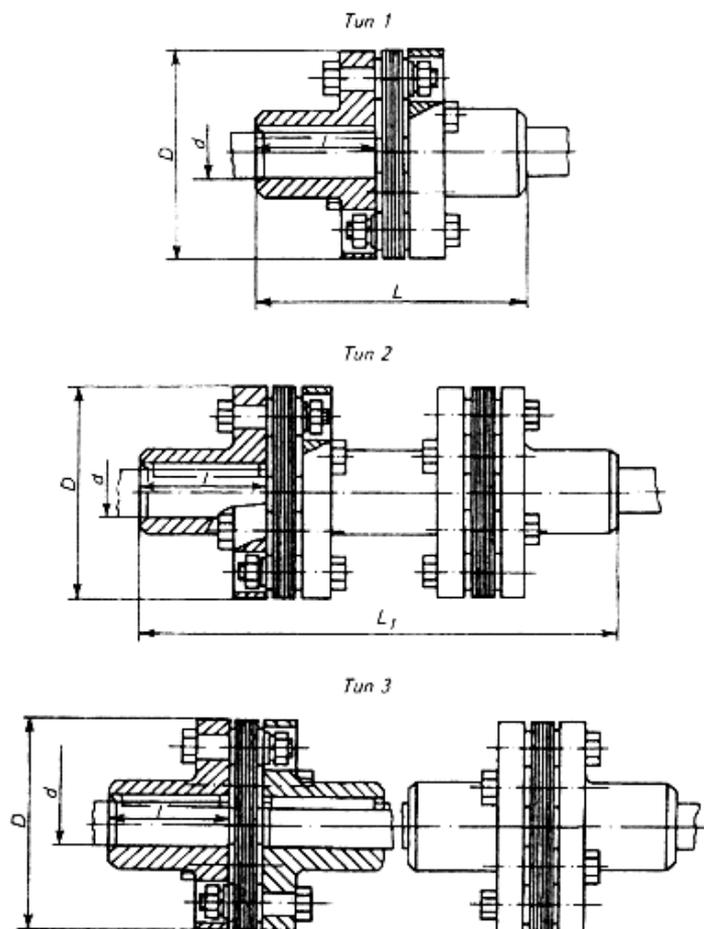


Рис. 3.87. Муфты дисковые полужёсткие

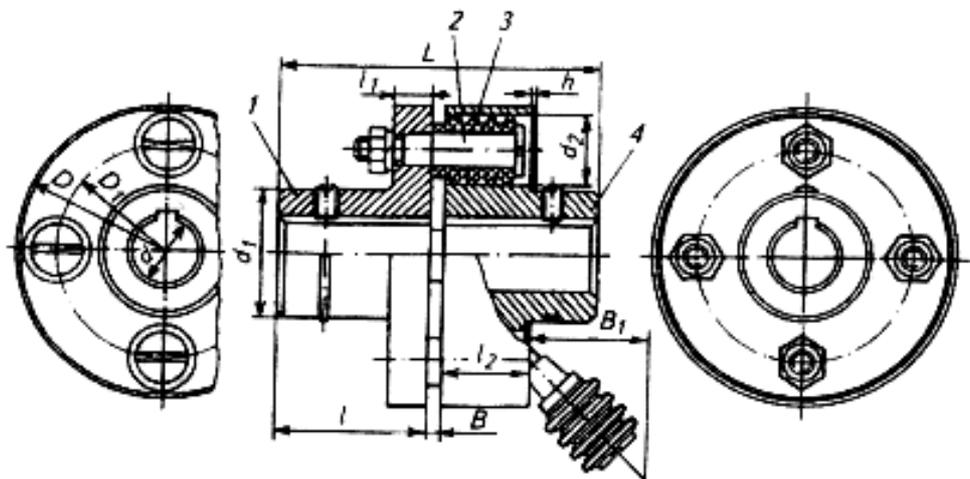


Рис. 3.88. Муфта упругая втулочно-пальцевая (МУВП) по ГОСТ 21424-93

Муфты по рис. 3.87 допускают осевые смещения до 0,5 мм и угловое до 45'. Муфты по рис. 3.88 допускают осевое смещение 0,2–0,4 мм и угловое смещение 1–1,5°.

### Сварные соединения

Сварные соединения – это неразъёмные соединения, получаемые нагревом соединяемых частей до расплавленного состояния (сварка плавлением – электродуговая, электрошлаковая, газовая и др.) или до пластичного состояния с применением механического усилия (электродуговая, электрошлаковая, газовая и др.) или до пластичного состояния с применением механического усилия (электродуговая, электрошлаковая, газовая и др.)

сварка трением и т. п.). Эти соединения являются наиболее совершенными неразъёмными соединениями, так как позволяют приблизить металл шва и основного металла к равнопрочному состоянию.

В машиностроении сварку широко применяют для изготовления конструкций из листового проката (сосуды, аппараты, облицовки и др.) и профильного проката (фермы, рамы, колонны и т. п.). В настоящее время методом сварки получают корпусные и базовые детали свариваемых литых, штампованных заготовок (лито- и штамповарные конструкции) с использованием частей из проката.

Форма и составные части сварной конструкции определяются при проработке компоновочных вариантов изделия. При этом выбираются размеры и виды сварных изделий, которые уточняются на основании прочностных расчётов.

При оформлении проектной и конструкторской документации определяются и указываются типы и размеры швов, виды сварочных материалов, технические требования к сварным конструкциям, методы контроля швов и т. п. На основании действующих стандартов некоторые примеры соединений, виды швов и разделки кромок приведены на рис. 3.89–3.91.

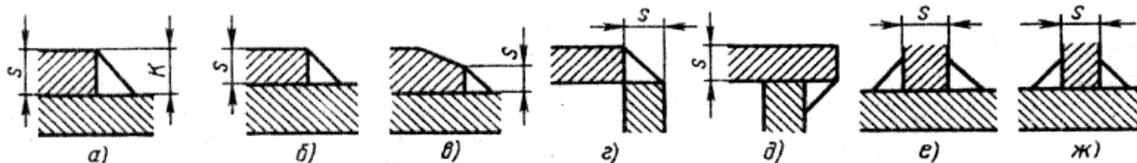


Рис. 3.89. Размеры швов треугольного профиля

На рис. 3.90 показаны схемы работы стыковых и нахлесточных соединений.

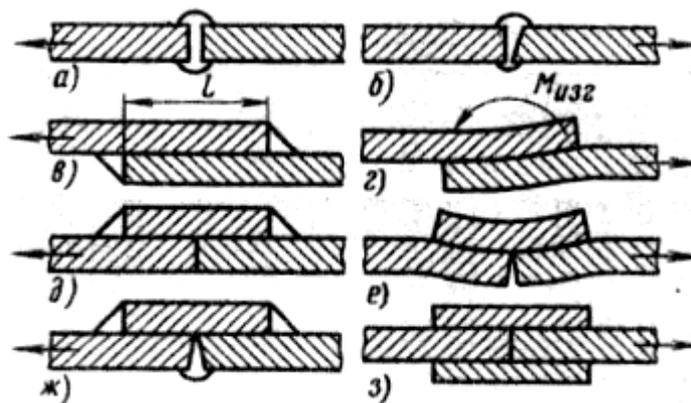


Рис. 3.90. Схемы работы нахлесточных и стыковых соединений

Среди видов соединений наиболее простые и прочные, хорошо контролируемые – стыковые (рис. 3.90, а, б).

Недостаток нахлесточных соединений (рис. 3.90, в, д) состоит в том, что под действием растягивающих или сжимающих сил они подвергаются воздействию изгибающего момента, приблизительно равного произведению действующей силы на сумму полутолщин свариваемых листов, и деформируются. Это показано на утрированных схемах деформации соединения (рис. 3.90, з, е). Соединения с накладкой можно усилить подваркой

стыка (рис. 3.90, *ж*). Соединения с двухсторонними накладками (рис. 3.90, *з*) разгружены от изгиба, но тяжелы и нетехнологичны.

Виды разделки кромок приведены на рис. 3.91. Кромки свариваемых тонких листов (в среднем  $> 3$  мм) стыковых и угловых соединений разделяют (рис. 3.91, *а, и*).

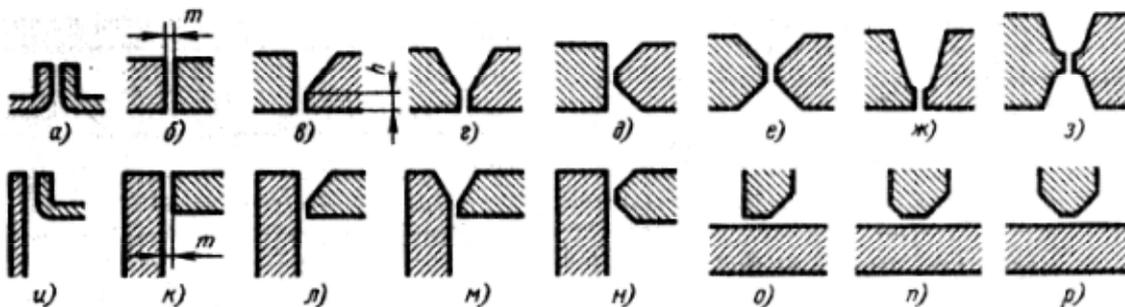


Рис. 3.91. Разделка кромок

Кромки листов толщиной в среднем  $< 8$  мм при ручной дуговой сварке и  $< 20$  мм при автоматической делают прямыми (перпендикулярными к плоскости листа). Для проварки на полное сечение свариваемые детали собирают с зазором  $m = 1-2$  мм (рис. 3.91, *б, к*), заполняемым при сварке жидким металлом.

При большей толщине необходима разделка кромок, заключающаяся чаще всего в снятии фасок; цель – создать сварочную ванну и обеспечить проплавление на полное сечение деталей.

Основные типы разделки представлены на рис. 3.91, *в-з* (стыковые соединения), *л-н* (угловые соединения) и *о-р* (тавровые соединения). Острые кромки притупляют, предусматривая на них ленточки высотой  $h = 2-4$  мм (рис. 3.91, *в*).

Круговые фаски получают точением, прямые – фрезерованием или строганием. При толщине кромок более 15–20 мм фаски снимают автоматической газовой резкой.

Разделку с криволинейными скосами (рис. 3.91, *ж, з*) применяют преимущественно для прямых круговых швов.

При разработке конструкции сварных соединений следует учитывать, что сварка вызывает поводку изделий, тем более сильную, чем больше зона термического влияния сварки (протяжённость, сечение шва, объём наплавляемого металла). Поводку предотвращают конструктивными решениями, а также с использованием технических приёмов наложения швов (прерывистые, многослойные, ступенчатые и обратноступенчатые швы и др.) и стабилизационной термообработкой после сварки (старение).

### **Заклёпочные соединения**

Заклёпочные соединения образуются в основном из листов или фасонных профилей, соединяемых заклёпками, устанавливаемыми в совмещённые отверстия соединяемых элементов.

*Заклёпкой* называют круглый стержень, который на одном конце имеет закладную головку, а вторая головка – замыкающая, формируется при

клёпке (расклёпывается). В соединении заклёпки располагаются в определённом порядке и образуют вместе с соединяемыми частями конструкции заклёпочный шов.

Заклепочные соединения в настоящее время вытесняются сваркой и применяются:

- в соединениях, где необходимо исключить сопутствующее сварке термическое воздействие, выражающееся в ухудшении структуры металла в области сварного шва, перегреве расположенных вблизи сварного соединения деталей и короблении изделий;
- в соединениях деталей из металлов, плохо поддающихся сварке, а также в соединениях деталей из разнородных металлов (например, сталь – цветные сплавы и т. д.);
- в соединениях металлических изделий с неметаллическими материалами (дерево, кожа, текстильные материалы, пластики, не поддающиеся креплению опрессовкой, приклеиванием и т. д.).

Заклёпки до сих пор являются основными деталями соединений в облегченных ферменных и тонколистовых оболочковых конструкциях из легких сплавов (особенно в самолетостроении). Это объясняется технологическими трудностями сварки легких сплавов, пониженной вибропрочностью сварных швов, а также неизбежной поводкой, особенно ощутимой при сварке изделий большой протяженности.

На рис. 3.92 показаны различные типы заклёпок, применяемых для холодной клёпки.

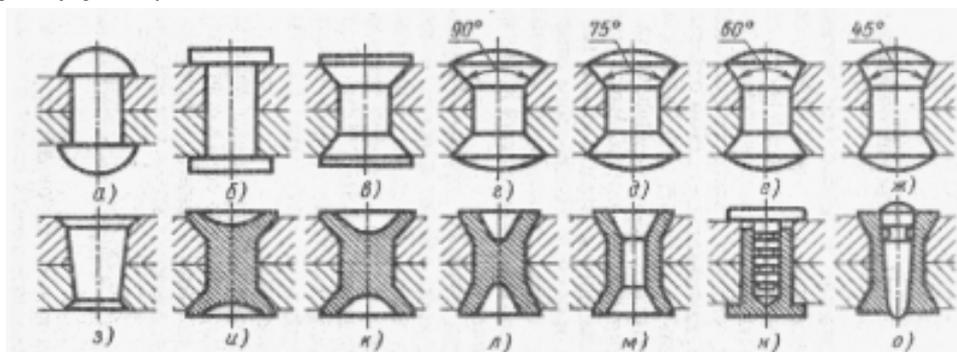


Рис. 3.92. Заклёпки для холодного клёпания

В машиностроении применяются заклёпки с плоскими, сферическими и другими подобными головками (рис. 3.92, а, б), опирающимися на поверхности склепываемых деталей, а также головками в потай (рис. 3.92, в-ж), при которых сила расклёпывания передается в значительной степени на стержень, раздавая его в поперечном направлении.

При холодном клёпании рекомендуется применять конические углубления под головку (потай) с углом 75–60° и даже 45° (рис. 3.92, д-ж) для облегчения раздачи стержня заклёпки. Конические заклёпки (рис. 3.92, з) запрессовывают в совместно развернутое в деталях гнездо и фиксируют расклёпыванием с двух сторон.

Целесообразны заклёпки с углублениями в головках (рис. 3.92, и-л) под пуансоны, уплотняющие центральную часть стержня.

Полые заклёпки раздаются прошиванием отверстия пуансоном (рис. 3.92, м). Уменьшение в полых заклёпках сечения, работающего на срез, вообще очень незначительное (если диаметр внутреннего отверстия  $< 0,5$  диаметра заклёпки), его можно устранить применением уплотняющих пуансонов, оставляемых в заклёпке (рис. 3.92, н, о).

При горячем клепании предпочтительнее головки с плоской опорной поверхностью или с углом потая более  $75^\circ$  (рис. 3.92, и, к). При малых углах в склёпываемых деталях на участках потая возникают высокие напряжения.

На рис. 3.93 показаны различные заклёпочные соединения и иллюстрируется их работа.

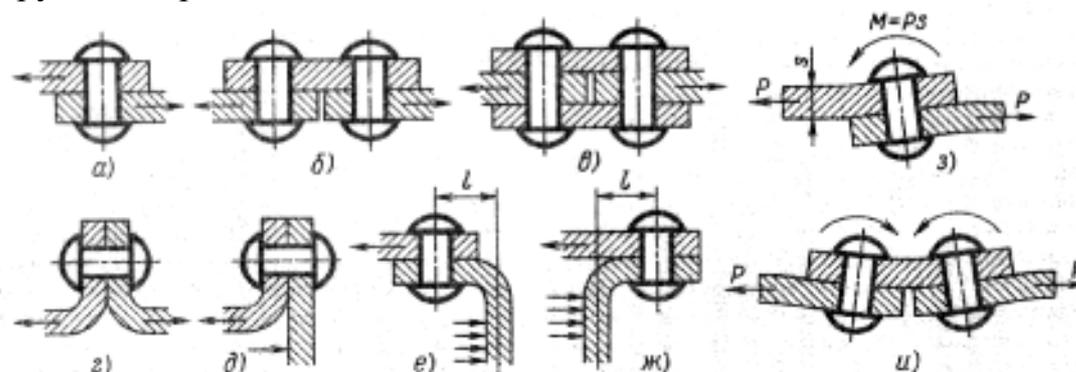


Рис. 3.93. Заклёпочные соединения

В соединениях по рис. 3.93, а, б под действием растягивающих сил возникает изгибающий момент, приблизительно равный произведению растягивающей силы на толщину материала (рис. 3.93, з, и). Этот момент отчасти погашается сопротивлением изгибу листов, а частично передается на заклёпки.

В соединении с двумя накладками (рис. 3.93, в) изгибающий момент вследствие центрального приложения сил не возникает. Кроме того, это соединение двусрезное; благодаря удвоенному числу поверхностей трения сопротивление сдвигу здесь в 2 раза больше, чем в конструкциях рис. 3.93, а, б.

Конструкция рис. 3.93, г с отбортованными кромками нерациональна, так как при растяжении заклёпки подвергается изгибу.

В угловых соединениях (рис. 3.93, д) с отбортованной кромкой, применяемых иногда для присоединения днищ к обечайкам резервуаров, содержащих газы или жидкости под давлением, деформация стенок резервуаров вызывает изгиб заклёпок.

Рациональнее соединения рис. 3.93, е, ж, где заклёпки работают преимущественно на сдвиг и лишь в незначительной степени – на изгиб. Изгиб тем меньше, чем меньше деформация днища и ближайших к шву стенок обечайки под действием внутреннего давления, т. е. чем ближе заклёпки расположены к углу жёсткости системы (чем меньше расстояние  $l$  заклёпки от плоскости днища).

После выбора расположения заклёпочных швов с учётом вышеизложенного проводится расчёт соединений на срез, смятие и на растяжение (разрыв) листов между заклёпками, и по результатам расчётов при необходимости вносятся корректировки в конструкцию, а затем по действующим стандартам выбираются типоразмеры заклёпок.

### 3.2.6. Корпусные детали, опоры

Корпусные детали, в основном, определяют работоспособность, надёжность и долговечность работы машин. Они должны обеспечивать жёсткость, точность, виброустойчивость, износоустойчивость конструкции в целом и отдельных её узлов. При разработке изделий расположение отдельных частей и габариты определяются компоновкой машины, удобством работы и обслуживания. Размеры, обеспечивающие прочность и жёсткость (толщина стенок, рёбер, конфигурация и размеры лап и др.), традиционно назначаются по аналогии и без расчётов, конструктивно. Поэтому масса изделий часто очень завышена, и говорить о величине запаса прочности не приходится. В стационарных изделиях корпусные детали составляют 70–85 % массы всего изделия.

В настоящее время существуют компьютерные методики расчётов, основанные на методах конечных элементов (Autodesk Inventor, Solid Works, T-Flex, Компас и др.). Поэтому при разработке корпусных деталей целесообразно размеры, обеспечивающие их прочность и жёсткость, назначать по аналогии, базируясь на информации о подобных образцах, а потом проводить их проверочные расчёты и постепенно уменьшать эти размеры. Изменение размеров в конструкции изделия следует проверять экспериментами с использованием методик ускоренных испытаний. В опытные и промышленные образцы изменения необходимо внедрять постепенно и контролировать их состояние, показатели работы и особенно состояние элементов, размеры которых изменены в местах концентрации напряжений и в опасных сечениях (по компьютерным расчётам).

Примеры корпусных деталей приведены на рис. 3.94.

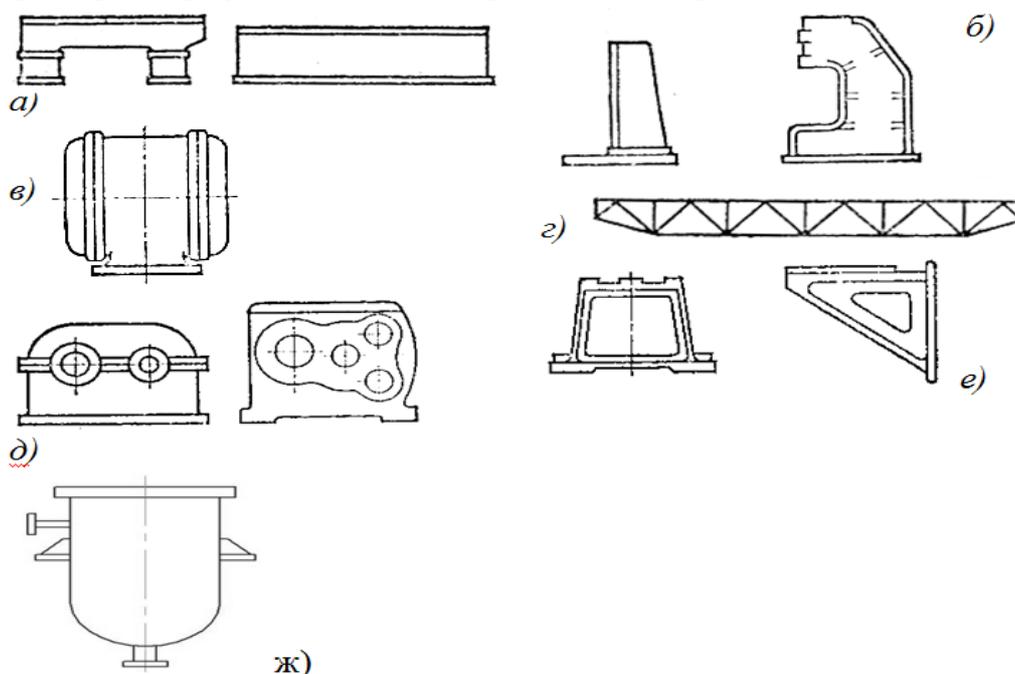


Рис. 3.94. Корпусные детали: а – простые станины горизонтальных машин; б – простые станины вертикальных машин; в – кольцевые станины, корпуса; г – несущие системы подъёмно-транспортных машин; д – коробки; е – стойки, кронштейны; ж – сосуды

Корпусные детали изготавливают, в основном, методом литья из чугуна и лёгких сплавов. В отдельных случаях для изделий разового изготовления корпуса изготавливают сварными из сортовой стали. Несущие системы подъёмно-транспортных машин и сосуды, являющиеся листовыми конструкциями, изготавливают методом сварки из профильного и листового проката.

При разработке конструкции изделия с корпусными деталями наряду с выбором удобной с точки зрения снижения габаритов, удобства работы, обслуживания и ремонта, снижения массы большое внимание следует обратить на вопросы технологичности (технология литья, сварки, сборки изделия) и дизайна.

### 3.2.7. Сосуды, аппараты и трубопроводы

Аппараты, работающие под давлением, предназначены для проведения в них различных технологических процессов, преимущественно химических, физических и физико-химических. Сосуды применяются для хранения и транспортирования сыпучих, жидких и газообразных материалов. В качестве сосуда может рассматриваться внешняя оболочка аппарата.

Сосуды и аппараты широко применяются в различных отраслях народного хозяйства: в химической, нефтехимической, нефтяной, газовой, строительной, пищевой, лёгкой промышленности, в науке, в сельском хозяйстве. Они используются для проведения разнообразных процессов: гидродинамических, тепло- и массообменных. В зависимости от требований технологического процесса сосуды и аппараты могут работать в различных средах при самых разнообразных условиях: при температуре от абсолютного нуля до нескольких сотен (и тысяч) градусов и при давлении от миллиметров рт. ст. до нескольких сотен мегапаскалей. Это налагает соответствующие требования на расчёт и конструирование.

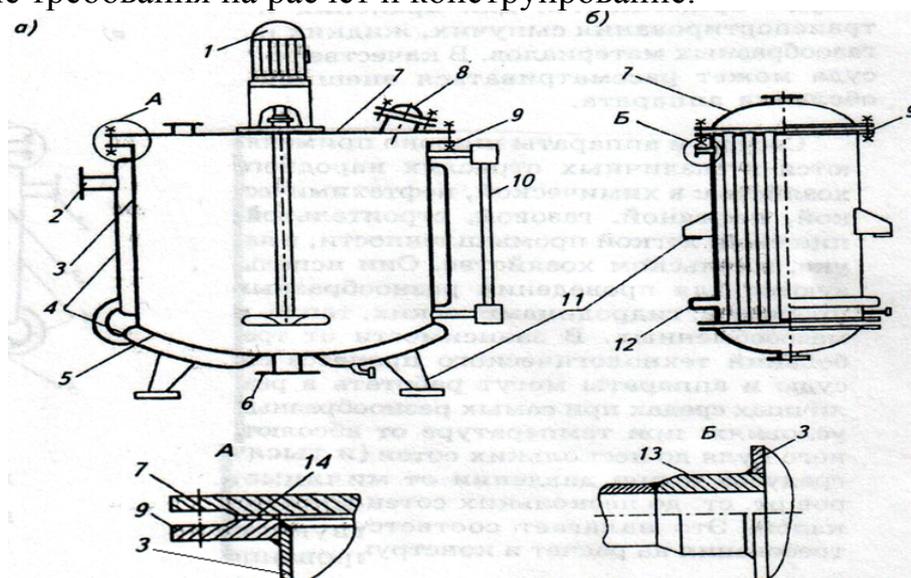


Рис. 3.95. Основные узлы и детали сосудов и аппаратов: а – сосуд с перемешивающим устройством; б – теплообменник; 1 – перемешивающее устройство; 2 – штуцер; 3 – обечайки; 4 – рубашка; 5 – днище; 6 – штуцер; 7 – крышка; 8 – люк; 9 – фланец; 10 – указатель уровня; 11 – опора; 12 – компенсатор; 13 – укрепление отверстия; 14 – прокладка

К основным узлам и деталям внешнего оформления сосудов и аппаратов относятся обечайки, рубашки, днища, крышки, фланцы, штуцеры, трубные решётки, смотровые окна и люки, указатели уровня, опоры, укрепления отверстий, компенсаторы, перемешивающие устройства и др. (рис. 3.95). Этот далеко не полный перечень охватывает наиболее характерные узлы и детали сосудов и аппаратов. Сосуды и аппараты представляют собой листовые конструкции.

### Основные элементы сосудов

К основным элементам сосудов относятся днища (рис. 3.96), соединения элементов (рис. 3.96–3.98), фланцевые соединения (рис. 3.99, 3.100), крышки (рис. 3.101) и ряд других узлов и элементов.

Отдельные узлы и детали сосудов и аппаратов стандартизированы.

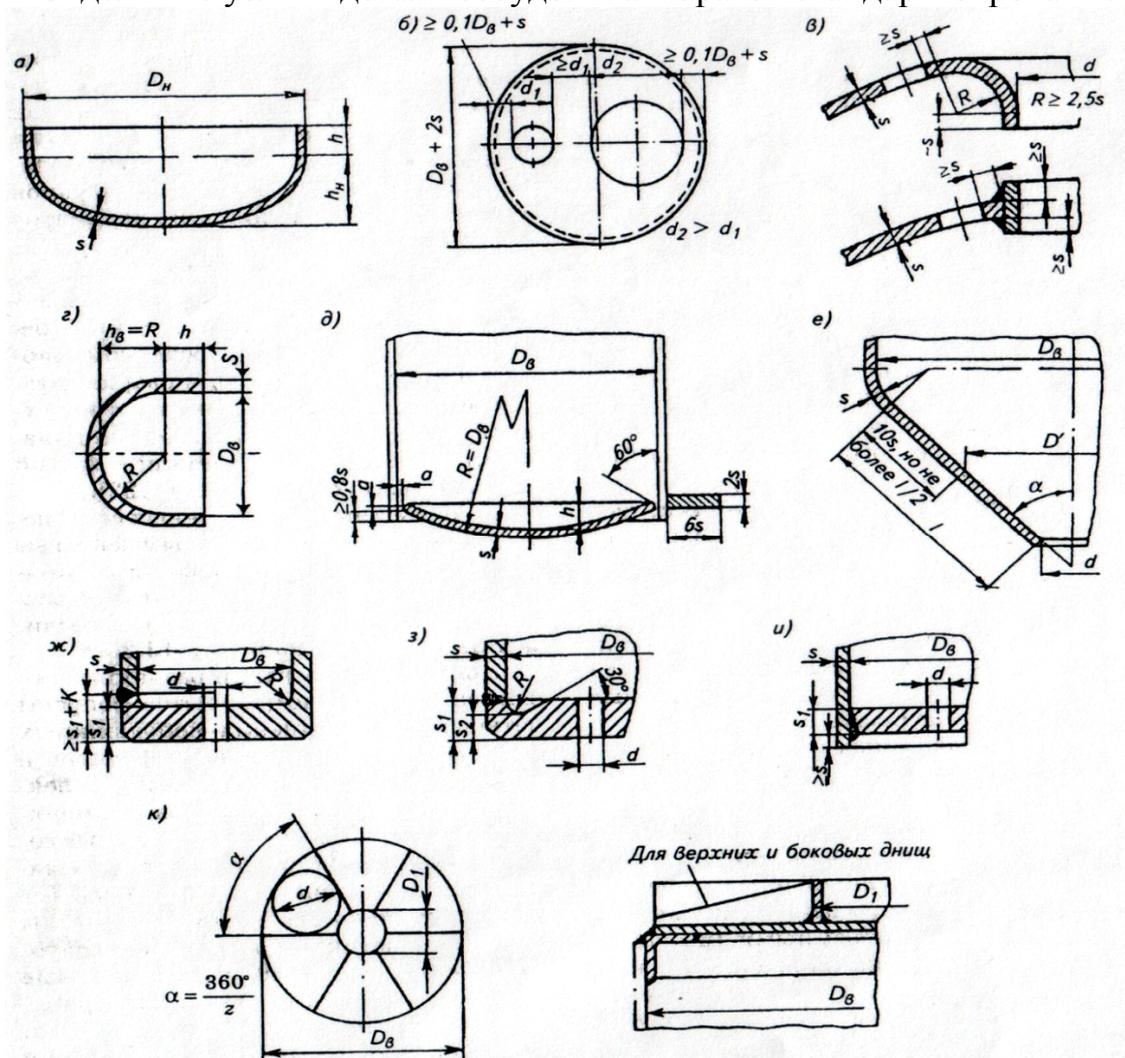


Рис. 3.96. Типовые конструкции днищ и их элементы: а – эллиптическое; б – расположение отверстий на днище; в – укрепление отверстий в эллиптической крышке; г – полушаровое с отбортовкой; д – полушаровое неотбортованное; е – коническое; ж-и – плоское; к – плоское с оребрением

Сосуды и аппараты, работающие под давлением, представляют собой особо опасные конструкции, так как их разрушение имеет взрывной характер (при повышении давления, температуры выше расчётных и при нали-

чи дефектов изготовления). Поэтому разработка, изготовление, приемка в эксплуатацию проводится согласно правилам Госгортехнадзора и ГОСТам [33; 47]. Регистрация осуществляется в органах Госгортехнадзора.

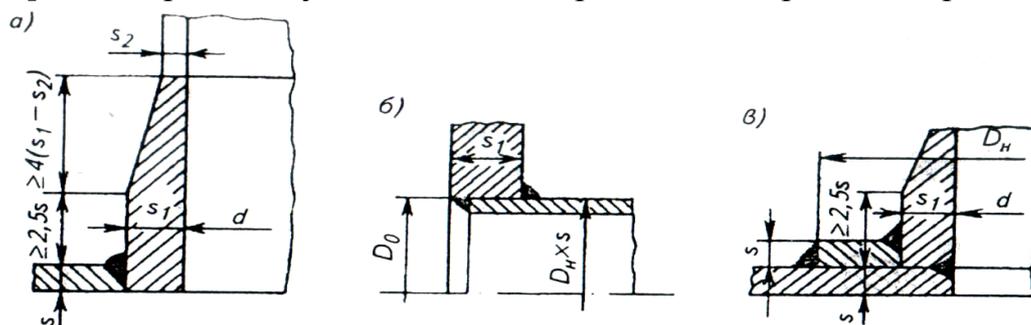


Рис. 3.97. Типовые конструкции узлов врезки труб и укрепления отверстий:  
а – втулочное; б – штуцером; в – накладочное

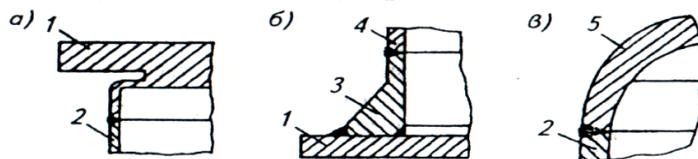


Рис. 3.98. Примеры соединения деталей разной толщины: а – крышки 1 с обечайкой 2; б – крышки 1 с патрубком 4 с помощью промежуточного кольца 3; в – днища 5 с обечайкой 2

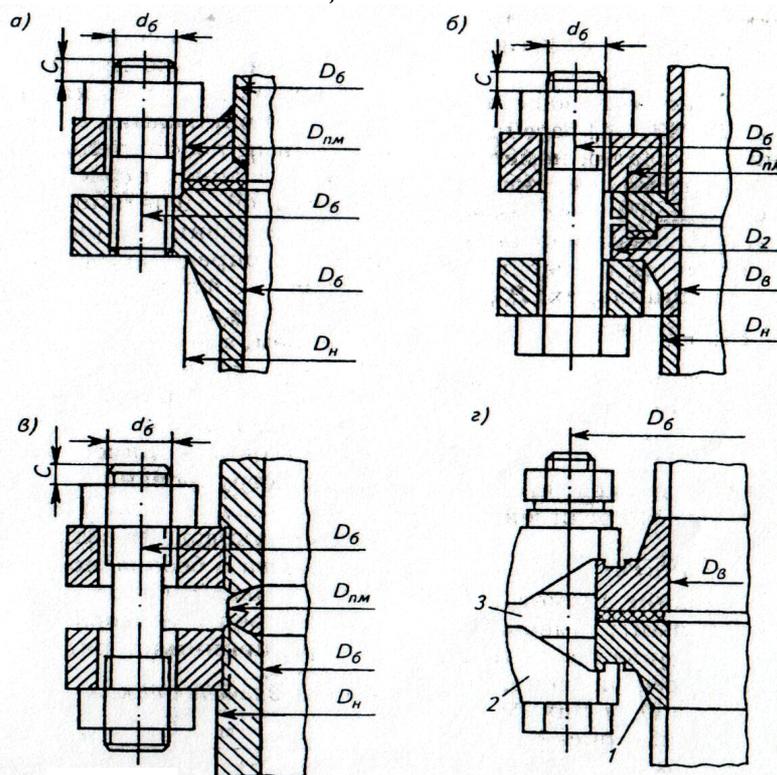


Рис. 3.99. Основные типы фланцевых соединений: а – с плоской прокладкой; б – соединение «шип-паз»; в – линзовое; г – под зажим; 1 – фланец; 2 – траверса; 3 – упор

Сосуды, не подведомственные Госгортехнадзору, изготавливаются по аналогичным требованиям, но регистрируются в службе надзора предприятия. Аналогичный подход и к трубопроводам.

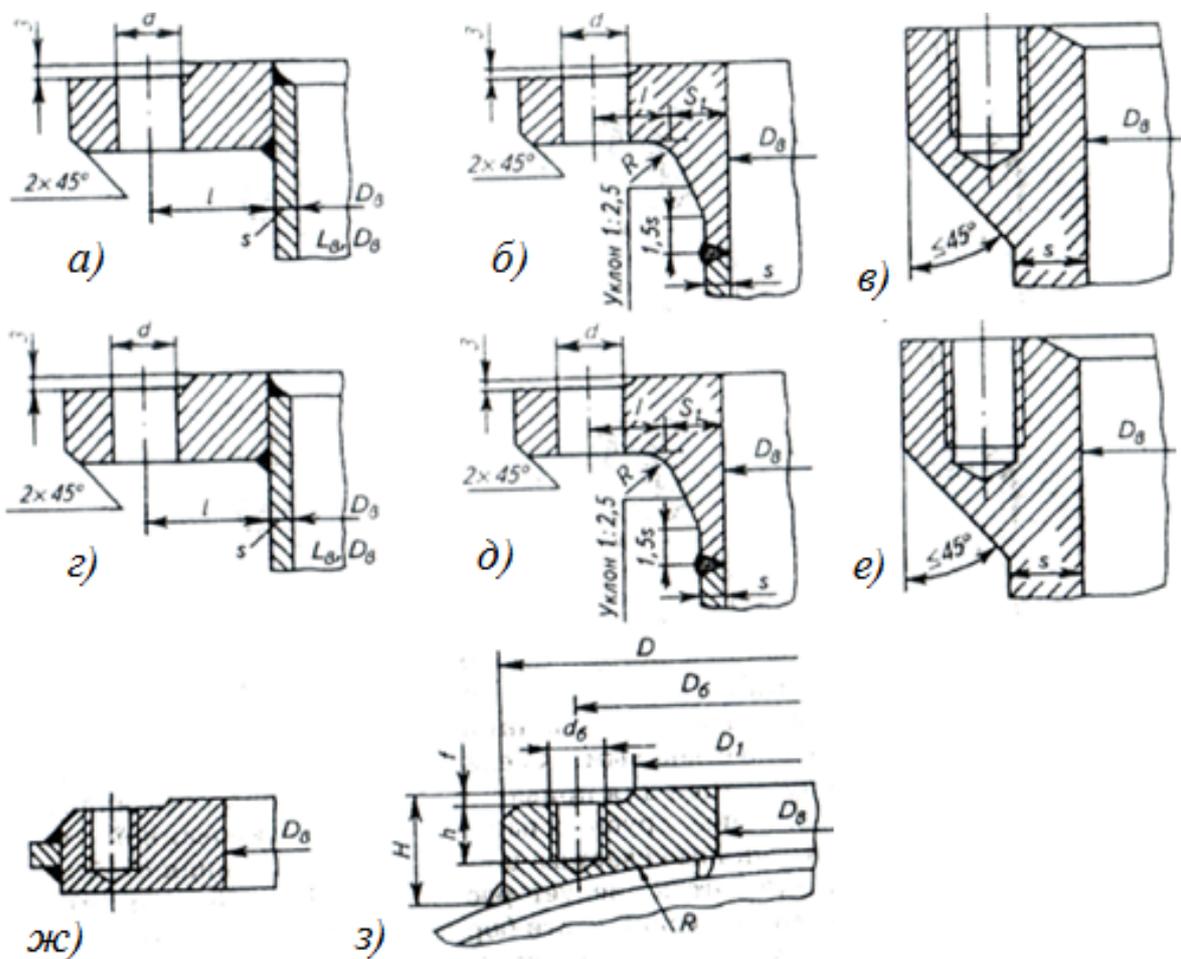


Рис. 3.100. Основные типовые конструкции фланцев и бобышек: а – плоский приварной; б – кованный приварной; в – кованный под шпильки; г – накладной на отбортовке; д, е – накладной на приварном бурте; ж – бобышка плоская; з – бобышка к цилиндрическому аппарату

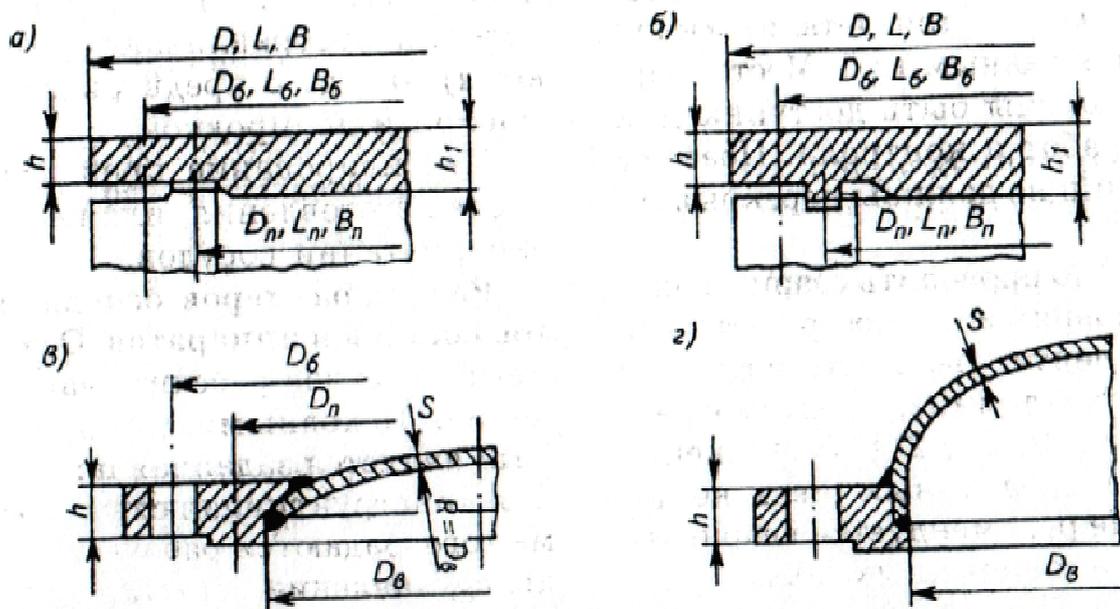


Рис. 3.101. Основные типовые конструкции крышек: а – плоская под плоскую прокладку; б – плоская под прокладку в соединении «шип-паз»; в – сферическая под плоскую прокладку; г – эллиптическая под плоскую прокладку

## Неподвижные уплотнения разъемных соединений

Неподвижные уплотнительные устройства применяют для уплотнения стыков и разъемов машин, фланцев, крышек, люков в химических аппаратах и т. д. (рис. 3.102).

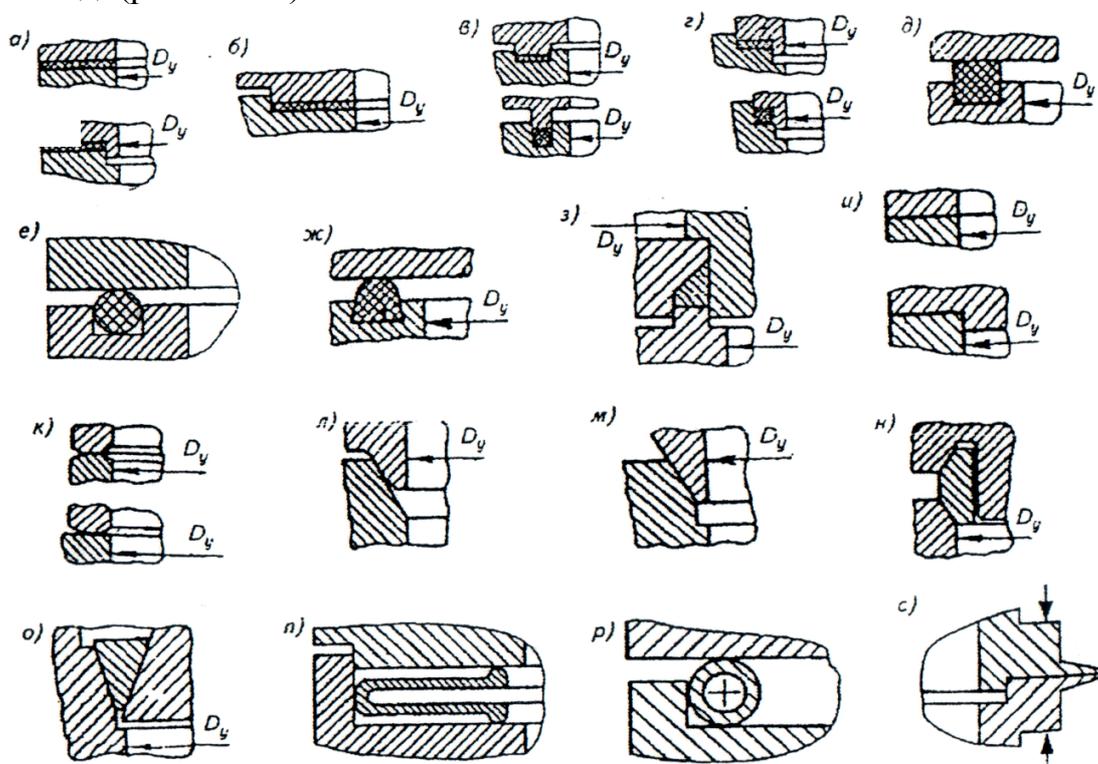


Рис. 3.102. Уплотнение неподвижных соединений:

а – прокладка между плоскими стыками; б – прокладка в выступ-впадине; в – прокладка в «шип-пазу»; г – прокладка в замке; д – прокладка в пазу; е) круглое кольцо в пазу; ж – полуовальная прокладка в пазу; з – прокладка в клиновом замке; и – плоское беспрокладочное; к – сфера-сфера и сфера-плоскость; л – сфера-конус; м – конус-конус; н – коническая линза с уплотнителем по конусам; о – клиновидная линза по внутреннему и наружному конусам; п – упругая фасонная прокладка; р – упругое полое кольцо; с – соединение со сваркой срезных выступов

## Трубопроводы и их элементы

Основным элементом трубопроводов являются стандартные трубы широкой номенклатуры, выпускаемые из углеродистых и легированных сталей, из цветных металлов (меди и медных сплавов, алюминия и алюминиевых сплавов, из титана, свинца и др.), из чугуна, из неметаллических материалов (полиэтилена, поливинилхлорида, стекла, фарфора, керамики и др.). Характеристики наиболее распространённых труб приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Сортамент труб, используемых для технологических трубопроводов

Наименование	Стандарт	Размеры, мм	
		Диаметр	Толщина стенки
1	2	3	4
Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент	ГОСТ 8732–87	25–530	2,5–75

1	2	3	4
Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные. Сортамент	ГОСТ 8734–75	1–200	0,1–12
Трубы бесшовные горячедеформированные из коррозионно-стойкой стали. Технические условия	ГОСТ 9940–81	76–325	4,5–28
Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойких сталей. Технические условия	ГОСТ 9941–81	5–120	0,3–12
Трубы стальные электросварные прямошовные	ГОСТ 10704–91	8–1620	1–14
Трубы стальные бесшовные высокого давления. Технические условия	ГОСТ 11017–80	6–13	2–4,5
Трубы электросварные из коррозионно-стойкой стали. Технические условия	ГОСТ 11068–81	8–102	1–4
Трубы медные. Технические условия	ГОСТ 617–2006	3–360	0,5–30
Трубы холоднодеформированные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия	ГОСТ 18475–82	6–120	0,5–5
Трубы прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия	ГОСТ 18482–79	25–280	5–32,5
Трубы чугунные, напорные, изготовленные методами центробежного и полунепрерывного литья. Технические условия	ГОСТ 9583–75	–	–
Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия	ГОСТ 18599–2001	6–30	–
Трубы из термопластов для транспортирования жидкостей. Номинальные наружные диаметры и номинальные давления. Метрическая серия	ГОСТ 29324–92	6–30	–
Трубы стеклянные и фасонные части к ним. Технические условия	ГОСТ 8894–86	50–200	–

Материал труб выбирается на основании исходных требований с учётом транспортируемой среды и условий эксплуатации (температуры и давления).

Для распространения области использования наиболее распространённых стальных труб выпускаются футерованные трубы. В них наружная оболочка (стальная труба) обеспечивает высокую прочность, а внутренняя – стойкость против коррозии. В качестве внутреннего слоя применяются коррозионно-стойкие стали и неметаллические материалы.

Наиболее распространены гуммированные трубы (с резиновым внутренним покрытием), которые применяют для транспортировки кислот, щелочей, газов и растворов солей при температурах от –30 до +70 °С. Трубы, эмалированные и футерованные стеклом, служат для транспортировки пищевых и фармацевтических продуктов при температуре до 200–250 °С. Трубы, футерованные полиэтиленом, винилпластом, используют при температурах от –30 до +70 °С для транспортировки химпродуктов и др.

Соединительные части трубопроводов предназначены для изменения направления потоков (отводы, угольники, колена), диаметров трубопроводов (переходы), организации ответвлений (тройники), а также для заглушения свободных концов трубопроводов. Эти детали нормализованы и изготавливаются на специализированных заводах. Возможно изготовление стальных гнутых элементов и тройников на монтажной площадке способами холодной или горячей обработки и с применением сварки. Горячим способом можно получить гнутые, гладкие и полурифлёные отводы и колена (рис. 3.103).

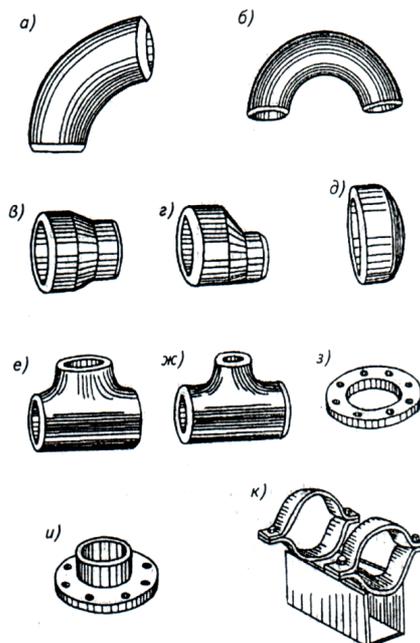


Рис. 3.103. Детали стальных трубопроводов: а – отвод 90 °С; б – отвод 180 °С; в – концентрический переход; г – эксцентрический переход; д – заглушка; е – равнопроходный тройник; ж – переходной тройник; з – плоский фланец; и – воротниковый фланец; к – опора

Использование сварки (с гибкой) позволяет производить (рис. 3.104, а-г) отводы, развилки, тройники, колена со вставкой.

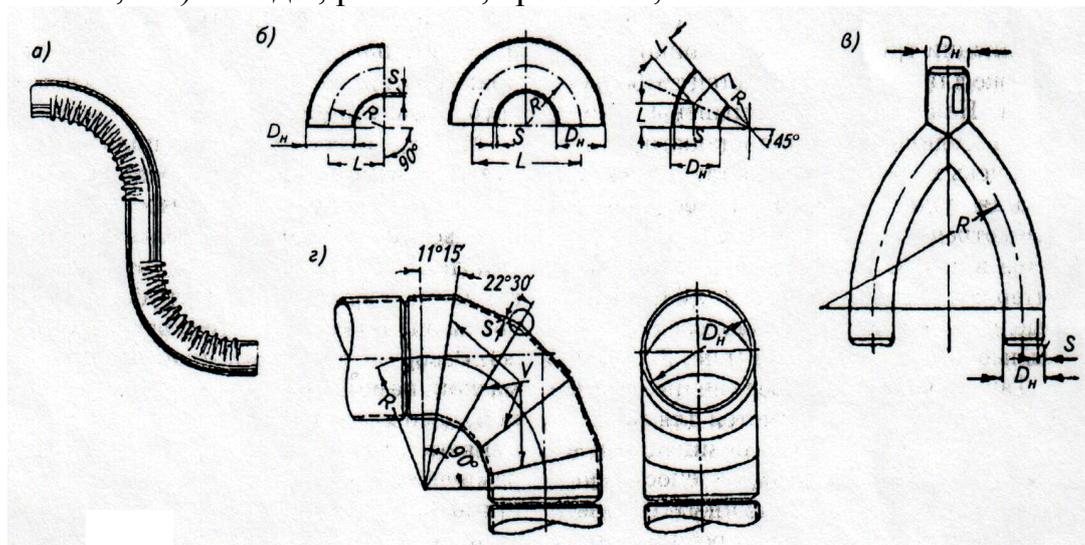


Рис. 3.104. Соединительные элементы трубопроводов: а – гнутое полурифлёное колено; б – крутоизогнутые отводы; в – сварная развилка; г – сварной отвод

Неразъёмные соединения труб и описанных выше элементов осуществляются с помощью сварки при изготовлении и монтаже трубопроводов. При этом предпочтительнее использовать стыковые и угловые швы для сварки труб, соединительных частей, приварку штуцеров, фланцев, бобышек, накладок.

Для разъёмных соединений трубопроводов применяют стандартные фланцевые соединения различных типов. В отдельных случаях применяют специальные виды соединений. Так, чековые соединения (рис. 3.105, а) применяют для горячих соединений. Соединение с подваркой (рис. 3.105, б) используют для обеспечения высокой плотности соединения. Ниппельные соединения (рис. 3.105, в, г) используют в гидроприводах и в газовых коммуникациях.

Соединения отбортованных труб с накидными фланцами (рис. 3.105, д), муфтовые соединения с резиновыми кольцами (рис. 3.105, е) применяются в конструкциях пластмассовых трубопроводов при невысоких давлениях и характеризуются низкой надёжностью. Для стыковки стеклянных труб используют муфтовые и фланцевые соединения (рис. 3.105, з, и).

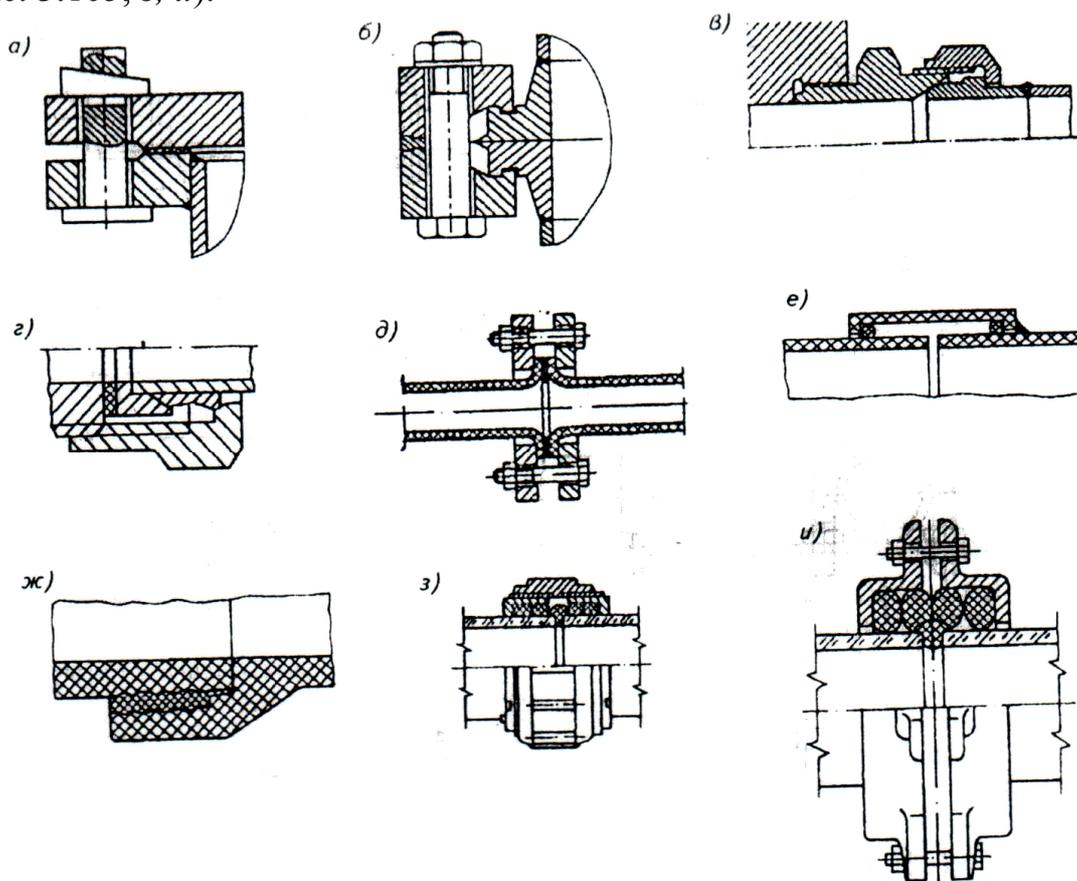


Рис. 3.105. Специальные конструкции разъёмных соединений:  
 а – чековое; б – с подваркой; в – ниппельное; г – с врезным кольцом;  
 д – с накидным фланцем; е – муфтовое с резиновым кольцом; ж – раструбное;  
 з – муфтовое для стеклянных труб; и – фланцевое для стеклянных труб

### Опоры и компенсаторы трубопроводов

Внутренние и внешние технологические трубопроводы устанавливаются на опоры, предназначенные для восприятия весовой нагрузки от труб и их содержимого, приводов, изоляции. При проектировании и монтаже трубопроводов необходимо учитывать осевые деформации трубопроводов из-за изменений их температуры во время эксплуатации либо по сравнению с температурой при монтаже. Поэтому часть опор обеспечивает осевую фиксацию трубопроводов, а некоторые из них должны допускать свободное перемещение трубы вдоль её оси.

В некоторых случаях опоры применяют для устранения вибраций и регулирования усилий, передаваемых трубопроводами на оборудование.

При прокладке трубопроводов применяют опоры неподвижные, закрепляющие трубопровод в заданной точке, подвижные, обеспечивающие свободное перемещение трубопровода в заданной точке, подвески и пружинные опоры. Некоторые виды опор и подвесок показаны на рис. 3.106, а-е.

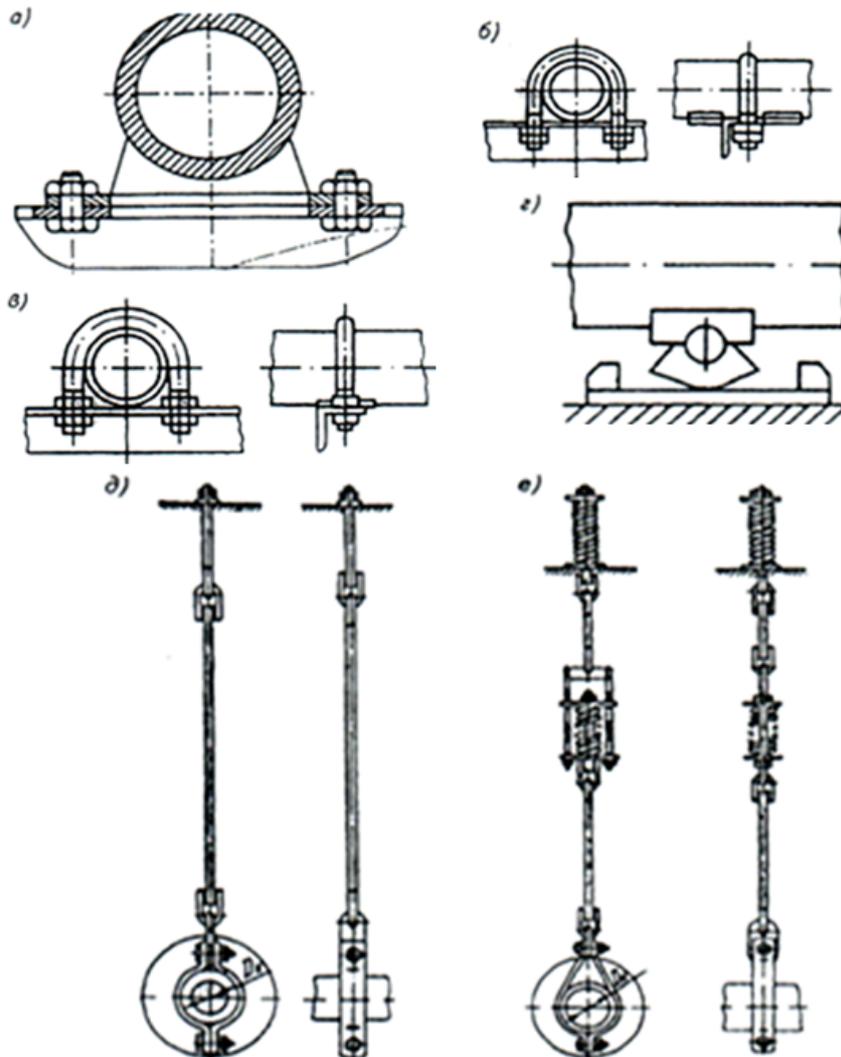


Рис. 3.106. Конструкции опор и подвесок технологических трубопроводов: а – неподвижная; б – неподвижная хомутовая; в – подвижная хомутовая; г – подвижная катковая; д – подвеска жёсткая; е – подвеска пружинная

Рациональное комбинирование неподвижных и подвижных опор обеспечивает компенсацию температурных деформаций трубопроводов (так называемую самокомпенсацию). При невозможности обеспечить самокомпенсацию устанавливают специальные компенсаторы на трубопроводах.

Применяются в основном П-образные, линзовые, сальфонные (волнистые) и сальниковые (рис. 3.107).

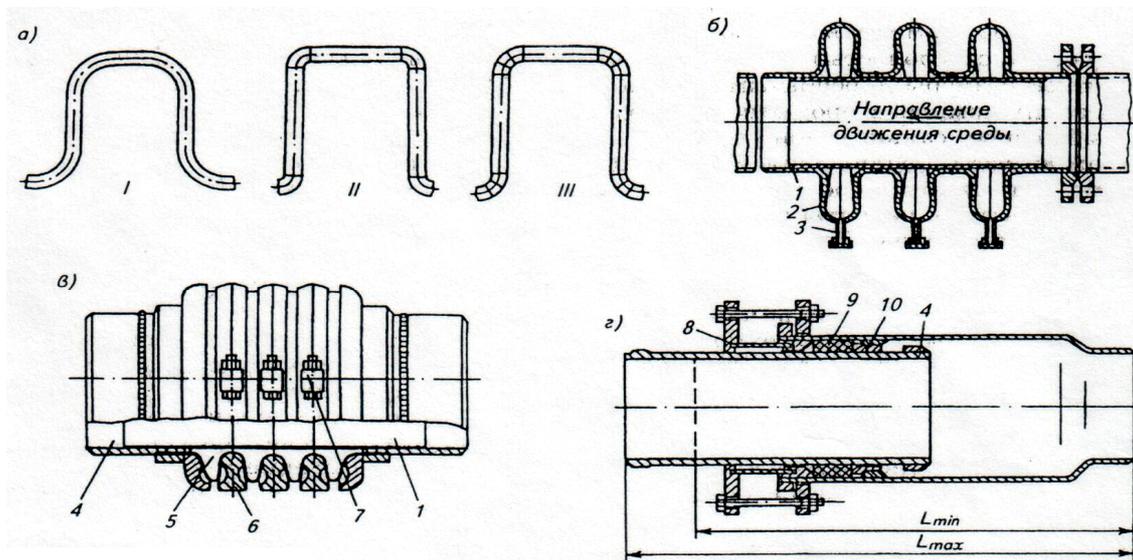


Рис. 3.107. Конструкции компенсаторов трубопроводов:

- а – П-образные (I – из одной трубы; II – из крутоизогнутых отводов; III – из сварных отводов); б – линзовый; в – сальфонный (волнистый); г – сальниковый; 1 – стакан защитный; 2 – полулинза; 3 – дренажный штуцер; 4 – патрубок; 5 – сальфон; 6 – полукольцо; 7 – стяжка винтовая; 8 – грундбукса; 9 – набивка сальниковая; 10 – кольцо упорное

При значительных температурных деформациях трубопровод при монтаже подвергается «холодному натягу» (стягиванию) между двумя ближайшими неподвижными опорами.

### 3.2.8. Основные типовые технические решения

#### Фиксаторы

Фиксаторы применяют для стопорения детали, движущейся относительно другой детали в продольном или вращательном движении. Фиксация может быть упругой или жесткой, ступенчатой или бесступенчатой.

Простейший вид упругого фиксатора – шарик, нагруженный пружиной (рис. 3.108). Данный фиксатор обладает рядом недостатков: ограничена глубина фиксирующего гнезда; центрирование пружины на шарике нежесткое; трудно зафиксировать шарик от выпадения из отверстия при разборке соединения.

Таких недостатков нет у цилиндрических фиксаторов со сферической рабочей поверхностью (рис. 3.109).

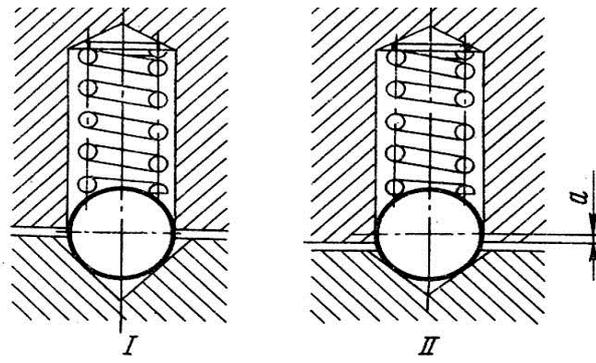


Рис. 3.108. Конструкция шарикового фиксатора: I – неправильная; II – правильная

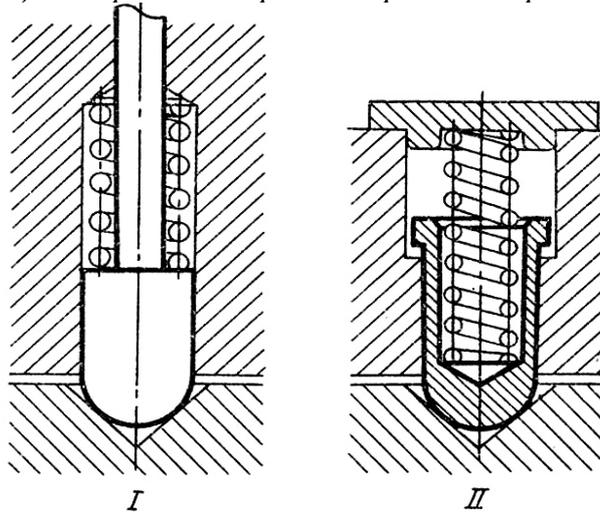


Рис. 3.109. Цилиндрические фиксаторы со сферической рабочей поверхностью

Фиксаторы со сферическим наконечником (рис. 3.108, 3.109) создают малую силу, фиксирующую деталь. Этот недостаток частично устранён в цилиндрических и цилиндроконических фиксаторах (рис. 3.110). Конические фиксаторы обеспечивают более точную фиксацию, чем сферические и цилиндрические.

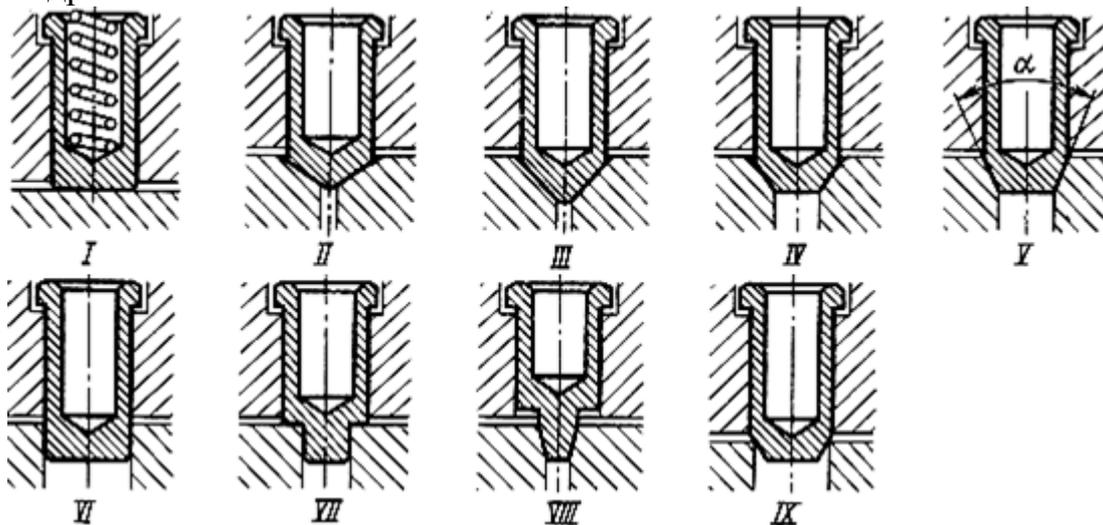


Рис. 3.110. Цилиндрические и цилиндроконические наконечники фиксаторов

На рис. 3.111 показаны разнообразные конструкции фиксаторов.

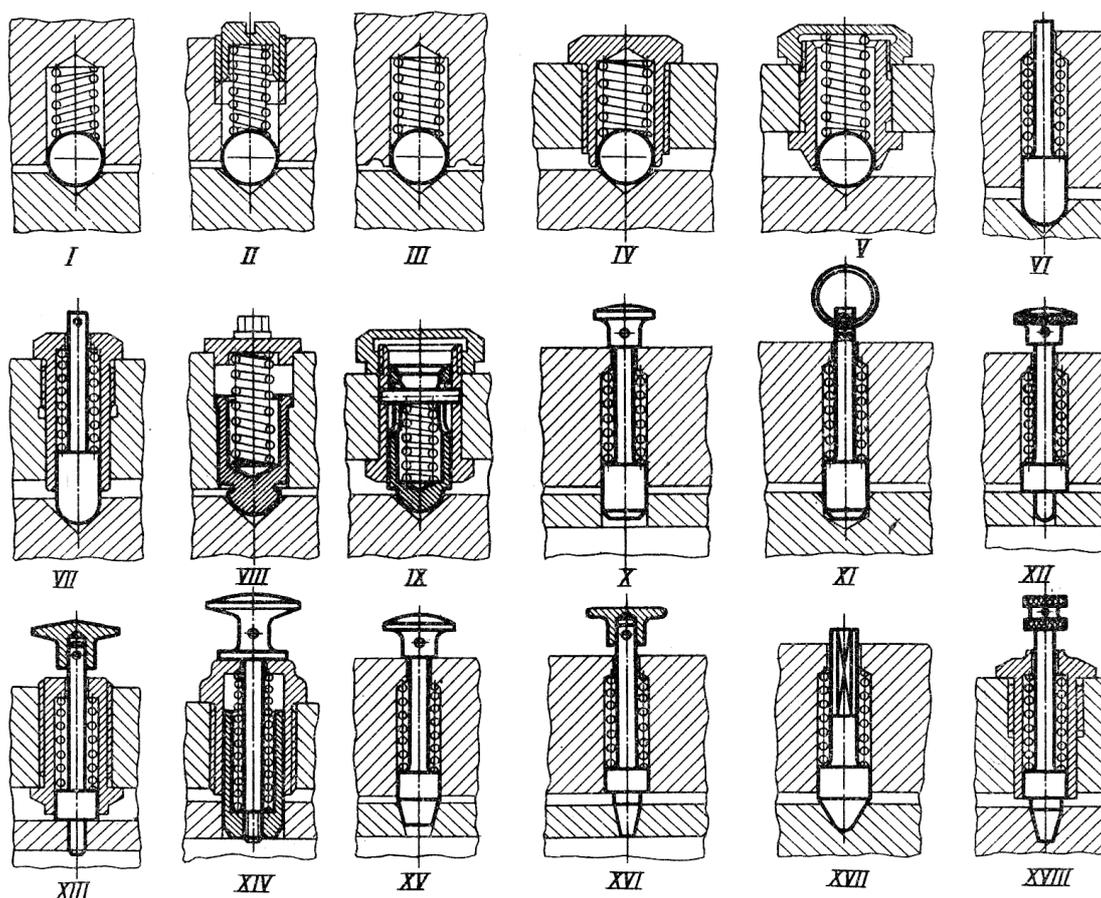


Рис. 3.111. Конструктивные разновидности фиксаторов

Рис. 3.111, I...V – шариковые фиксаторы: II – фиксатор с регулировкой силы затяжки пружины; III – выполнена подвальцовка краёв отверстия в детали, чтобы не выпадал шарик; IV и V – подвальцовка краёв выполнена в промежуточном корпусе из пластичного материала.

Рис. 3.111, VI...XII – цилиндросферические фиксаторы: IX – фиксатор застрахован от выпадения цилиндрическим штифтом.

Рис. 3.111, XIII...XIV – цилиндрические фиксаторы для жёсткой фиксации.

Рис. 3.111, XV...XVII – цилиндроконические фиксаторы.

Рис. 3.111, XVIII – клиновой фиксатор.

В осевом направлении фиксация осуществляется с помощью упругих колец круглого сечения (рис. 3.112, 3.113) и прямоугольного сечения (рис. 3.114, 3.115).

Для надёжного действия фиксатора (рис. 3.112) необходимо, чтобы внутренний диаметр кольца  $d_1$  был несколько меньше внутреннего диаметра выточки на валу  $d_2$ .

Для облегчения разборки, показанной на рис. 3.113, наружный диаметр кольца  $D_1$  должен быть несколько больше наружного диаметра выточки в корпусе  $D_2$ .

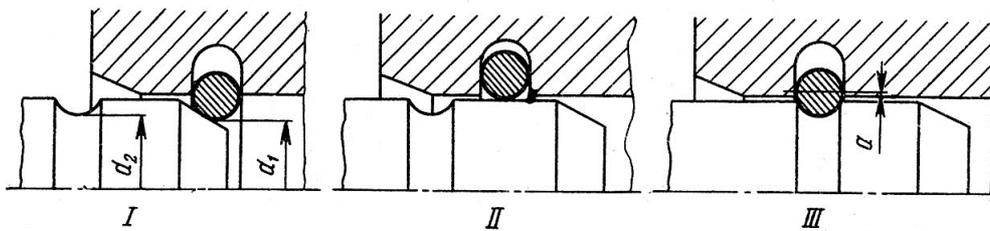


Рис. 3.112. Фиксация пружинным кольцом, установленным в выточке наружной детали: I, II, III – стадии сборки

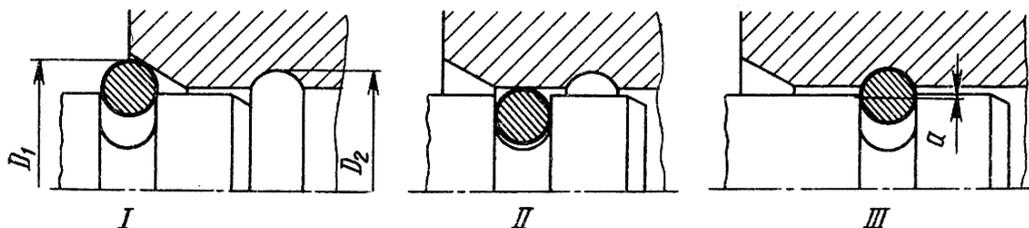


Рис. 3.113. Фиксация пружинным кольцом, установленным в выточке вала: I, II, III – стадии сборки

Фиксация кольцами круглого сечения – упругая. При необходимости жёсткой фиксации применяют кольца прямоугольного сечения (рис. 3.114).

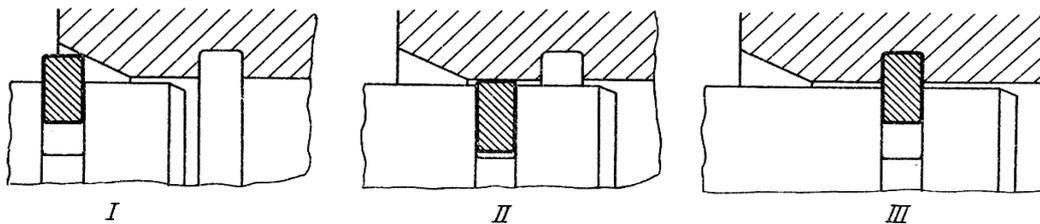


Рис. 3.114. Жёсткая фиксация пружинным кольцом прямоугольного профиля: I, II, III – стадии сборки

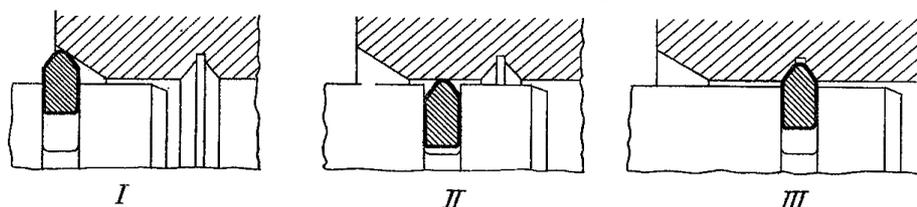


Рис. 3.115. Фиксация биконическим пружинным кольцом: I, II, III – стадии сборки

При кольцах с биконической поверхностью (рис. 3.115) фиксация может быть упругой или жёсткой в зависимости от угла конуса.

### **Вращательно-осевые соединения**

В качестве примера таких соединений можно привести соединение тарелки запорно-регулирующего вентиля, которое обеспечивает свободу вращения штока при одновременной фиксации в осевом направлении (рис. 3.116).

В конструкции на рис. 3.116, I шток фиксируется винтом, завёртываемым в кольцевую выточку на штоке. Недостатком данной конструкции является одностороннее приложение нагрузки. Установка двух (или трёх) симметрично расположенных винтов не помогает из-за неточности осевого расположения винтов. Всё равно нагрузку будет нести один из винтов.

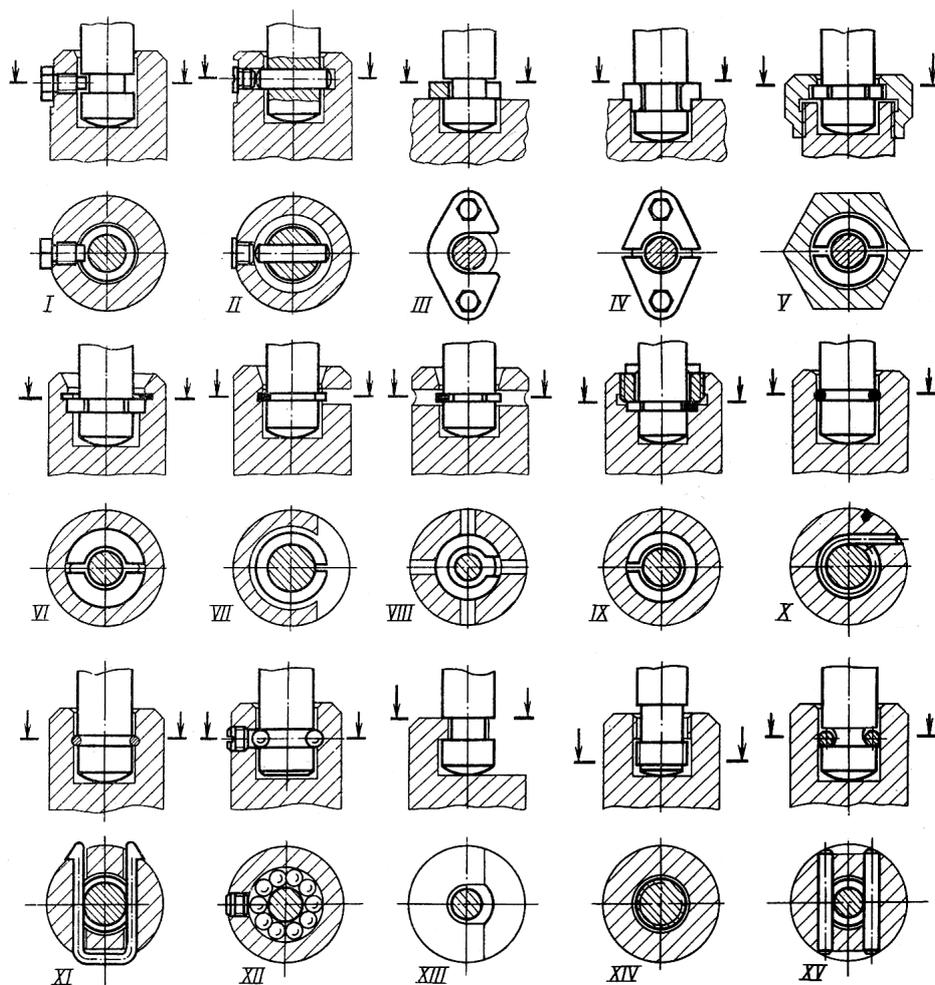


Рис. 3.116. Вращательно-осевые соединения

В конструкции на рис. 3.116, II шток фиксируется пальцем, заведённым в его отверстие и в кольцевую выточку присоединяемой детали. Палец предохранен от выпадения нарезной заглушкой.

На рис. 3.116, III, IV показаны способы крепления фланцем. В конструкции на рис. 3.116, III фланец заводится прорезом в выточку на штоке. На рис. 3.116, IV фланец выполнен из двух частей, снабжённых центрирующими буртиками (во избежание проворачивания).

В конструкциях на рис. 3.116, V, VI шток фиксируется полукольцами, закреплёнными гайкой (рис. 3.116, V) или пружинным кольцом (рис. 3.116, VI).

В конструкциях на рис. 3.116, VII...IX фиксация осуществляется пружинными кольцами. В случае, изображённом на рис. 3.116, VII, пружинное кольцо установлено в кольцевой выточке присоединяемой детали и при введении штока заскакивает в выточку штока. В конструкции на рис. 3.116, VIII пружинное кольцо установлено в кольцевой выточке штока и при введении штока заскакивает в выточку присоединяемой детали. В конструкции на рис. 3.116, IX пружинное кольцо затягивается внутренней гайкой.

В случае, изображённом на рис. 3.116, X, шток фиксируется проволокой из мягкой стали, заводимой в кольцевые выточки на штоке и в присоединяемой детали.

В конструкции на рис. 3.116, *XI* фиксация осуществляется скобой из пружинной проволоки, устанавливаемой в кольцевую выточку штока через отверстия в присоединяемой детали.

На рис. 3.116, *XII* показано соединение при помощи шариков, заводимых через боковое отверстие присоединяемой детали в выточку полукруглого сечения в штоке. Данное соединение может передавать большие силы в обоих направлениях.

В конструкции на рис. 3.116, *XIII* шток устанавливается в консольную прорезную лапку, отфрезерованную как одно целое с присоединяемой деталью. При этом необходимо зафиксировать шток от бокового смещения относительно оси присоединяемой детали. Данный способ широко применяется при малых нагрузках.

На рис. 3.116, *XIV* показан простой способ соединения путём ввертывания резьбового конца штока в резьбовой поясок на присоединяемой детали. Соединение применимо при небольших нагрузках и движении системы вверх.

На рис. 3.116, *XV* изображено распространённое соединение при помощи двух штифтов, пропущенных через отверстия в присоединяемой детали и через выточку полукруглого профиля в штоке.

### ***Способы использования сфер***

Сферические элементы деталей используют в самоустанавливающихся подшипниках, в рулевых тягах автомобилей, для устранения перекосов. Примеры их использования приведены на рис. 3.117.

Установку сфер осуществляют следующими способами.

Сфера по сфере (рис. 3.117, *I*, *X*). Соединения могут выдерживать большие осевые и радиальные нагрузки. Соединение (рис. 3.117, *II*) с удалённым центральным участком применяют при радиальных нагрузках. Соединение (рис. 3.117, *III*) на сферических шипах используют преимущественно осевых нагрузках.

Сфера по пружинным кольцам (рис. 3.117, *IV*, *VI*) несёт уменьшенные нагрузки, осевые и радиальные.

Сфера по цилиндру (рис. 3.117, *V*) несёт небольшие радиальные нагрузки.

Сфера по сфере с регулировкой (рис. 3.117, *VII*) – регулировка осуществляется левой гайкой.

Сфера по конусу с регулировкой (рис. 3.117, *VIII*) – регулировка осуществляется гайкой снизу.

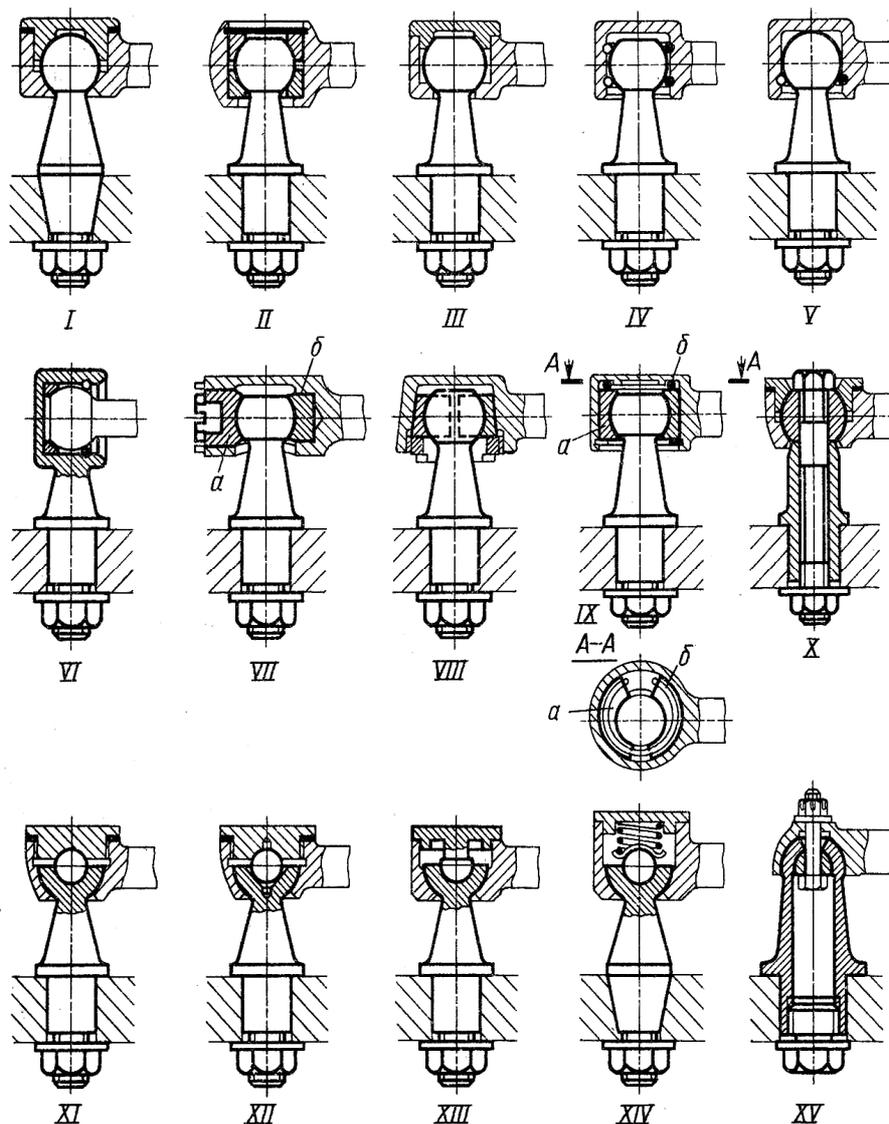


Рис. 3.117. Конструкции сферических соединений

Сфера по сфере с подтяжкой зазора (рис. 3.117, IX) – подтяжка производится пружиной (окоужной).

В конструкциях (рис. 3.117, XI...XV) головка образована полусферой, в гнездо которой закладывается шарик и крепится разными способами.

При разработке различных машиностроительных изделий конструктору приходится принимать технические решения. Они могут быть различными и для их выбора можно использовать приведённые в данном разделе и в технической литературе типовые технические решения в качестве аналогов и прототипов. Выбор решения проводится разработчиками на основе их подробного и тщательного изучения и анализа аналогов с учётом специфики решаемых задач и располагаемых технических средств и возможностей производства.

## Раздел 4. МЕТОДОЛОГИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Создание изделия включает, как уже отмечалось, этапы разработки и последующего изготовления, испытания и организацию промышленного выпуска изделий – партии или серии. Все показатели качества создаваемого изделия, его достоинства и возможные недостатки, его соответствие исходным данным и техническому заданию закладываются и обеспечиваются при разработке.

Разработка (конструирование) изделия начинается с изучения исходных данных и составления технического задания, которое выполняется разработчиком. В качестве разработчика могут выступать машиностроительный завод, конструкторское бюро, институт или собственное конструкторское подразделение заказчика. Разработка может включать проектные и конструкторские этапы. К *проектным* этапам относится подготовка технического предложения, эскизного и технического проектов. К *конструкторским* этапам относится разработка рабочего проекта и текстовой документации.

Эти этапы выполняются в том случае, если их выполнение предусмотрено техническим заданием. Дело в том, что разработка технического предложения, эскизного и технического проектов предусматривает глубокую и всестороннюю проработку разных вариантов изделия, которая сопровождается расчётами, и позволяет выбрать наиболее оптимальное решение. Такой подход применяют к изделиям серийного производства или к сложным, ответственным и дорогим изделиям. В ряде случаев при разработке простых изделий эти этапы опускаются, и вся проработка вариантов проводится при разработке технико-рабочего или рабочего проекта. После изучения исходных данных, полученных от заказчика или при инициативной разработке составленных разработчиком, проводится сбор, изучение и анализ разнообразной информации по профилю создаваемого изделия. Это необходимо для изучения уровня техники и выбора аналогов будущего изделия. Затем выполняются проектный и конструкторский этапы разработки.

Рассмотрим содержание этих работ более подробно.

### 4.1. Изучение сферы применения машины и уровня техники

#### *Выбор аналогов*

После изучения исходных данных разработчик машины должен досконально изучить сферу применения новой машины с учетом её назначения: ассортимент и показатели качества продукции, выпускаемой машиной, собственно показатели машины, условия безотказной эксплуатации, обслуживания и ремонта.

Эта работа проводится путём изучения и анализа технической, рекламной и патентной информации, натуральных образцов, отчётов, технических условий и стандартов и данных Интернет. Собираются отзывы и рекомендации производителей, ремонтников, научных работников. Организируются посещения и стажировки конструкторов на предприятиях, использующих аналогичное оборудование или выпускающих подобную продукцию. Этот подход позволяет использовать в новой разработке все до-

стоинства эксплуатируемых машин и обеспечить высокое качество новой разработки и выпускаемой на ней продукции.

Особенное значение имеет изучение уровня техники по направлению разработки с использованием тех же источников информации. В процессе изучения различных видов машин аналогичного назначения выявляются принципиальные и конструктивные особенности разных образцов техники как отечественных, так и зарубежных. Определяются достигнутые показатели качества оборудования и производимой на нём продукции, анализируется конструкция отдельных узлов машины.

На основе проведённых исследований подготавливается и оформляется техническое задание и выбирается аналог или несколько аналогов (прототипов) разрабатываемой машины, которые в процессе разработки должны быть улучшены. Выбор аналога для разработки имеет большое, часто определяющее значение. Так, на предприятиях по производству гексафторида урана для его выделения из потока реакционных газов после фторирования при атмосферном давлении производилось его осаждение на охлажденных поверхностях до температуры около 10 °С в виде твердого осадка, подобного льду (десублимация).

Осадок этот снижал эффективность осаждения из-за его низкой теплопроводности. Для сбора продукта и его выведения из технологической схемы применялись громоздкие и неудобные в эксплуатации десублиматоры (скребковые, трубчатые теплообменники и др.).

Разработчиками одного из предприятий были проведены работы по замене этого оборудования. В результате поиска аналога было обнаружено, что подобная задача была решена путем создания десублиматора с тепловым сбросом (рис. 4.1) с трубками Фильда.

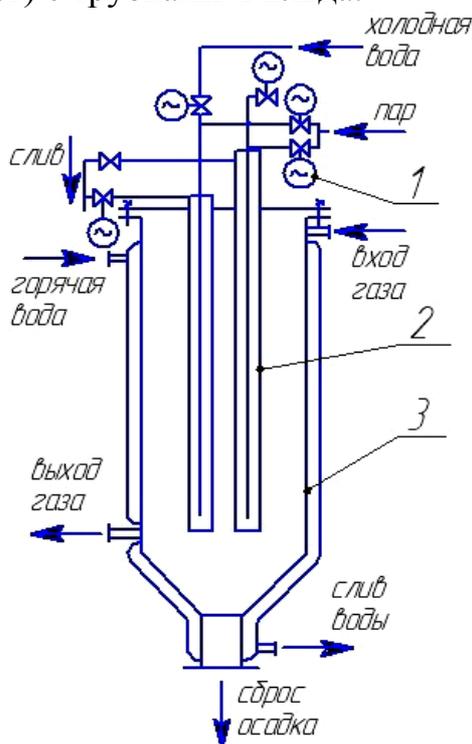


Рис. 4.1. Схема десублиматора с тепловым сбросом: 1 – приводные вентили; 2 – трубка Фильда; 3 – аппарат с тепловой стенкой

Газ, содержащий пары йода, подавался в аппарат с тепловой стенкой 3. В аппарате йод выделялся в виде слоя осадка на стенках охлаждаемых трубок Фильда 2. По мере нарастания слоя йода эффективность его выделения (десублимации) падала и тогда внутрь групп трубок 2 кратковременно и попеременно подавался пар. При этом сцепление слоя йода со стенками падало и осадок (йод) сползал с трубок и выгружался из аппарата в приемную емкость. Попеременная подача пара и хладагента осуществлялась автоматически с помощью управляемых вентилях 1. Стенки аппарата в процессе работы нагревались для предотвращения осаждения йода на них.

Применение подобной схемы позволило создать эффективный и безопасный аппарат для десублимации гексафторида урана и производство на его основе [3]. Указанный пример показывает, что данные об аналогах должны быть по возможности наиболее полными и достоверными. Иногда проводятся испытания специально приобретенных аналогов в широком диапазоне условий эксплуатации.

Аналоги выбираются для принципиальных и аппаратурно-технологических схем создаваемого производства. Аналог, подобранный на основе изучения технологической информации, является основанием для разработки нового изделия.

Рассмотрим несколько примеров анализа информационных материалов при подборе аналогов для создания машиностроительных изделий.

*Создание устройства для очистки газовых потоков от пылевидных примесей.*

Исходные данные на разработку устройства для очистки газовых потоков от пыли:

- состав газового потока – газ, %, твердые включения, %;
- химический состав газов и твердых включений;
- производительность по газу объемная  $Q$ , м<sup>3</sup>/час;
- плотность пыли  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>;
- размер твердых частиц\*  $\delta$ , мкм;
- требуемая степень очистки  $K$ , %;
- температура газового потока  $t$ , °С;
- применяемые марки конструкционных материалов\*\*;
- потребность в количестве изделий, шт. по годам;
- минимальная цена одного изделия, тыс. р.;
- желаемые сроки поставки по годам.

*Примечания:*

\* могут быть указаны минимальный или максимальный размеры частиц, (мкм) или их фракционный состав;

\*\* марки могут не указываться, если их выбор оставлен на усмотрение разработчика.

Для очистки газовых потоков от твердых дисперсных частиц (пыли) применяются устройства различных типов:

- инерционные газоочистительные устройства (центрифуги и сепараторы);

- центробежные гидродинамические устройства (циклоны);
- электростатические фильтры;
- фильтры с пористыми перегородками.

Каждый из перечисленных устройств обладает своими достоинствами и недостатками. Поэтому в начале разработки перед выбором аналогов необходимо рассматривать несколько различных типов устройств и выбрать из них наиболее предпочтительный, исходя из основных показателей разрабатываемого устройства: производительности, состава пылегазовой смеси, требуемой степени очистки и т. д. После этого следует подобрать наиболее известные и эффективные устройства, используемые в промышленности.

Основой для выбора аналогов, как уже отмечалось ранее, являются различные информационные материалы и источники, по которым на базе исходных данных составляется обзор (отчет) по информационным исследованиям и, если необходимо, составляется патентный обзор.

Он подготавливается для обеспечения патентной защищенности будущей разработки по интересующим заказчика и разработчика странам, либо на патентную чистоту в случае использования объекта разработки на отечественных предприятиях.

В информационном обзоре по интересующим направлениям (способам и устройствам) приводятся сведения в виде схем, рисунков, чертежей с их описаниями и указываются показатели качества выбранных образцов. Объем информационного обзора может достигать несколько сотен страниц.

Для ясности и простоты изложения, чтобы не загромождать книгу сложным иллюстрационным материалом и длительными пояснениями, далее будем приводить описание устройства и способов возможной очистки путем рассмотрения принципиальных схем основных устройств в упрощенном варианте.

Уже на стадии составления обзора необходимо включить в него наиболее интересные, эффективные и перспективные варианты. Рассмотрим наиболее широко используемые газоочистительные устройства.

#### *Инерционные механические газоочистительные устройства*

К устройствам этого типа относятся газовые центрифуги и сепараторы. Центрифуги (рис. 4.2, а) представляют собой ротор 3, вращающийся в цилиндрическом корпусе 5.

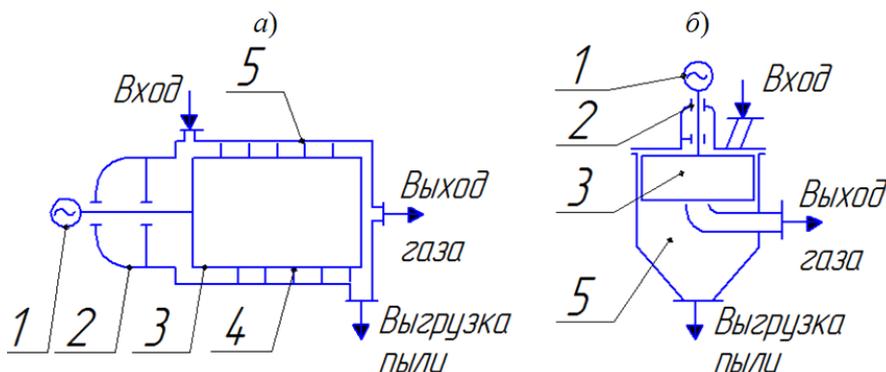


Рис. 4.2. Механические инерционные пылеочистители:  
а — центрифуга; б — сепаратор

Ротор располагается в подшипниках 2 и вращается двигателем 1. Пылевидная фракция центробежными силами отбрасывается на стенки корпуса и срезается с них шнековым ножом 4. Срезанный осадок затем выгружается через патрубок выгрузки, а очищенный газ выходит из корпуса. Особенностью центрифуги является очень высокая угловая скорость ротора, что обеспечивает высокую и стабильную степень очистки и образование плотного осадка. Центрифуги выпускаются в горизонтальном и вертикальном исполнении. Центрифуги являются очень сложным и дорогим устройством. Для их разработки необходимы опытные высококвалифицированные конструктора и требуется проведение опытно-конструкторских работ (ОКР). Для изготовления центрифуг требуется высокоточное оборудование и квалифицированные машиностроители. Это ведет к высокой цене изделия и длительным срокам изготовления.

Заказчику при выборе центрифуг для своих нужд следует ориентироваться на приобретение серийных изделий на специализированных заводах.

Исполнителю (поставщику) по этим причинам целесообразно планировать разработку и поставку центрифуг только при наличии большого пакета заказов изделий при гарантии стабильных поставок в течение длительного времени.

Сепараторы по компоновке и устройству незначительно отличаются от центрифуг. Они (рис. 4.2, б) также состоят из корпуса 5, внутри которого вращается ротор 3, вал которого установлен в подшипниковом узле 2 и приводится в движение двигателем 1.

Однако, в отличие от центрифуг, у сепараторов ротор вращается со значительно меньшей угловой скоростью. По этой причине твердые частицы, отбрасываемые к стенкам, не образуют плотного слоя и этот слой сползает по стенкам корпуса, ось которого у сепараторов располагается вертикально к разгрузочному патрубку.

Подшипниковый узел по этой причине испытывает при работе существенно меньшие динамические нагрузки. Поэтому к нему предъявляются менее высокие требования. Стоимость разработки и изготовления сепаратора ниже, чем у центрифуги. Тем не менее, условия, необходимые для принятия решения о создании таких устройств, аналогичны условиям, определяющим возможность поставки на производство центрифуг:

- наличие квалифицированных разработчиков и опыта у них работы в области конструирования высокоскоростных узлов;
- наличие машиностроительной базы;
- наличие ожидаемой потребности на длительный период времени.

По этой причине целесообразно приобретать или заказывать сепараторы на специализированном предприятии, уже освоившем их выпуск.

#### *Электростатические фильтры*

В электростатических фильтрах улавливание твердых частиц основано на их электростатическом осаждении на электродах, имеющих высокий электростатический потенциал. При этом электрод должен иметь заряд противоположного знака по отношению к знаку заряда твердых улавлива-

емых частиц. Поэтому улавливаемые частицы оседают на поверхности электродов.

Электрофильтры состоят из корпуса 3 и крышки 2 (рис. 4.3). В крышке в электроизолирующих втулках 1 размещены электроды 4. В корпусе предусмотрены штуцера для ввода и отвода газов и для удаления задержанной пыли. Кроме этого, электрофильтры должны быть снабжены блоком высоковольтного электропитания и устройствами для удаления осадка с электродов, которые на рисунке не показаны.

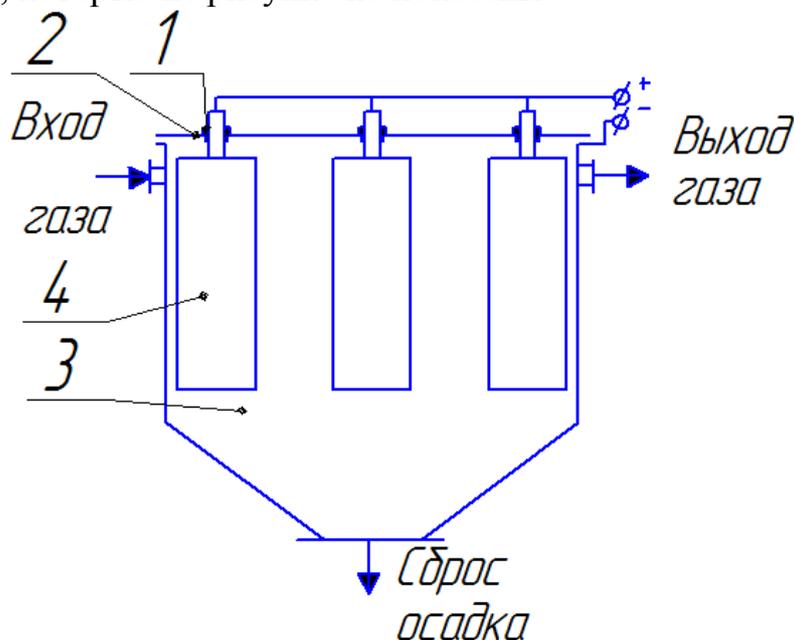


Рис. 4.3. Схема устройства электростатического фильтра

Для снятия осадка применяют кратковременную смену полярности или отключение электродов от источника потенциала.

Существует огромное количество электрофильтров, различающихся областями применения, производительностью, формой траектории течения потока газов в корпусе и между электродами, напряжением, подаваемым на электроды, и схемой подготовки газопылевого потока.

Электрофильтры, как правило, разрабатываются конструкторами, специализирующимися в этой сфере и выпускаются на заводах этого профиля. Например, серийно выпускаются электрофильтры для ТЭЦ, цементных заводов и других крупнотоннажных производств производительностью в сотни тысяч м<sup>3</sup>/час и более. Существуют и фильтры малой производительности в десятки м<sup>3</sup>/час, например, для фтора.

По этой причине браться за разработку подобных фильтров следует только при наличии специальных условий, которые описаны при рассмотрении центрифуг.

#### *Центробежные гидродинамические пылеочистители*

Эти пылеочистители основаны на принципе закручивания струи газа в цилиндрическом аппарате (рис. 4.4) с высокой скоростью. При этом частицы пыли, находящиеся в закрученном потоке, отбрасываются центробежной силой к стенке корпуса и, тормозясь по ней, под действием силы тяжести опускаются по стенке вниз и удаляются из циклона. Струя газа, совер-

шив несколько оборотов внутри аппарата, выходит вверх через центральный выходной патрубок.

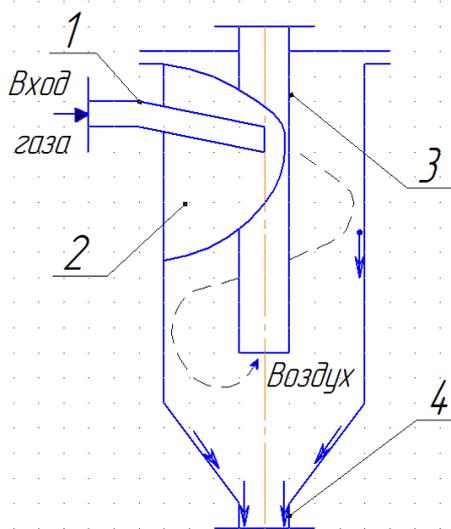


Рис. 4.4. Схема циклона: 1 – входной патрубок; 2 – корпус; 3 – выходной воздушный патрубок; 4 – патрубок выхода пыли

Степень очистки в таком аппарате невелика и составляет 70–90 %. Причина такой невысокой степени очистки состоит в том, что мелкие частицы, содержащиеся в полидисперсной пыли, не успевают разделиться в циклоне и удаляются с газом. Крупные же частицы выделяются в циклоне и собираются в пылесборнике. Таким образом, при очистке газового потока от монодисперсной пыли достигается высокая степень очистки газа (90 % и выше), а при улавливании полидисперсной пыли степень очистки составляет 70 % и ниже.

Циклоны широко применяют в различных отраслях промышленности для очистки от пыли технологических газов и в системах вентиляции. В их разработке специализируется НИОГАЗ РФ. Существует большое количество разработанных типов циклонов, выпускаемых промышленностью. Ориентируясь на чертежи и разработки НИОГАЗа можно подобрать рекомендуемые размеры циклонов для различных условий (производительность, тип выделяемого материала и размеры его частиц в потоке). Кроме того, в специальной литературе [33] и в Интернете можно подобрать методики расчета циклонов.

Кроме циклонов классического типа (рис. 4.4), применяют мультициклоны, в которых входной газовый поток входит соосно с корпусом циклона, а закручивание его достигается с помощью направляющих лопаток, расположенных в верхней части корпуса.

Используются также батарейные циклоны, в которых несколько циклонов устанавливаются параллельно. В этих циклонах объединены входные патрубки, выходные патрубки и пылеотводящие патрубки.

При рассмотрении возможности применения одного из типов циклонов в качестве аналога необходимо оценить его показатели, сравнить с требованиями исходных данных и из этого сравнения сделать выводы о возможности применения циклонов.

### Фильтры с пористыми перегородками

Фильтры широко применяют в различных отраслях промышленности. Они представляют собой пористые перегородки, через которые проходит очищаемый газ. Фильтрующие перегородки размещают в корпусе. Корпус снабжен штуцерами для ввода пылегазовой смеси, выхода очищенного газа, штуцера для удаления из корпуса пылевого осадка и вспомогательных устройств. Рассмотрим некоторые типы фильтров, которые наиболее распространены в промышленности (рис. 4.5).

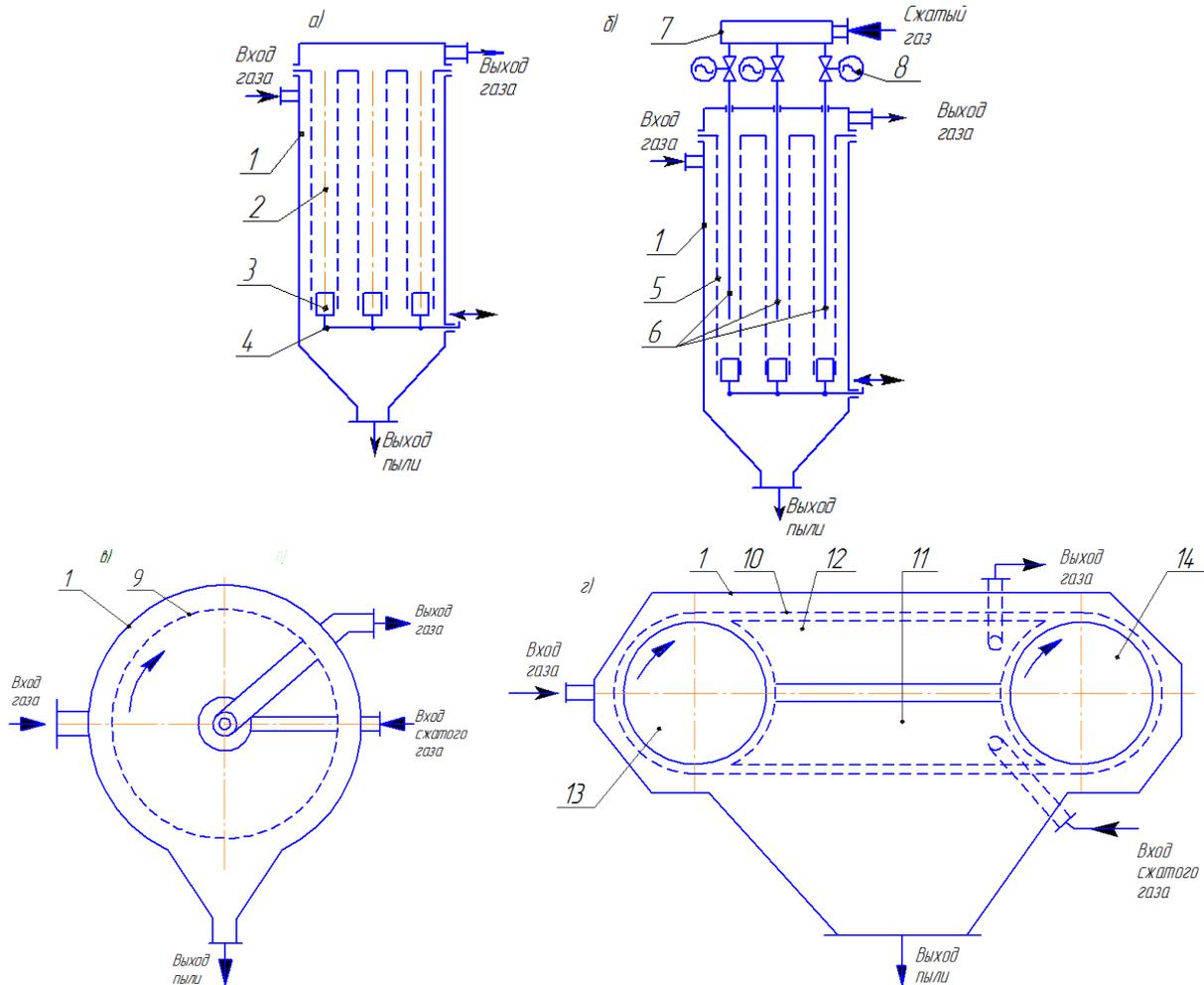


Рис. 4.5. Схема фильтров: а – фильтр рукавный; б – фильтр патронный; в – фильтр барабанный; г – фильтр ленточный; 1 – корпус; 2 – фильтрующий рукав; 3 – пробка; 4 – тяга встряхивающая; 5 – фильтрующий патрон; 6 – трубка отдувки осадка импульсная; 7 – ресивер сжатого газа; 8 – приводной вентиль; 9 – барабан фильтрующий; 10 – лента фильтрующая; 11 – конденсор сжатого газа; 12 – конденсор отсоса газа; 13 – барабан натяжной; 14 – барабан ведущий

На рис. 4.5, а приведен рукавный фильтр, в котором используются рукавные фильтрующие элементы 2, закрепленные на трубной доске корпуса 1 с помощью спирального проволочного каркаса. На каркас наматывается плоский текстильный волокнистый или сетчатый материал или текстильная ткань в виде рукава. В нижней части каждого рукавного фильтрующего элемента вставляется пробка 3, скрепленная с встряхивающей тягой 4, которая в корпусе может быть уплотнена с помощью сальника или саль-

ника. С помощью этой тяги рукавам периодически сообщаются вибрация или качание. С их помощью пылевой осадок, задержанный на внешней поверхности рукава, стряхивается с рукава и удаляется через нижний разгрузочный штуцер.

В качестве фильтрующего материала может применяться синтетическая, хлопчатобумажная, углеродная ткань, либо металлическая сетка разных типов плетения с ячейками различных размеров. Стоимость фильтрующих хлопчатых и синтетических материалов относительно невысока. Стоимость углеродных материалов может быть выше стоимости других материалов в десятки-сотни раз, но все-таки фильтры с такими фильтрующими перегородками относятся к наиболее дешевым (с учетом удельной стоимости  $\text{р./}(\text{м}^3/\text{час})$ ). При оценке экономической эффективности использования фильтрующих материалов следует учитывать не только капитальные затраты, но и эксплуатационные расходы, в т. ч. на их замену. Выбор фильтрующего материала, равно как и материала элементов фильтра, определяется составом фильтруемого газа и примесей, рабочей температурой фильтрации. Фильтры разрабатываются и выпускаются с производительностью от десятков литров в час до сотен тысяч  $\text{м}^3/\text{час}$ .

На рис. 4.5, б изображен патронный фильтр. Его работа аналогична работе рукавного фильтра. В патронном фильтре пыль отделяется от газа на внешней фильтрующей поверхности элементов.

В отличие от рукавного фильтра, в патронном фильтре применены жесткие пористые патроны 5. В качестве фильтрующего материала в этом случае используют сборные пористые цилиндрические металлокерамические, минералокерамические, сетчатые фильтрующие перегородки. По удельной производительности эти перегородки значительно (в несколько раз) уступают рукавным фильтрам.

Они выпускаются на специализированных заводах в виде цилиндрических и плоских элементов, которые могут свариваться между собой. Их производят однослойными и многослойными с мелкопористым наружным слоем. В последнем случае степень очистки может составлять  $(1-10^{-5})\%$ . Такие элементы изготавливают на одном из заводов Росатома (Россия). Они допускают большое количество регенераций путем отдувки. Их срок службы достигает 10 лет. Стоимость таких элементов в расчете на площадь фильтрующей поверхности превышает стоимость рукавных элементов в сотни раз, однако, с учетом срока службы эффективность их применения может быть существенно выше. В патронных фильтрах для удаления осадка с внешней поверхности фильтр-патрона применена система периодической попеременной отдувки каждого из патронов или секций.

Для этого внутри каждого из патронов введена импульсная трубка 6, по которой в патрон или в группу из нескольких патронов подается импульс сжатого газа, который, проходя через стенку патрона изнутри, сбрасывает осадок пыли с внешней поверхности патрона. На каждый фильтр установлен ресивер 7 сжатого газа и управляемые вентили приводные 8, включаемые с помощью системы автоматического управления.

Целесообразность использования патронных фильтров оценивается при анализе их технических показателей в сравнении с другими типами фильтров.

Ниже показан пример использования барабанного фильтра в системе очистки воздуха крупного текстильного предприятия Германии от отходов волокнистых материалов в вентилируемом помещении (рис. 4.6).

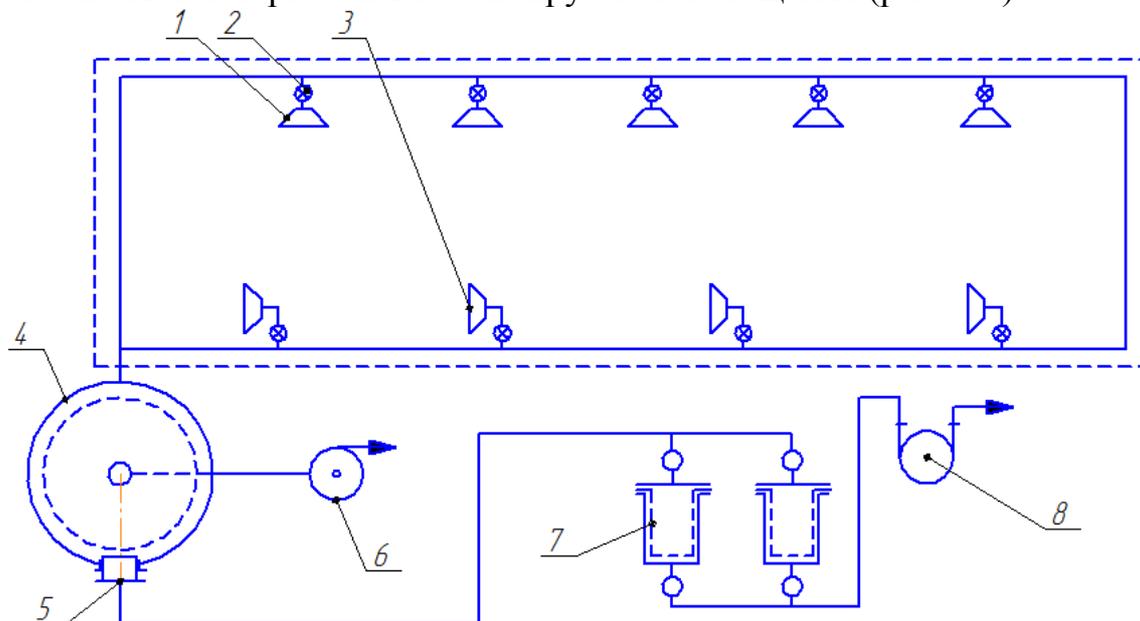


Рис. 4.6. Схема вентиляционных отсосов текстильного цеха: 1 – отсосы от аппаратов; 2 – регулирующие шиберы; 3 – отсосы нижней зоны помещения; 4 – барабанный фильтр; 5 – конденсор вакуумного съема отходов; 6 – общий вентилятор; 7 – сборник отходов; 8 – вакуумный насос

Система обслуживает помещения, в которых размещаются текстильные машины и где образуются волокнистые отходы. В нужных местах помещения располагаются местные отсосы 1 и 3, функционирует система пневматической уборки отходов. Расход воздуха от каждого отсоса регулируется с помощью ручных регулирующих шиберов 2.

Воздух со взвешенными отходами поступает в барабанный фильтр 4. Отходы задерживаются фильтрующей сеткой барабана и снимаются с нее с помощью конденсора вакуумного съема отходов 5. Очищенный воздух вентилятором выбрасывается в атмосферу. Снятые отходы в потоке воздуха, создаваемого вакуумным насосом 8, проходят через один из сетчатых сборников отходов, и поток воздуха удаляется в атмосферу.

Этот пример иллюстрирует применение фильтра и его взаимодействие с другими элементами системы очистки воздуха.

Барабанные фильтры являются фильтрами непрерывного действия (рис. 4.5, в). В них фильтрация осуществляется поверхностью цилиндрической фильтрующей перегородки (сетки) 9, вращающейся в корпусе 1. В нижней части сетки барабана расположен конденсор сжатого газа 11, в который также по валу подается сжатый воздух для непрерывной отдувки задержанной пыли. При этом пыль сбрасывается в выпускной штуцер.

В качестве материала фильтрующей перегородки используют те же материалы, что и в рукавных фильтрах. Барабанные фильтры обычно выпускаются на производительность в тысячи-десятки тысяч м<sup>3</sup>/час. Поэтому они могут иметь очень большие размеры (до 10 м в диаметре).

Конструкция барабанного фильтра довольно сложная: должно быть обеспечено плотное прилегание поверхности барабана к конденсору при вращении барабана и надежное подвижное уплотнение в местах присоединения воздухопроводов к валу. Это требует соответствующего технологического оборудования и оснастки на заводе-изготовителе, а также высокой квалификации персонала завода.

На рис. 4.5, *г* показан ленточный транспортерный фильтр, который может применяться в той же области, что и барабанный фильтр. Он состоит из корпуса 1, в котором на ведущем 14 и натяжном 13 барабанах находится движущаяся фильтрующая лента (сетка). Она поддерживается несущими роликами и снабжена устройством для правки сетки, которое регулирует положение сетки на барабанах, предотвращая сход сетки в процессе ее движения.

Воздух очищается на сетке от пыли за счет просасывания его с помощью конденсора отсоса 12. Отходы сдуваются с сетки в нижнем ее положении с помощью конденсора отдувки 11 и выходят из корпуса. Фильтр этого типа выгодно отличается от предыдущего тем, что в нем могут использоваться детали и узлы от серийно изготавливаемых бумагоделательных машин: барабан с подшипниковыми опорами, натяжной механизм сетки, опорные ролики, устройство правки сетки, детали конденсоров и др. К недостаткам аппарата относится износ сетки в процессе ее эксплуатации.

В результате приведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- для непрерывной пылегазоочистки целесообразно с учетом экономических факторов применять центробежные устройства (центрифуги, сепараторы), обеспечивающие высокую и стабильную степень очистки;
- для непрерывной пылегазоочистки со средней и низкой степенью очистки можно использовать газодинамические инерционные устройства (циклоны, мультициклоны и др.);
- электростатические фильтры применимы для улавливания неэлектропроводных и негорючих твердых частиц преимущественно при высоких расходах газа;
- фильтры периодического действия (рукавные, патронные и др.) могут обеспечивать разную степень очистки, соответствующую требуемой, и могут использоваться при различных расходах газов в различных отраслях промышленности;
- фильтры непрерывного действия (барабанные, ленточные) наиболее применимы для очистки газовых потоков высокой производительности в разнообразных условиях производства.

Описанный анализ разных типов пылеочистительных устройств проводится с целью выбора наиболее подходящего типа для последующего

подбора аналога. На основе этого анализа устанавливается наиболее приемлемый тип устройства и уже в этой, более узкой области производится подбор информации об освоенных промышленностью образцах с основными техническими показателями, близкими к показателям создаваемого изделия (вид газа и твердых включений – крупность, состав, производительность, качество работы и др.). Далее проводится рассмотрение информации о передовых образцах известных зарубежных фирм и отечественных предприятий в данной отрасли.

Приведенные выше примеры иллюстрируют методологию выбора наиболее эффективных решений при конструировании машиностроительных изделий.

Результаты изучения сферы использования машины и уровня техники обобщаются в виде аналитических обзоров, где приводится собранная информация, её анализ, рекомендации по применению собранной информации и (иногда) проектные решения. Параллельно составляют проект отчёта о патентных исследованиях, где указываются сведения о действующих патентах и о направлениях предлагаемой патентной защиты.

#### **4.2. Выбор конструктивной схемы и компоновки изделия.**

##### **Конструктивная преемственность**

На основе исходных данных, аналитического отчёта и отчёта о патентных исследованиях составляется техническое задание. Оно включает сведения об исходных данных и необходимые данные и требования для создания нового изделия (назначение, описание принципа действия, основные характеристики и показатели качества машины). Требования заявки, исходных данных и технического задания должны быть обеспечены при разработке и подтверждены испытаниями машины. Техническое задание относится к исходной документации, но входит в состав проектной и конструкторской документации.

После составления технического задания ведётся разработка технического предложения, эскизного и технического проектов, если это предусмотрено в техническом задании. При выполнении технического предложения и эскизного проекта прорабатывается несколько вариантов изделия по общей схеме, по компоновке и по узлам. При переходе от этапа к этапу число вариантов уменьшается, а глубина проработки увеличивается. В техническом проекте прорабатывается один вариант, а узлы могут выполняться в нескольких. Иногда вся эта работа проводится в рабочем проекте.

Работа на каждом этапе, после составления технического задания, проводится в следующем порядке. На основании технического задания проводится выбор конструктивной схемы. Выбор конструктивной схемы является первым важнейшим этапом конструирования. Большое значение для успешной разработки имеет опыт разработчиков и знание специфики применения машины и устройства аналогов.

Кроме того, важным условием для успешной работы является подробное изучение результатов поисковых и перспективных работ, проводимых

на предприятиях и в научно-исследовательских организациях. Это расширяет возможности и кругозор разработчика и обогащает арсенал его конструкторских приёмов и средств.

Особенно полезно изучать опыт передовых отраслей машиностроения (авиация, станкостроение, автотракторостроение), где высокие требования к качеству и массовости изготовления способствуют созданию новых конструктивных форм, комплектующих, способов повышения прочности, надёжности, долговечности, ремонтпригодности и приёмов производительного изготовления. Иногда некоторые узлы и агрегаты полезно заимствовать при разработке или приобрести в других отраслях машиностроения. Перед выбором конструктивной схемы после изучения технического задания и составления блок-схемы «окружающая среда–изделие–человек» конструктор проводит подбор изделий-аналогов или объектов, близких к разрабатываемому изделию, из числа освоенных промышленностью передовых изделий.

Одновременно подбирают отдельные функциональные узлы, механизмы, преимущественно из освоенных промышленностью (двигатели постоянного и переменного тока, приводы и редукторы, механизмы преобразования движения, такие как кривошипно-шатунные, кулисные с гибкой связью, гидравлические, пневматические и др.), специальные рабочие органы, используемые в изделиях разрабатываемого типа (режущие; раскладочные для нити; намоточные для ткани, пленки, нити и т. п.). На основе анализа изделий-аналогов и функциональных узлов прочерчивают несколько вариантов конструктивных схем изделия.

Приведем некоторые примеры применения стандартизованных или серийных узлов и агрегатов в конструкторских разработках. Например, при создании ленточных фильтров (рис. 4.5, з) широко используются серийные узлы бумагоделательных или текстильных машин (барабаны ведущий и натяжной, ролики поддерживающие, устройства правки сетки и др.). В качестве узлов, обеспечивающих перемещение деталей или усилия прижима узлов станочных приспособлений друг к другу, часто применяют поршневые и диафрагменные узлы автомобилей, станков, дорожных машин [4; 8; 24; 37; 47 и др.].

При разработке нами [3] горизонтального реактора с мешалкой для фторирования высокообогащенного урана с целью герметизации вала мешалки в корпусе реактора были рассмотрены несколько типов уплотнительных устройств – сальниковое, торцевое и др. (см. рис. 3.35–3.38). В результате их анализа и изучения заимствования подобного устройства было выбрано серийно выпускаемое сальфонно-торцевое уплотнение, применяемое в оборудовании для разделения изотопов урана на предприятиях Росатома. Схематическое изображение этого устройства приведено на рис. 4.7.

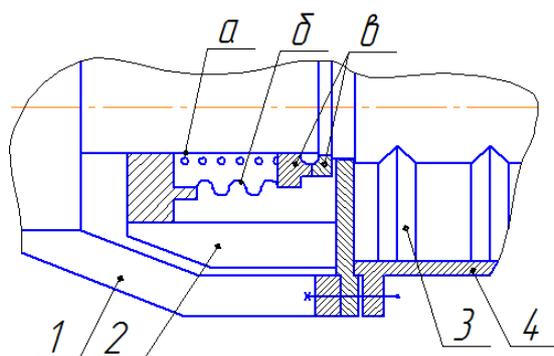


Рис. 4.7. Схематическое изображение сальфонно-торцевого уплотнения:  
 1 – подшипниковые опоры; 2 – сальфонно-торцевое уплотнение;  
 3 – вал-мешалка; 4 – корпус реактора; а – пружина; б – сальфон;  
 в – торцевая пара (в составе узла 2)

Эти уплотнения бесперебойно эксплуатировались в составе установки на нескольких реакторах только благодаря тому, что они были изготовлены на заводе серийно для аналогичных условий.

В той же установке для очистки реакционных газов после фторатора был разработан и внедрен патронный фильтр с пульсационной системой очистки фильтров патронов от пылевого осадка (рис. 4.5, б). В качестве фильтров патронов были применены многослойные металлокерамические цилиндрические элементы, выпускаемые на одном из предприятий России, обладающие следующими техническими характеристиками:

- степень очистки,  $10^{-2}$ – $10^{-5}$  %;
- срок службы, 10 лет;
- размеры улавливаемых частиц, более 0,5 мкм.

Применение этих и других подобных изделий позволило создать надежное и безопасное оборудование и запустить высокоэффективное производство [41].

Разработку вариантов конструктивных схем, как и компоновку изделия, выполняют в тонких линиях для облегчения внесения переделок и исправлений. Сечения штрихуют от руки. Для облегчения восприятия схемы или компоновки важные их фрагменты изображают по возможности в масштабе 1:1. Законченные варианты схем готовят для обсуждения, придавая им наглядность путем обводки, штриховки и растушёвки, иногда в цвете. При использовании средств компьютерной графики и проектирования (системы САПР) разработка облегчается и ускоряется за счёт применения фрагментов типовых узлов и их компьютерного модифицирования. При этом выбирают также стандартные узлы и детали. В этом случае в системе САПР производятся достаточно выразительные эскизы и схемы, которые могут включаться в разрабатываемую компоновку в виде аппликаций или выполняться на компьютере полностью.

Выбор варианта конструктивной схемы изделия и его компоновки обычно производят путем параллельного анализа нескольких вариантов, которые подвергаются тщательной сравнительной оценке. К обсуждению вариантов схемы полезно привлекать специалистов разного профиля. Рассматри-

вается и оценивается конструктивная целесообразность компоновки основных узлов (двигатель, передаточные механизмы, корпус, рабочие органы, приборы контроля и органы управления, рабочее место оператора, зоны обслуживания и т. д.), совершенство кинематической и силовой цепи, стоимость изготовления, управления и обслуживания, энергоёмкость, металлоёмкость, надёжность, степень агрегатирования, удобства осмотра, обслуживания, сборки-разборки, наладки, регулирования, ремонта и другое. Таким образом, анализируется возможность достижения показателей качества, заложенных в техническом задании, и выбирается схема, при которой сочетание этих показателей наиболее оптимально и соответствует заданному уровню. Для каждого варианта прорабатывается дизайн внешнего вида и интерьера.

При проведении анализа оцениваются характерные особенности каждого варианта схемы в их сопоставлении друг с другом. При этом учитываются противоречивые черты конструкции: простота, компактность и степень механизации и автоматизации, обеспечение доступности и удобства обслуживания всех механизмов; минимизация числа узлов и деталей и возможность регулировки параметров процесса; лёгкость доступа к рабочим органам и капсуляция их с целью решения вопросов безопасной эксплуатации и охраны окружающей среды и т. п.

После анализа конструктивных схем для выбранного варианта схемы проводят подробную и детальную компоновку изделия.

Компоновка обычно состоит из двух этапов: эскизного и рабочего. При эскизной компоновке тщательно прорабатывают конструктивную схему, а затем и общую (в эскизах) компоновку конструкции изделия. В этом случае возможна разработка компоновки в нескольких вариантах. При компоновке используют несколько основных правил (принципов).

1. В первую очередь необходимо отделить главное от второстепенного. Поэтому для выбранной конструктивной схемы сначала прорабатывают взаимное расположение основных элементов, подбирая типы применяемых элементов, их размещение и уточняют контуры будущего изделия. Разработка конструкции в деталях (особенно узлов и других элементов) на этом этапе нецелесообразна, так как приводит к потере времени и непроизводительным затратам труда часто на бросовые работы. Кроме того, такая разработка в деталях на данном этапе вредна, потому что отвлекает внимание конструктора от принципиальных вопросов, сбивает логический ход разработки, преждевременно создавая иллюзию принятого решения, получается механическое нанизывание конструктивных элементов и узлов, расположенных не самым рациональным образом. При компоновке надо двигаться от общего к частному.

2. Необходимо проводить разработку нескольких вариантов, углубленный их анализ и выбор оптимального варианта. При первоначальном наборе вариантов важно не останавливаться на одном, пусть даже и кажущемся перспективным. Надо наметить несколько вариантов и выбрать лучший вариант только после проработки и анализа. Следует избегать шаблонных решений.

3. Для каждого варианта компоновки прорабатываются варианты оформления внешнего вида, интерьера с учётом эргономических требований с проработкой конструктивных и технологических решений по каждому варианту.

4. При компоновке необходимо выполнение основных расчётов, подтверждающих работоспособность конструкции. На этой стадии проводятся ориентировочные, приближённые расчёты основных определяющих элементов изделия (кинематические, конструктивные, динамические, тепловые, прочностные, расчёты на жесткость и т. п.).

5. Целесообразно, по возможности, использование готовых узлов, механизмов и др., выпускаемых промышленностью серийно или по разовому заказу, а также узлов изделий, уже освоенных предприятием-изготовителем нового изделия. Эти узлы включаются в компоновку в виде контурных изображений с учётом их габаритов, присоединительных и установочных размеров при совпадении их технических характеристик с требуемыми характеристиками. Применение таких узлов снижает трудоёмкость конструирования, сокращает сроки изготовления и стоимость изделия, повышает его надёжность.

6. Следует постоянно учитывать возможности изготовления изделия при выбранной компоновке, обеспечить технологичность разрабатываемых узлов и деталей, включать в компоновку нормализованные и стандартизированные узлы и детали, применять ряды нормальных размеров, максимально использовать нормализованные и стандартизированные элементы деталей (посадочные шейки валов, осевое крепление муфт, проушины корпусов, посадочные места под подшипники и др.).

7. Не следует экономить время на проработку компоновки и проекта в целом, так как затраты труда и времени на конструктивную проработку и выбор принципиальных решений оборачиваются существенной экономией средств на последующих стадиях создания изделия.

8. Следует устраивать критическое обсуждение вариантов компоновок с привлечением конструкторов, эксплуатационников и технологов-машиностроителей. Чем острее критика, тем больше пользы получает конструктор и тем лучше разрабатываемая компоновка. Более глубокая проработка конструкции (особенно многовариантная), тщательный разбор и её обсуждение дают в конечном итоге выигрыш в снижении стоимости и сроков изготовления и доводки, а также в повышении качества и экономической эффективности изделия.

После анализа и выбора варианта эскизной компоновки изделия проводится проработка рабочей компоновки. На этом этапе руководствуются перечисленными выше правилами, однако при этом выполняется более подробная проработка и уточнение основных решений.

Типовые, нормализованные, стандартизированные и заимствованные изделия, узлы и детали также изображаются упрощённо. При необходимости проводятся уточняющие и дополнительные расчёты. Выполненная ра-

бочая компоновка служит основанием и исходным материалом для следующих проектных этапов.

Необходимо иметь в виду, что для успеха разработки новая машина должна иметь максимальное количество отработанных заимствованных решений и узлов, что обеспечивает преемственность разработки, её работоспособность и надёжность. При разработке машин преследуется цель: новая машина должна быть на 70–90 % (и более) старой. Это достигается в результате применения отработанных решений, серийных узлов и комплектов. Однако это не должно приводить к отсталости машины. Выбирать надо лучшее и новейшее. Вместе с тем создаваемая машина, в части принципиального её устройства, должна использовать новые идеи и решения, которые помогут обеспечить высокий уровень новой разработки. Такой подход применяется при разработке технического предложения и эскизного проекта.

После выбора окончательного варианта выполняется технический проект изделия, который согласовывается с заказчиком и с представителями завода-изготовителя. Результат согласования оформляется протоколом. При наличии замечаний по техническому проекту разработчик обязательно должен устранить все замечания в ходе рабочего конструирования.

Выполнение проектных и конструкторских этапов требует творческого осмысления и отыскания оптимальных решений по устройству изделия. При этом обеспечивается достижение технических показателей изделия в соответствии с исходными данными и техническим заданием, его прочность и долговечность, технологичность и возможность изготовления, удобство эксплуатации и обслуживания. Результаты этих работ формализуются в виде эскизных решений и чертежей в различных вариантах и на основе их всестороннего анализа выбираются оптимальные решения.

Работы по созданию изделий длительное время проводились, а иногда проводятся и сейчас, с использованием традиционных методов оформления эскизов и чертежей вручную. В последнее время происходит массовый переход к компьютерному 2D- и 3D-проектированию и разработке (системы САД и САЕ), которые представляют новый и очень мощный инструмент конструктора. Осмысленное использование этих систем позволяет внедрять компьютерные методы проектирования, разработки и изготовления (система САМ) [32].

Вопросы применения компьютерных технологий рассматриваются в специальных курсах, технической литературе и программных продуктах известных фирм: T-Flex, Аскон (система Компас), Autodesk Inventor, Solid Works и др. При этом следует твёрдо усвоить, что эти программы не заменяют конструктора в отыскании и принятии решений, а только облегчают и ускоряют разработки на 15–20 %.

Рассмотрим применение компьютерных технологий несколько подробнее. При выполнении проектной стадии, как отмечалось ранее, на этапе технического предложения подготавливается несколько вариантов компоновки изделия из оригинальных и заимствованных сборочных единиц,

деталей и комплектующих. Также прорабатываются различные варианты конструктивных решений оригинальных сборочных единиц и деталей.

Использование компьютерного 2D-проектирования позволяет в короткое время оформить и изменять на схемах и эскизах взаимное расположение разрабатываемых и заимствуемых деталей и сборочных единиц, а также изменять их конструкцию. В необходимых случаях отдельные детали, сборочные единицы и комплектующие заменяются другими из базы данных компьютерной программы или импортируются из других программ, информационных источников и т. п. Это позволяет в короткое время рассмотреть большое количество разнообразных вариантов решений.

Для каждого варианта проводятся ориентировочные расчёты основных деталей и сборочных единиц (кинематические, конструктивные, динамические, гидравлические, тепловые, прочностные и др.). Расчёты могут выполняться с использованием традиционных инженерных методик или компьютерных программ системы САЕ. На основе расчётов вносятся необходимые изменения в разработанные схемы, эскизы и чертежи, составляется расчётно-пояснительная записка технического предложения.

Подготовленные варианты рассматриваются, сопоставляются и обсуждаются разработчиками с привлечением заказчиков и других заинтересованных лиц и организаций. В результате рассмотрения некоторые варианты исключаются, а наиболее оптимальные и перспективные принимаются к доработке.

Эта более глубокая доработка выполняется на этапе эскизного проектирования. При этом каждый из отобранных и принятых на предыдущей стадии вариант дорабатывается более детально и подробно и сопровождается проверочными расчётами с оформлением расчётно-пояснительной записки аналогично предыдущему. Подготовленные варианты сравниваются, и из них выбирается наиболее оптимальный, полностью соответствующий требованиям исходных данных и технического задания.

По принятому эскизному проекту подготавливается технический проект будущего изделия с использованием программ системы 3D-проектирования. В нём несколько отдельных узлов могут прорабатываться в двух-трёх вариантах. В этом случае разработка ведётся снизу (от детали) вверх (к общему виду) в следующем порядке.

В режиме «2D-эскиз» для каждой оригинальной детали, входящей в эскизный проект, на дисплее компьютера изображается её контур (эскиз) с простановкой всех размеров. Затем в режиме «3D-модель» специальными командами «вращение», «выдавливание» и др. эскиз преобразуется в модель детали (вал, призма и др. соответственно). На созданной модели дорабатываются все элементы будущей детали (резьбы, фаски, пазы, отверстия и т. д.). Разработанная электронная модель хранится на дисплее и в памяти компьютера.

Аналогично создаются электронные модели всех оригинальных деталей изделия. Заимствованные детали и комплектующие изделия (подшип-

ники, крепёж, шпонки и т. д.) подбираются из базы данных или импортируются из других источников и программ и выводятся на дисплей.

Все созданные, заимствованные или импортированные детали и комплектующие изделия соединяются и собираются в соответствии с разработанным эскизным проектом в режиме «3D-модель». В результате создаётся предварительная электронная модель изделия, полученная на этапе технического проекта. По этой модели с применением системы САЕ проводятся необходимые расчёты и вносятся коррективы в электронные модели деталей и предварительную электронную модель изделия. Таким путём получается откорректированная электронная модель изделия, к которой оформляется расчётно-пояснительная записка. Эта модель с помощью специальных команд программы САД преобразуется в чертёж общего вида изделия, который согласовывается со всеми заинтересованными сторонами. По замечаниям, высказанным во время согласования, вносятся коррективы в электронную модель, расчётно-пояснительную записку и в чертёж общего вида.

После этого электронная модель изделия с помощью процедур программ 3D-проектирования преобразуется в сборочный чертёж изделия, оформленного в соответствии с ЕСКД. Дополнительно выпускаются рабочие чертежи сборочных единиц, спецификации и чертежи деталей. Оформляется расчётно-пояснительная записка и другая текстовая документация.

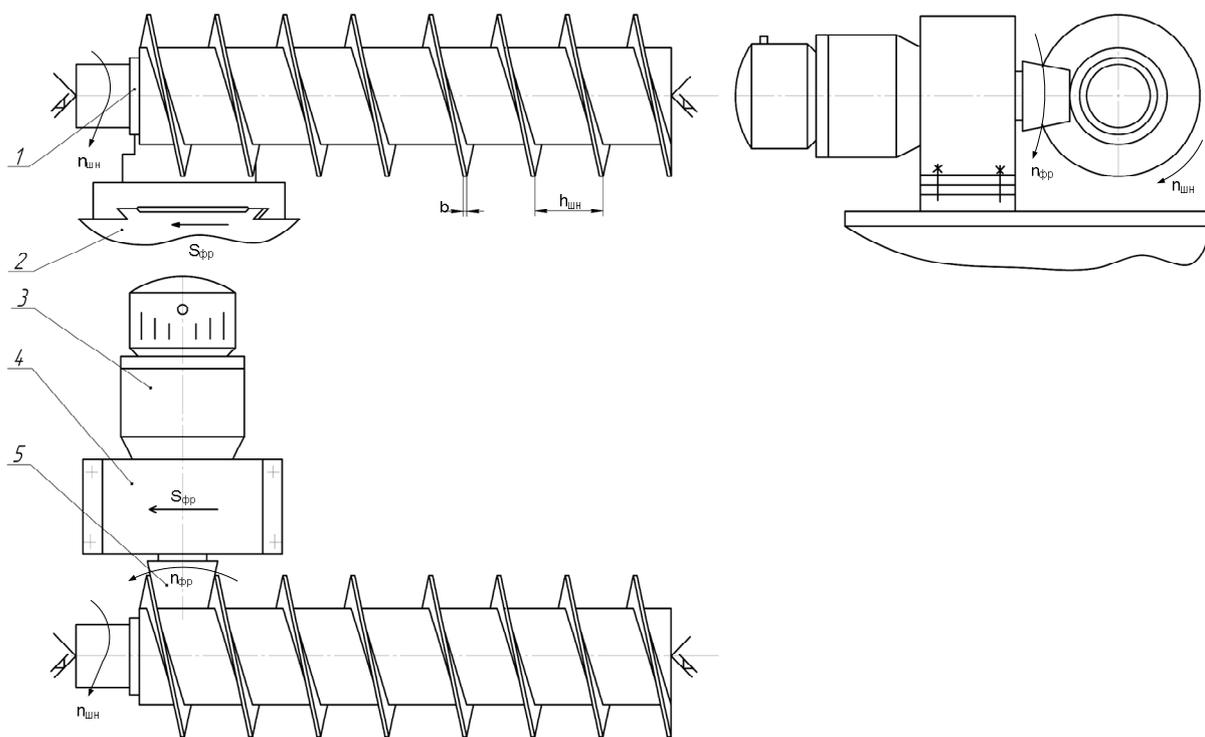
По электронным моделям и чертежам деталей с помощью программ системы САМ может быть проведена автоматическая подготовка производства (технологическая подготовка, разработка программ для станков с ЧПУ и др.). Таким образом, при таком подходе возможен переход к безбумажной технологии производства.

В качестве иллюстрации изложенного рассмотрим пример разработки приспособления для обработки канавок шнека фрезерованием с использованием токарно-винторезного станка. Разработка была проведена студенткой кафедры МАХАП СТИ НИЯУ «МИФИ» при выполнении дипломного проекта. Аналогом разработки является специальный станок, выпускаемый и используемый для этих целей Германской фирмой Wanderer (рис. 4.8).

Обработка канавок производится торцевой фрезой 5, закреплённой в корпусе Морзе корпуса 4 и приводимой во вращение мотор-редуктором 3. Обрабатываемый шнек 1 устанавливается в центрах токарно-винторезного станка с использованием хомутика, а приспособление крепится на суппорте 2 станка.

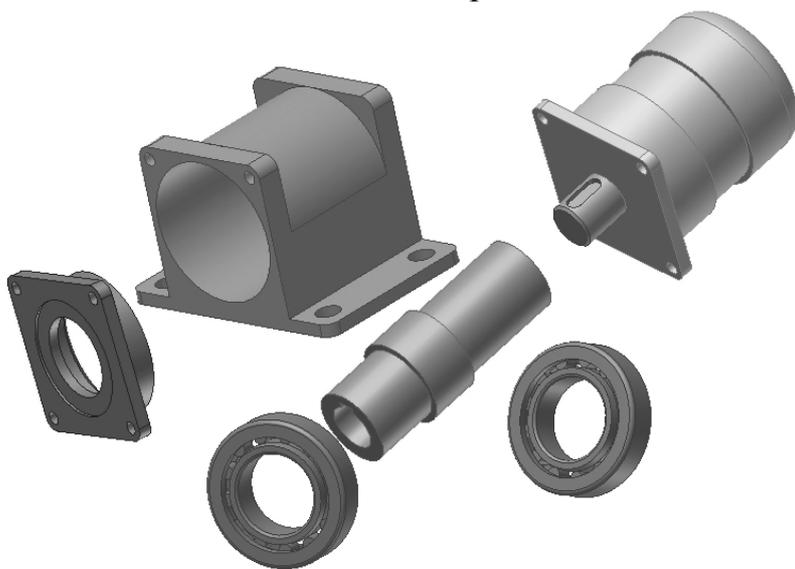
Во время обработки шнек вращается шпинделем станка, а фреза перемещается с подачи  $S_{fp}$ , обеспечивающей получение шага шнека  $h_{ин}$  и толщины витка шнека  $b$  механизмом подачи станка.

Скорость фрезерования  $V_{fp}$ , число оборотов  $n_{fp}$  и мощность привода фрезы  $N_{fp}$  рассчитываются на основе положений теории резания. В качестве привода использован мотор-редуктор 3 с асинхронным двигателем, имеющим диапазон регулирования  $R = 5$ . Это позволит при необходимости осуществлять изменение скорости резания в нужных пределах.



*Рис. 4.8. Схема обработки канавок шнека фрезерованием: 1 – шнек; 2 – суппорт; 3 – мотор-редуктор; 4 – корпус приспособления; 5 – фреза*

Для компоновки приспособления, изображённого на рис. 4.8, разрабатываются конструктивные варианты, проводятся прочностные расчёты и для оптимального варианта с использованием программ Autodesk Inventor согласно процедуре, описанной выше, создаются электронные модели оригинальных, заимствованных и стандартных деталей (рис. 4.9). После этого по команде «сборка» электронные модели собираются в нужном порядке и образуют электронную модель изделия. Аксонометрическое изображение электронной модели изделия показано на рис. 4.10.



*Рис. 4.9. Изображение электронных моделей деталей, входящих во фрезерное приспособление*

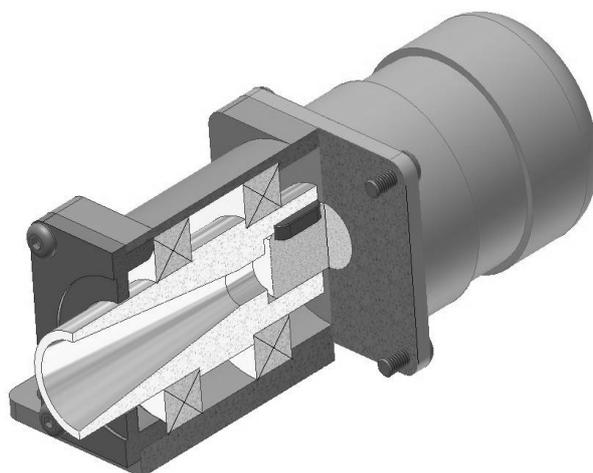


Рис. 4.10. Изображение электронной модели приспособления для фрезерования канавок шнека

Затем проводится проверка и необходимые расчёты и после корректировки модель изделия с использованием программной обработки Autodesk Inventor преобразуется в сборочный чертёж приспособления (рис. 4.11). Он дорабатывается и может быть выпущен и направлен на изготовление.

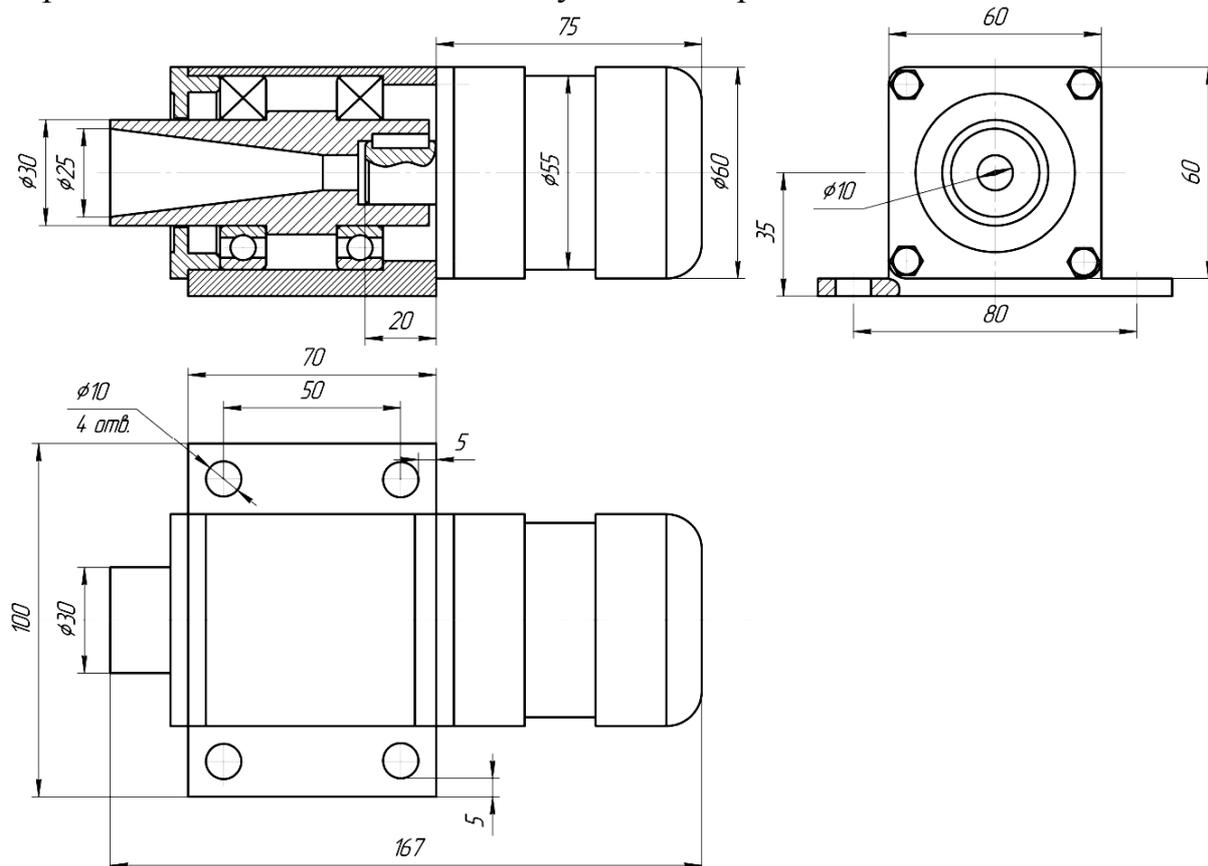


Рис. 4.11. Сборочный чертёж приспособления

На примерах показано, что на основании технического задания проводится первый важнейший этап конструирования – выбор конструктивной схемы, в которой полезно заимствовать некоторые узлы и агрегаты из других отраслей машиностроения.

### 4.3. Поиск новых решений. Методы активизации творческой деятельности и изобретательская работа

*Творчеству можно учиться ничуть не хуже, чем всему другому.  
Дж. Бернал*

Творческая работа конструктора направлена на создание новых машин в процессе, регламентированном Единой системой постановки продукции на производство (ЕСПП), Единой системой конструкторской документации (ЕСКД), Единой системой безопасного труда (ЕСБТ) и другими стандартами и нормами, и базируется на технических науках, т. е. конструктор решает свои задачи инженерными и научными методами. В то же время конструктор часто, используя отработанные, известные решения, вынужден создавать новые решения, обладающие существенной новизной и полезностью, которые являются изобретениями. При этом важно знание существующего уровня.

Например, при получении нетканого материала из расплава полимеров аэродинамическим способом возникла задача исключения обрезки кромок (рис. 4.12). Эти кромки возникли из-за «напыления» нитей на края. Как видно из рис. 4.12, кромки на краях уменьшаются по толщине.

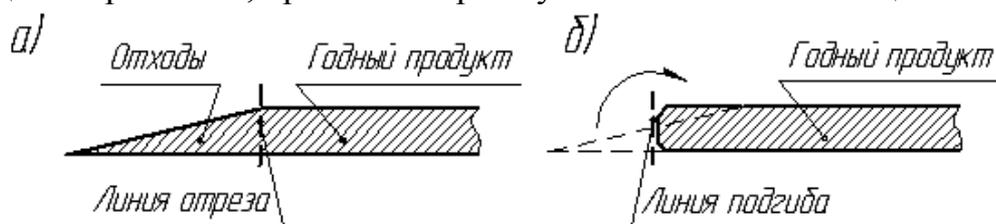


Рис. 4.12. Реализация идеи подгиба кромок: а – схема обрезки кромок; б – схема подгиба кромок

По требованиям технических условий уменьшение толщины нетканого материала не допускается и тонкие части должны обрезаться (рис. 4.12, а). Обрезанные кромки образовывали отходы. При подгибе части кромки и последующем скреплении ее с основным полотном отходы исчезли (рис. 4.12, б).

При создании реактивных самолетов в Англии, России и Германии использовалась схема, приведённая на рис. 4.13, а.

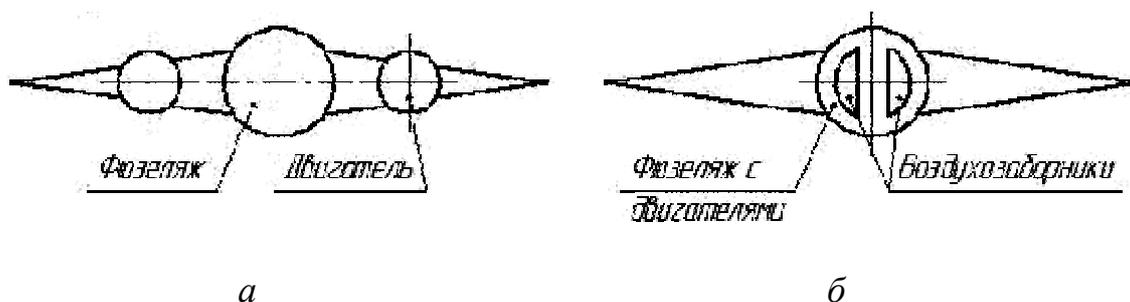


Рис. 4.13. Пример усовершенствования компоновки реактивного самолёта: а – схема существующих самолетов; б – новая схема самолетов МИГ

При этой схеме фюзеляж и двигатели создавали утроенное аэродинамическое сопротивление. При расположении двигателей в хвосте фюзеляжа по предложению советских авиаконструкторов аэродинамическое сопротивление было существенно снижено, что значительно увеличило скорость и создало преимущество самолетов МИГ (рис. 4.13, б) в течение долгого времени. В дальнейшем эта схема стала использоваться более широко.

Для решения своих задач конструктор ищет новые пути. Их создание сопряжено со значительными затратами времени и труда, а их появление непредсказуемо и труднообъяснимо.

Считается, что изобретения связаны с озарением, и изобретательство относят к эвристической деятельности, поэтому многие надеются на такое «озарение». Так, Архимеда натолкнуло на понимание выталкивающей силы его погружение в ванну с водой, т. е. это произошло неожиданно.

Другим примером внезапного решения трудной задачи Ю.Я. Ковылиным и Ю.К. Сурковым является разделение цилиндрических деталей под водой по массе. Эта задача возникла при создании автомата для сортировки рабочих и холостых (алюминиевых) блоков, выгруженных из атомного реактора и потому радиоактивных. Сортировка происходила под водой на выходе из вибрационного конического бункера, вмещающего более 2 тонн блоков на глубине до 10 метров для защиты персонала. Вес рабочих блоков превышал вес холостых при их одинаковой форме и размерах.

Попытки использовать лотки, переворачивающиеся под тяжелыми блоками, были неудачными. Решение возникло в умывальнике, где струей воды один из авторов при умывании сбил окурок. В течение нескольких минут идея подводной гидравлической сортировки свинцовых и алюминиевых блоков была проверена на модели. Она показала себя безотказной и была запатентована и внедрена в промышленных счетно-сортировочных автоматах.

Другие рассматривают изобретение как результат методичного перебора множества возможных вариантов (лампа Эдисона). При создании лампы накаливания Эдисон перебрал более тысячи материалов для изготовления спиралей ламп. Такой метод применялся и для решения других задач.

В стремлении сократить время поиска решений создавались методики организации поиска. При этом ставились следующие цели:

1. Сделать генерирование идей более интенсивным.
2. Повысить количество оригинальных идей в их потоке.

Наиболее известен «мозговой шторм» морского офицера Осборна. В нем этапы генерирования идей и их анализ разделены. Однако он неэффективен при решении изобретательских задач, а более применим для решения организационных проблем.

Известны такие методы, как синектика (профессиональный «мозговой шторм», выполняемый специальной фирмой), метод фокальных объектов. Все эти методы на порядок увеличивают охват решений и могут применяться и сейчас, но для решения технических задач они малоэффективны.

С середины 40-х годов советский инженер Г.С. Альтшуллер [1; 2] плодотворно разрабатывал методику замены трудоемких бессистемных поисков новых технических решений рациональной системой. Эта система дает общую схему творческого процесса и ряд типовых полезных приемов.

В ней рекомендуется использовать некоторые приемы:

1. Необходимо осознать задачу и изучить историю её решения, чтобы выбрать подходящий аналог и провести его доработку.

1.1. От гребного (весельного) парового судна до судна на воздушной подушке.

1.2. От кареты с бензиновым двигателем до реактивного автомобиля.

2. Использовать принцип «пусть будет» недостаток и исправить его:

2.1. При формировании нетканого полотна на сетке (рис. 4.12) образуется утонение кромки полотна. Можно не устранять этот дефект, а подогнуть кромки с обеих сторон.

2.2. Для переноса тяжёлого листа или плиты нужно подъёмно-транспортное устройство и груз может упасть. Пусть он примет горизонтальное положение и его можно перемещать волоком или, если надо, на катках.

3. Использование недостатков, т. к. они могут быть потенциальными возможностями.

3.1. Лаваль, создавая турбину на 30000 об/мин, столкнулся с трудностью при разработке жёсткого вала, т. к. неизбежно возникал резонанс и конструкция разрушалась. Он решил задачу, установив ротор модели на гибкий, так называемый «камышовый стебель». Тем самым он получил гибкий вал, называемый «зарезонансным». Ротор при разгоне проходил через резонанс и работал устойчиво.

3.2. Академик В.П. Вологдин, используя токи высокой частоты (ТВЧ) для нагревания металла, столкнулся с трудностью: токи распределялись по поверхности нагреваемой детали, а сердцевина нагревалась медленно. Работа затормозилась. Потом, через десятки лет эффект нагрева поверхности был использован для закалки поверхностных слоёв металла.

4. Использование «маленьких человечков» (по терминологии Г. Альтшуллера): надо представить процесс (поток, продукт, деталь и др.) в виде таких фигурок или частиц и анализировать их поведение, например, для выравнивания скорости потока в сечении трубы и времени пребывания продукта в трубе, аппарате. При течении жидкости в трубе скорость потока в трубе неравномерна (рис. 4.14, *а*). При использовании рассекателей, меняющих слои потока местами (рис. 4.14, *б*), течение в аппарате выравнивается и время пребывания всех частиц становится одинаковым. С использованием такого решения был разработан полимиризаторный аппарат.

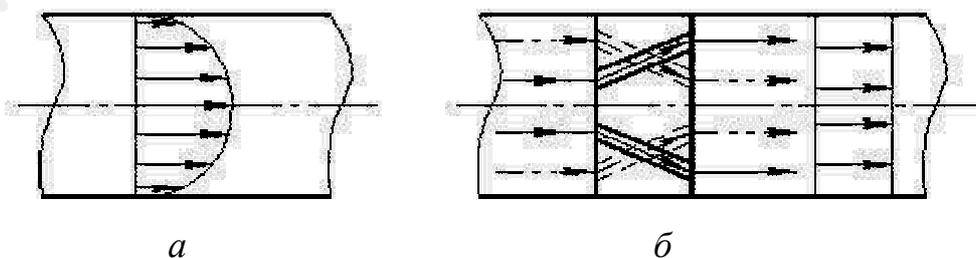


Рис. 4.14. Выравнивание потока в трубе: а – полая труба; б – труба с насадками

Предложенная затем методика Г.С. Альтшуллера является развитием этих правил и предусматривает три этапа:

1. Анализ – на аналитическом этапе выбирается задача, определяется техническое противоречие, не решаемое инженерными приемами.
2. Изменение – на оперативном (преобразующем) этапе причина противоречия устраняется изменением одной из частей или стадий.
3. Синтез – на синтетическом этапе все части машины приводят в соответствие со вторым этапом.

Рассмотрим решение задачи о перемещении газа из баллона большого размера в баллон меньшего размера без потерь давления и без компрессора (табл. 4.1).

Таблица 4.1

*Аналитический этап*

Задачи и условия	Решения
1. Представить задачу в общем виде	Найти простой способ перевода сжатого газа из одного баллона в другой
2. Представить идеальный результат	Газ самостоятельно переходит из баллона в пустой баллон, занимая свободный объём
3. Определить, что этому мешает	Присоединение ведет к занятию газом обоих баллонов и к падению давления
4. Почему газ расширяется?	Газ занимает <u>свободный</u> объём
5. При каких условиях он не расширился бы?	Если бы баллон не был пуст (рис. 4.15)

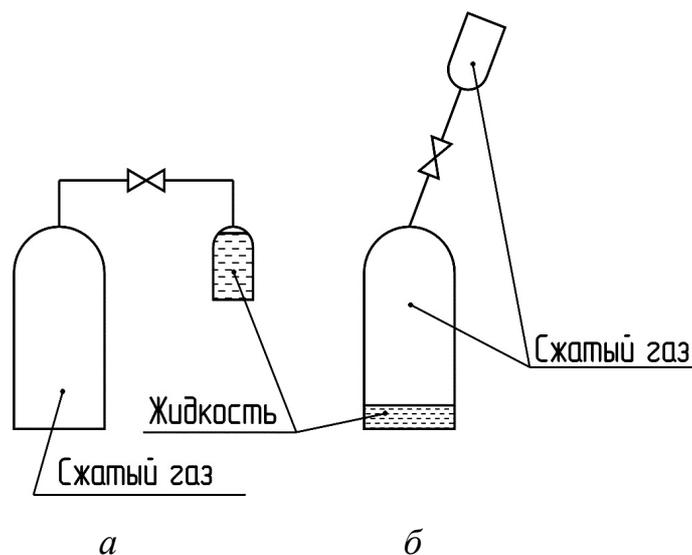


Рис. 4.15. Схемы перемещения сжатого газа из баллона в баллон: а – подключение баллона; б – перевод газа

### *Оперативный этап.*

Существует множество путей снятия технических противоречий, но они могут входить в типовые технические противоречия, которые решаются типовыми приёмами, которые приведены ниже.

**1 шаг.** Проверка возможных изменений в объекте:

- изменение формы;
- изменение материала;
- изменение давления;
- изменение взаимного расположения частей;
- изменение размеров;
- изменение температуры;
- изменение скорости;
- изменение режима работы.

**2 шаг.** Проверка деления объекта на части:

- деление на одинаковые части;
- деление на разные части по функциям;
- деление на необходимые части.

**3 шаг.** Проверка изменений во внешней среде:

- замена среды;
- изменение параметров среды.

**4 шаг.** Проверка изменений в соседних объектах, работающих совместно с данным объектом или с его частями.

**5 шаг.** Исследования преобразований в других областях.

**6 шаг.** Изучение преобразований в природе.

**7 шаг.** Возвращение к исходной задаче и расширение условий (если нет нужного).

В задаче о баллонах используем шаги 3 и 4. Если приёмный баллон наполнить жидкостью, подсоединить к баллону со сжатым газом и переместить приёмный баллон с водой в верхнее положение, то при открытии вентиля жидкость стечет в нижний баллон, а верхний заполнится сжатым воздухом без потери давления.

### *Синтетический этап.*

Синтетический этап включает 4 шага.

**1 шаг.** Изменение формы объекта.

**2 шаг.** Изменение в других объектах, связанных с данным.

**3 шаг.** Внесение изменений в методы использования объекта.

**4 шаг.** Проверка применимости найденного решения в других технических задачах.

В задаче (рис. 4.16) используем шаги 1...3. Примечание: заполняемые баллоны залиты жидкостью. Как видно из рис. 4.16, возможны несколько решений задачи на этом этапе.

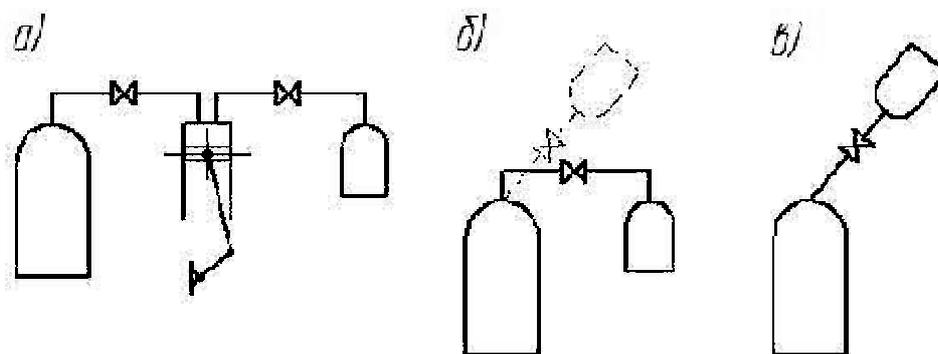


Рис. 4.16. Схемы решения задачи о перемещении газа из баллона в баллон:  
 а – перемещение компрессором; б – перемещение поворотом с гибким шлангом;  
 в – перемещение в верхний наклонный баллон

Для облегчения выполнения этих работ Г.С. Альтшуллер разработал алгоритм решения изобретательских задач – АРИЗ (АРИЗ – 65, АРИЗ – 68, АРИЗ – 71). Они являются последовательным усовершенствованием идеи и содержат таблицы-подсказки, облегчающие выполнение этапов методики. Для освоения АРИЗ Г.С. Альтшуллер организовывал постоянно действующие семинары с программой 100–200 часов. Существовало более 100 факультетов АРИЗ в 60 городах СССР, через которые прошли миллионы людей. Началась работа по созданию ТРИЗ – теории решения изобретательских задач.

Сейчас использование АРИЗ возможно путем самостоятельного изучения литературы. Применение средств вычислительной техники и создание управляющих программ при использовании АРИЗ позволило бы поднять эту плодотворную методику на более высокий уровень.

#### 4.4. Разработка рабочей документации

##### *Конструкторская и текстовая документация*

Рабочая документация включает конструкторскую и текстовую документацию. К конструкторской относят чертежи общего вида, сборочные чертежи узлов, чертежи деталей, а также спецификации и ведомости к перечисленным чертежам. В состав текстовой документации входят различные документы, которые используются для обеспечения изготовления, испытаний и использования изделий (технические условия, паспорт, инструкция по эксплуатации и другие документы).

Рабочая документация должна выполняться на основании четко сформулированного технического задания и в соответствии с согласованными заказчиком проектными документами (техническим предложением, эскизным и техническим проектом). В зависимости от требований технического задания, показатели качества изделия, указанные в техническом задании, должны быть (см. п. 2.1) обеспечены при разработке рабочей документации и достигнуты при сдаче изделия.

На основе принятой в этих документах компоновки конструктор выполняет сборочный чертёж изделия и при этом выделяет сборочные единицы (узлы), на которые, соответственно, выпускаются сборочные черте-

жи этих узлов. Это облегчает сборку изделия, так как она сводится к присоединению ранее собранных и проверенных узлов к базовому узлу или детали, а также упрощает выполнение сборочного чертежа, поскольку в этом случае существенно сокращается спецификация сборочного чертежа изделия. В этом случае в спецификацию сборочного чертежа изделия включают ряд сборочных единиц (узлов), крепёжные и соединительные детали, а также детали, не входящие ни в один из узлов и устанавливаемые непосредственно на собираемое изделие.

При разработке сборочного чертежа окончательно определяется максимально возможное количество стандартных, серийно выпускаемых и заимствованных узлов и деталей (приводы, редукторы, арматура, подшипники, уплотнения, крепеж), используемых в изделии. Номенклатура применяемых деталей и узлов (типоразмеры болтов, подшипников, фланцев, прокладок и т. п.) предельно сокращается для облегчения обслуживания и ремонта.

На оригинальные узлы конструктор формулирует задания, которые выдаются другим конструкторам для параллельной разработки с целью сокращения сроков всей работы в целом. При разработке сборочных чертежей в зависимости от вида изделия проводятся различные расчёты (гидравлические, тепловые, прочностные и другие), подтверждающие его работоспособность.

Расчёты выполняются как проектировочные, когда на основании действующих нагрузок и допускаемых напряжений для выбранного материала определяют размеры деталей, так и проверочные, при которых для назначенных конструктивно размеров деталей определяют рабочие, действующие напряжения в опасных сечениях и сравнивают их с допускаемыми напряжениями. Часто на основании расчётов вводятся коррективы в рабочую компоновку изделия. Все расчёты сводятся в расчётно-пояснительную записку.

При разработке сборочных чертежей изделия и его узлов проводится разработка рабочих чертежей деталей. Выпущенные чертежи проходят проверку, технологический контроль и нормативный контроль. Конструкторская проверка преследует цель выявления ошибок, которые могут привести к неработоспособности изделия, вызвать сбои при сборке узлов или изделия в целом, нестыковки и другие отклонения, затруднения при изготовлении, сборке, эксплуатации, обслуживании и ремонте, привести к снижению качества и надёжности изделия или к его поломке.

При проверке на технологичность выясняется возможность изготовления деталей изделия вообще и на оборудовании выбранного завода-изготовителя в частности. В качестве примера рассмотрим стыкование корпусных деталей и крышек (рис. 4.17). Стыкование деталей по скрещивающимся плоскостям усложняет изготовление и затрудняет уплотнение стыков (рис. 4.17, *a*). В этом случае установка крышки *1* требует обработки корпуса и верхней крышки в сборе для получения привалочной поверхности под крышку *1*. Для обеспечения плотности этого стыка потребуется

толстая упругая прокладка. Наиболее технологичная конструкция, в которой обе крышки устанавливаются на корпус независимо друг от друга, показана на рис. 4.17, б. Аналогичный пример двух нетехнологичных вариантов стыковки по перекрещивающимся плоскостям приведен на рис. 4.17, в, г. Установка верхней и боковой крышек на отдельные бобышки снимает эти затруднения (рис. 4.17, д). Конструкция в этом варианте будет технологичной.

На технологичность прорабатываются и детали. На рис. 4.18, а показана деталь, имеющая так называемые зоны подрезки (выделены горизонтальной штриховкой). Литейная форма такой детали должна иметь разъем  $P-P$  вдоль оси. Рациональнее конструкция детали приведена на рис. 4.18, б.

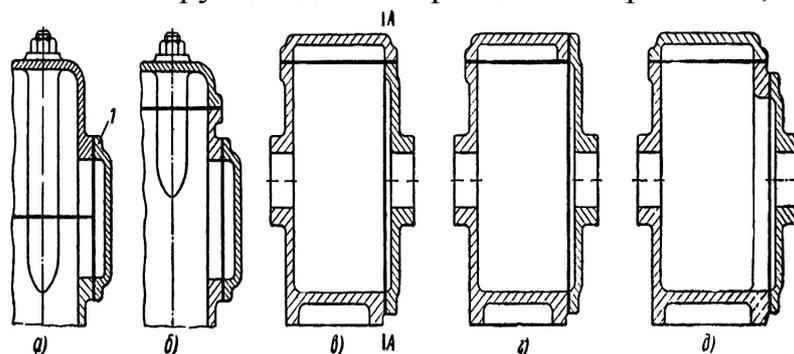


Рис. 4.17. Стыкование деталей по перекрещивающимся плоскостям

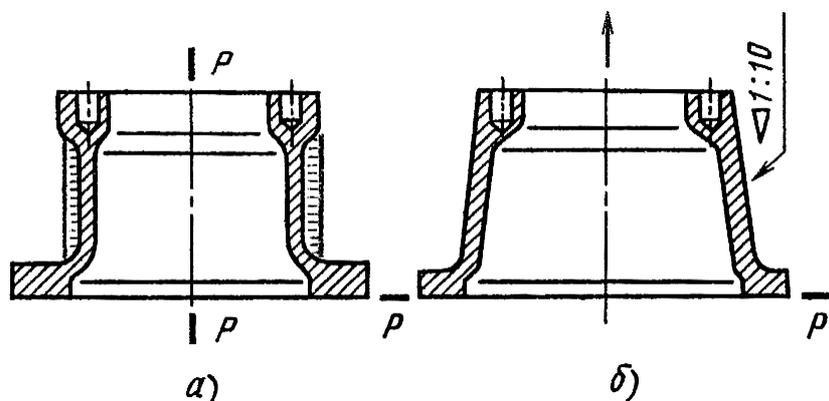


Рис. 4.18. Рекомендуемое конструктивное оформление отливки

Примеры технологичных и нетехнологичных конструкций в сравнении приводятся в технической литературе [29; 37].

При нормативном контроле проводится проверка выполненных чертежей на их соответствие действующим стандартам. После завершения конструкторской документации или параллельно с её выполнением готовится текстовая документация в полном соответствии с ЕСКД. В комплект текстовой документации входят расчётно-пояснительная записка, паспорт, инструкция по эксплуатации, технические условия и ряд других документов в зависимости от сложности изделия и необходимости их выпуска. Так, паспорт и инструкция по эксплуатации могут быть объединены. Технические условия могут быть заменены для несложных изделий техническими требованиями, выносимыми на поле чертежей изделия, узлов и деталей.

Комплект рабочей документации поступает на завод-изготовитель, где в технологическом отделе разрабатывается технологический процесс изготовления изделия.

#### *Художественное оформление изделий*

Создаваемое машиностроительное изделие должно быть удобным для работников, создавать положительное эстетическое воздействие и находиться в гармоничном единстве с окружающей средой. Поэтому художественное конструирование рассматривают как проектно-конструкторскую деятельность, направленную на создание единой, целостной предметно-технической среды жизнедеятельности человека. Художественное конструирование начинается на начальных стадиях разработки и завершается при разработке рабочей документации.

Эта часть конструкторской деятельности включает выполнение эстетических требований к изделию, т. е. обеспечение выразительности, рациональности, формы изделия и культуры оформления его внешнего вида.

Все механизмы управления и другие части изделия должны создавать приятные впечатления и ощущения в процессе эксплуатации для работающих. Необходимо обеспечить создание комфортных и безопасных условий для персонала, эксплуатирующего и обслуживающего изделие.

Основные требования к художественному оформлению изделия закладываются на стадии разработки технического задания, на основе предложений заказчика и собственных представлений. Их выполнение и предлагаемые решения отражаются в таких документах, как техническое предложение, эскизный и технический проекты. Эти решения определяют внешний вид будущего изделия, и они не должны создавать помех для обслуживания, эксплуатации, ремонтной способности.

Так, например, при компоновке автобуса возможны разные варианты расположения двигателя. При его расположении перед водителем под капотом несколько ухудшается обзор дороги при движении. При размещении двигателя сбоку, рядом с водителем, облегчается управление движением, но затрудняется выход водителя в салон. Расположение двигателя в задней части салона вызывает затруднения при размещении багажа. Здесь мы сталкиваемся с характерным случаем различных путей решения технических противоречий. Тем не менее, рассмотрение разных вариантов компоновки позволяет выбрать для конкретных условий, назначения и типоразмера автомобиля оптимальное решение, которое определяет его оригинальный внешний вид, что мы и видим на практике.

На стадии подготовки рабочей документации полученные решения по оформлению внешнего вида изделия и его частей должны быть реализованы. Конструкторская работа направлена на улучшение всех принятых решений и предложений, на повышение удобства, комфортности, безопасности, надежности, внешнего оформления изделия.

Применяемые отделочные материалы и покрытия должны быть износостойкими, свето- и погодоустойчивыми и долговечными. Цветовая гамма покрытий должна соответствовать функциональному назначению изде-

лия и гармонировать с окружающей обстановкой. В то же время ряд изделий должен, наоборот, иметь контрастную окраску (дорожные и строительные машины, ограждения). Это же относится к ограждающим щиткам, кожухам на опасных органах изделия (горячие, токоведущие, движущиеся органы).

При выполнении этой работы конструктор должен руководствоваться известным тезисом: «Хорошее изделие всегда красиво, а красивее изделие не может быть плохим».

#### **4.5. Практика выполнения проектных и конструкторских этапов разработки**

Разработка документации на новые и модернизируемые изделия включает проектные и конструкторские этапы. В ряде случаев [13; 16-18; 19; 37], чаще всего на несложные изделия, разработка проходит в один этап с выпуском технического рабочего проекта, если это предусмотрено техническим заданием.

##### *Проектные этапы*

При выполнении проектных этапов (техническое задание, техническое предложение, эскизный и технический проекты) путём проработки различных вариантов схемных и конструктивных решений по изделию в целом, а также по устройству его узлов и деталей выбирается оптимальное решение, которое оформляется после согласования с заказчиком и со всеми организациями и предприятиями (завод-изготовитель, проектная организация, соисполнители и др.) в виде технического проекта. На основании технического проекта разрабатывается комплект конструкторской документации, по которой изготавливаются изделия (опытный образец, партия, серия и т. п.).

Порядок выполняемых при этом работ изложен в предыдущих разделах. Следует учитывать, что необходимость выполнения перечисленных выше проектных этапов диктуется важностью, сложностью и количеством выпускаемых изделий. Это устанавливается в техническом задании.

Ниже мы рассмотрим ход и практику выполнения проектных этапов и методику выполнения их отдельных узлов.

##### **4.5.1. Разработка установки для транспортировки полимерной крошки**

###### *Составление исходных данных на создание изделия*

Основанием для разработки изделия являются исходные данные, выдаваемые заказчиком, либо составляемые разработчиком (изготовителем) по просьбе заказчика или в случае инициативной разработки [26; 30].

###### *Разработка исходных данных заказчиком*

Эта работа производится при выявлении у заказчика потребности использования на производстве нового изделия в случае отсутствия достойных предложений о поставке подобной продукции и невозможности приобрести изделие нужного качества на рынке.

В процессе подготовки к разработке исходных данных изучаются требования к новому изделию и показатели качества наиболее достойных и

перспективных аналогов, используемых промышленностью и выпускаемых на известных предприятиях, а также технико-экономическое обоснование его применения в разных вариантах (приобретение, модернизация, заказ на изготовление и др.). Таким образом, на предприятии-заказчике принимается всесторонне обоснованное решение о заказе нового изделия и проводится подготовка исходных данных на его создание.

Эта подготовка производится путём установления показателей качества, перечисленных во 2 главе (назначения, материалоёмкости, энергоёмкости, надёжности и т. п.). Показатели назначения устанавливаются с учётом требований технологии и условий эксплуатации. Остальные показатели назначаются на основе показателей аналогов изделий путём изучения патентной и технической литературы, проспектов, каталогов, технических предложений фирм, сведений из Интернета. При возможности изучаются работающие образцы передового оборудования путём командирования опытных специалистов на фирмы, эксплуатирующие или производящие подобное оборудование.

По результатам изучения аналогов подготавливается подробный отчёт, где анализируются показатели качества рассмотренных изделий и оформляются исходные данные по требованиям ГОСТ 15005–86.

Рассмотрим пример разработки проекта исходных данных на примере создания устройства для транспортировки полимерной крошки на заводах по производству полимеров производительностью 5000 кг/час на расстояние до 300 м с подъёмом на высоту до 30 м с раздачей её в разные аппараты.

Указанные показатели назначения дополнены другими показателями путём изучения технологии производства крошки и вместе с другими показателями качества приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

*Основные показатели качества устройства для транспортирования полимерной крошки*

№ п/п	Наименование показателя качества, размерность	Назначение показателя
1	2	3
1	Показатели назначения	
1.1	Область применения	Завод по производству химволокна
1.2	Производительность, кг/час	500
1.3	Коэффициент полезного времени	0,95
1.4	Расстояние транспортировки по горизонтали не менее, м	300
1.5	Высота подъёма не менее, м	30
1.6	Гранулометрический состав крошки, мм	1...5
1.7	Требования к среде, в которой транспортируется крошка	
1.7.1	Состав	Азот
1.7.2	Содержание кислорода, %	< 0,005
1.7.3	Влажность, %	< 0,05
2	Материалоёмкость, кг/(кг·час)	< 5
3	Металлоёмкость, кг/(кг·час)	< 4

1	2	3
4	Энергоёмкость, кВт·ч/(кг·час)	< 0,05
5	Показатели надёжности	
5.1	Наработка на отказ, час	>48
5.2	Срок до капитального ремонта, не менее лет	2
6	Показатели безопасной эксплуатации, промышленной санитарии, эргономики и др.	В соответствии со стандартами ЕСБТ
7	Требования патентной защиты	Да
8	Экологические требования	Исключение нарушений требований экологии при ремонте и эксплуатации

Помимо перечисленных показателей, в проект исходных данных могут быть включены показатели стандартизации, унификации, художественного оформления (дизайна), использования определённых материалов и др. Показатели по п. 2–5 должны включаться как ориентировочные, желаемые, с оговоркой на то, что эти показатели будут окончательно определены на стадии разработки технического или рабочего проекта и установлены путём взаимного согласования мнений разработчика и заказчика.

Исходные данные оформляются в виде пояснительной записки. На титульном листе, кроме названия, размещены подписи представителей заказчика, составивших исходные данные, и представителей разработчика. Кроме организации-разработчика, согласование может проводиться представителями завода-изготовителя. В верхней части листа должны быть помещены подписи руководителей организации-заказчика и организации-разработчика, утверждающих исходные данные.

На основании исходных данных организация-разработчик вместе с заводом-изготовителем выполняет весь комплекс работ: составление техзадания; проектные разработки; конструкторская документация; изготовление; испытания и поставка изделия заказчику.

#### *Разработка исходных данных разработчиком*

Разработка исходных данных на машиностроительном заводе производится в том случае, когда этот завод занимается развитием собственного производства [25; 26; 30; 31; 38; 42]. Иногда для выполнения этой работы или отдельных её частей привлекаются конструкторские организации, НИИ, ВУЗы и другие фирмы. При этом могут рассматриваться различные варианты обновления производственной программы предприятия путём выпуска новых изделий или модернизации выпускаемых. Намечаемые к выпуску изделия должны, как правило, соответствовать профилю предприятия (химическое оборудование, горные машины, пищевая промышленность, сельскохозяйственные машины, автомобили и др.). Это объясняется тем, что в каждой отрасли промышленности применяются определённые, специфические технические решения, комплектующие изделия, технологические процессы и оборудование.

Инженерно-технический персонал и рабочие должны иметь соответствующую подготовку и навыки. При освоении новых изделий целесооб-

разна их унификация с выпускаемыми машинами, использование в новых машинах уже освоенных, выпускаемых узлов и механизмов.

Для выработки предложений и подготовки программ развития производства на крупном машиностроительном предприятии целесообразно создание специализированного подразделения (отдел развития), состоящего из конструкторов, технологов и производственников. В работе этого подразделения должна участвовать служба маркетинга. На небольших предприятиях полезно для этих целей создавать творческие рабочие группы. В обоих случаях возглавлять и координировать эти работы должен один из руководителей предприятия либо специалист, имеющий опыт и интерес к инновационной деятельности, знание производства и наделённый административными правами.

В процессе разработки программы развития выдвигаются и собираются различные предложения по созданию и освоению новых изделий, проводится оценка спроса на них, технического уровня подобных изделий, выпускаемых другими предприятиями. Оценивается объём и продолжительность работ по созданию новой продукции, производственные возможности предприятия. Проводится технико-экономическая оценка целесообразности этих работ и объёма и источников инвестиций.

По изделиям, получившим положительную оценку и представляющим реальный интерес для развития предприятия, составляются конкретные планы освоения их производства вплоть до освоения их выпуска для конкретных заказчиков. Первым шагом в освоении производства нового изделия на основе углубленного технико-экономического обоснования является разработка исходных данных.

Ход подготовки исходных данных на новую продукцию на машиностроительном предприятии, в основном, совпадает с разработкой исходных данных заказчиком. Особенностью работы в этом случае является тщательная проработка технологических и производственных возможностей предприятия в обеспечении выпуска качественной продукции. Также анализируется целесообразность и возможность освоения выпуска нескольких типоразмеров и разновидностей новых изделий. Это позволит обеспечить расширение портфеля заказов для предприятия и унификацию узлов, механизмов и деталей осваиваемых изделий.

Например, при подготовке к производству автомобильных кранов полезно проанализировать возможность изготовления и поставки нескольких типоразмеров таких кранов, а также оценить возможность освоения выпуска подъёмно-транспортных устройств других типов (козловых, мостовых и т. п.). В этом случае можно будет широко применить унифицированные их элементы (металлоконструкции, подъёмные механизмы и др.).

При подготовке исходных данных на рассмотренное ранее устройство для транспортировки сыпучих материалов целесообразно рассмотреть возможность создания таких устройств для предприятий различного профиля, различных материалов и в других условиях. Так, кроме создания устройств для транспортировки полимерной крошки полезно оценить возможность

освоения производства устройств для транспортировки зерна на сельскохозяйственных и зерноперерабатывающих предприятиях, муки и круп, а также сыпучих химических продуктов на химических предприятиях на основе выбранной базовой модели, которая разрабатывается, изготавливается и внедряется первой. Отдельно может быть рассмотрено создание устройств для перемещения крупнозернистых и кусковых материалов.

Подготовку исходных данных целесообразно проводить и в учебном процессе при выполнении курсовых проектов и дипломного проекта. Их следует формулировать студенту под руководством преподавателя после получения задания. В процессе выполнения этих работ студент может переработать исходные данные в техническое задание, которое включается в расчётно-пояснительную записку проекта. Ход выполнения и порядок оформления этой части работы полезно отразить в методических пособиях по каждому виду работ (курсовой, дипломный проекты, самостоятельная работа).

#### *Разработка технического задания*

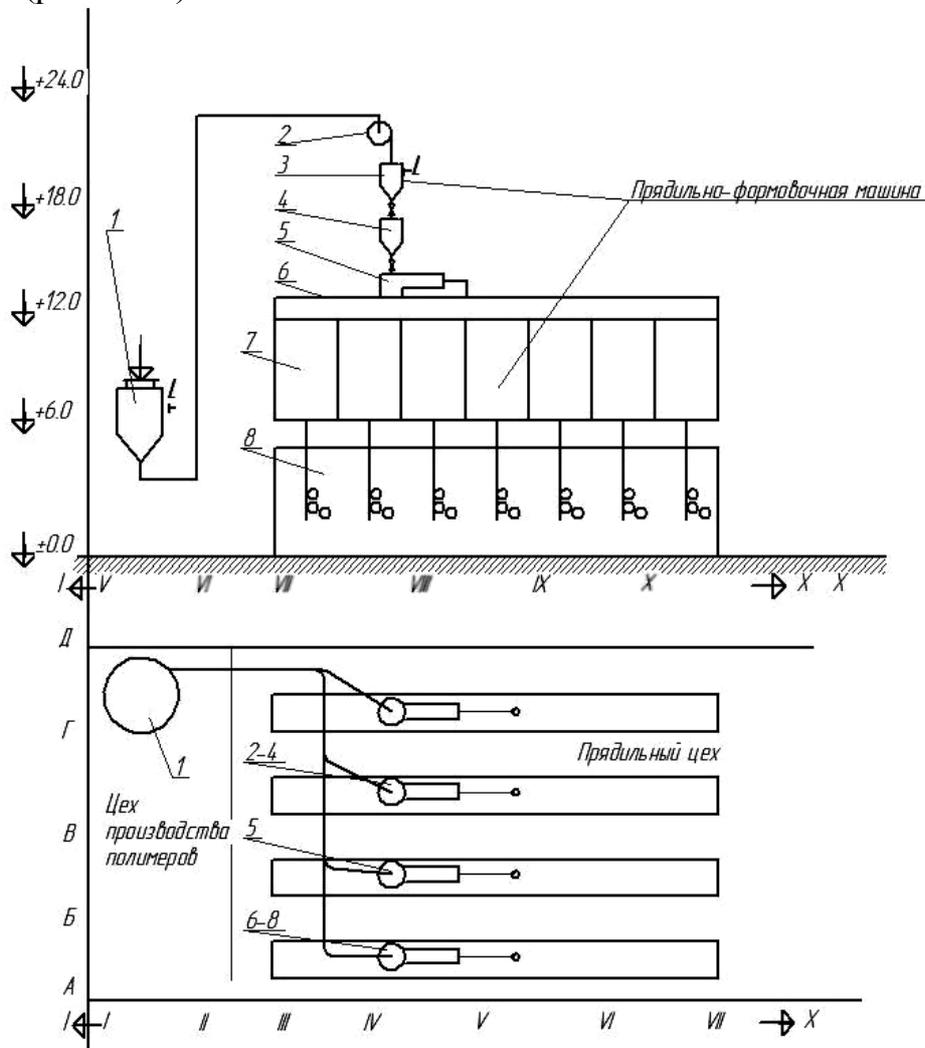
Этот этап разрабатывается на основании исходных данных силами разработчика (завод-изготовитель, конструкторская организация и др.) и согласовывается представителями заказчика с последующим утверждением вышестоящими руководителями с обеих сторон [25; 26; 30; 31; 38; 42]. Согласование и утверждение документа оформляется на титульном листе технического задания аналогично оформлению исходных данных. Разработка ведётся согласно ЕСКД. По своему построению техническое задание соответствует исходным данным. Оно включает раздел, поясняющий назначение и особенности эксплуатации изделия, подлежащего разработке, его состав, а также перечень показателей качества, которые должны соответствовать показателям, приведённым в исходных данных. Это объясняется тем, что изделие после разработки и изготовления в процессе испытаний должно обеспечить соответствие всех показателей качества, определённых при испытаниях, всем исходным документам (ИД и ТЗ).

Если в процессе подготовки ТЗ разработчик выявляет невозможность выполнения каких-либо показателей или считает необходимым повысить их, то эти вопросы обсуждаются с заказчиком. При согласии заказчика в исходные данные вносятся необходимые изменения в установленном порядке. В результате ИД и ТЗ будут соответствовать друг другу. При расхождении мнений работа может быть прекращена.

При разработке технического задания на установку транспортировки полимерной крошки в разделе «Описание работы установки» указывается состав установки. Причём конкретные конструктивные решения в ТЗ указывать нельзя, так как эти решения принимаются при выполнении проектных и конструкторских этапов. Если в ТЗ указаны марка или конструкция узлов, например, двигатель, вентиль, а при разработке потребуется их изменить, нужно будет менять соответствующий раздел ТЗ с последующим утверждением всего документа.

*Пример разработки технического задания на установку для транспортировки полимерной крошки*

Рассмотрим порядок разработки технического задания на упомянутую установку на основе исходных данных, приведённых выше. В техническом задании приводится более подробное описание принципиальной схемы установки (рис. 4.19).



*Рис. 4.19. Расположение установки в цехе у заказчика: 1 – бункер исходного продукта; 2 – распределитель крошки; 3 – расходный бункер; 4 – предбункер; 5 – экструдер (расплавитель); 6 – формовочная часть; 7 – обдувочная часть; 8 – приёмно-намоточная часть; L – измеритель уровня (сигнализатор)*

Установка предназначена для подачи крошки в расходные бункера прядильно-формовочных машин. Крошка заводским транспортом (в состав установок не входит) подаётся в бункер исходного сырья 1, который вмещает суточный запас сырья. В бункере измеряется верхний и нижний уровень продукта. Из бункера 1 крошка по мере необходимости периодически должна подаваться в расходные бункера 3 формовочных машин, также снабжённых приборами измерения верхнего и нижнего уровня для контроля над их опорожнением и заполнением.

Подача сырья в бункер 1 осуществляется заводским транспортом заказчика через специальный люк, а в расходные бункера 3 – через специальные штуцера.

Конструкция, размеры и расположение впускного люка бункера 1 и штуцеров расходных бункеров 3 могут быть приведены в приложении к техническому заданию либо уточнены в процессе разработки у заказчика.

В техническом задании может быть указан способ транспортировки (вибротранспорт, пневмотранспорт, ленточный конвейер, шнековый транспорт и др.).

Расходные бункеры расположены по оси IV на отметке +20,0, на одной линии, на расстоянии друг от друга 6 м. Транспортировка производится в потоке азота (табл. 4.2).

Установка работает следующим образом: крошка заводским транспортом с помощью транспортных контейнеров подаётся периодически по сигналам указателя уровня (сигнализатора) в бункер 1 и по мере необходимости должна передаваться в расходные бункера 3 также по мере их опорожнения. После заполнения бункеров подача прекращается. Над каждым расходным бункером 3 располагается распределитель крошки 2, открывающий доступ её в бункер, подлежащий заполнению.

Для обеспечения непрерывной работы формовочной машины под расходным бункером 3 установлен предбункер 4, отключаемый от расходного бункера 3 на время его загрузки. В это время (не более 1 часа) машина работает, используя сырьё из предбункера, которое плавится в экструдере 5 и подаётся в формовочную часть машины 6, где формируются полимерные струйки. Они опускаются в обдувочную часть 7, где охлаждаются в процессе вытягивания и наматываются на паковки (катушки) в намоточной части 8. Всего в цехе может быть установлено до 10 машин, которые перерабатывают до 1 т крошки в сутки.

Конструкция, расположение и размеры узлов, соединяющих расходные бункеры 3 прядильно-формовочных машин, будут установлены при выполнении разработки по планировочным чертежам заказчика. Эти оговорки в техническом задании необходимо делать всегда, так как они обязывают заказчика предоставлять разработчику необходимые сведения.

Таблица показателей качества, приведённая в исходных данных, должна быть дополнена рядом дополнительных показателей (табл. 4.3), оформлена заново и приведена в ТЗ в полном объёме.

По пунктам 2–5 в техническом задании необходимо указать, что значения этих показателей ориентировочные и могут быть уточнены при проектировании. Однако следует принимать меры по обеспечению их минимальных значений. В связи с этим в соответствии с ГОСТ 15005–86 и ЕСКД оформляются изменения в согласованные и утверждённые ранее исходные данные.

Эти этапы проводятся в соответствии с техническим заданием с целью проработки различных вариантов устройства изделия для выбора опти-

мального варианта и оформления его в виде технического проекта, который согласовывается с заказчиком и с изготовителем.

Таблица 4.3

*Дополнительные показатели качества установки транспортировки полимерной крошки*

№ п/п	Наименование показателей качества, размерность	Значение показателя
1.1	Область применения	Заводы по производству волокон, плёнок для раздачи крошки по бункерам формовочных машин
1.2	Число расходных бункеров машин, шт	5–12
1.3	Объём расходного бункера, м <sup>3</sup>	1,5
1.4	Объём бункера расходного продукта, м <sup>3</sup>	15
1.5	Время заполнения расходного бункера, мин	30
1.6	Производительность установки, т/час	2,0
1.7	Материал, применяемый в контакте с крошкой	Сталь 1X18H10T

*Разработка технического предложения и эскизного проекта установки транспортировки полимерной крошки*

Для несложных изделий допускается сразу разрабатывать технический рабочий проект, если это предусмотрено техническим заданием. Такая практика применяется довольно часто. В этом случае технический рабочий проект также согласовывается с заказчиком.

*Техническое предложение*

В этом разделе на основании исходных данных и технического задания прорабатываются и анализируются различные варианты выполняемой работы с использованием научной, технической, справочной литературы, патентов, проектов, каталогов, рекламных материалов, отчётов о командировках, технических предложений фирм и сведений из Интернета.

В результате этой работы нами приведены аппаратурные схемы установки для транспортировки сыпучих продуктов ленточными транспортёрами (рис. 4.20), установка со шнековыми транспортёрами (рис. 4.22) и вибротранспортная установка (рис. 4.23).

Установка по схеме рис. 4.20 работает следующим образом. Продукт из бункера 2 шнековым питателем 1 подаётся на наклонный ленточный транспортёр со скребками, препятствующими ссыпанию продукта по ленте. С наклонного ленточного транспортёра продукт поступает на горизонтальный транспортёр 6, с которого скребками 5 сбрасывается на один из поперечных транспортёров 7, доставляющих продукт в расходный бункер 8. Опорожнение и заполнение бункеров 2 и 8 контролируется с помощью сигнализаторов уровня.

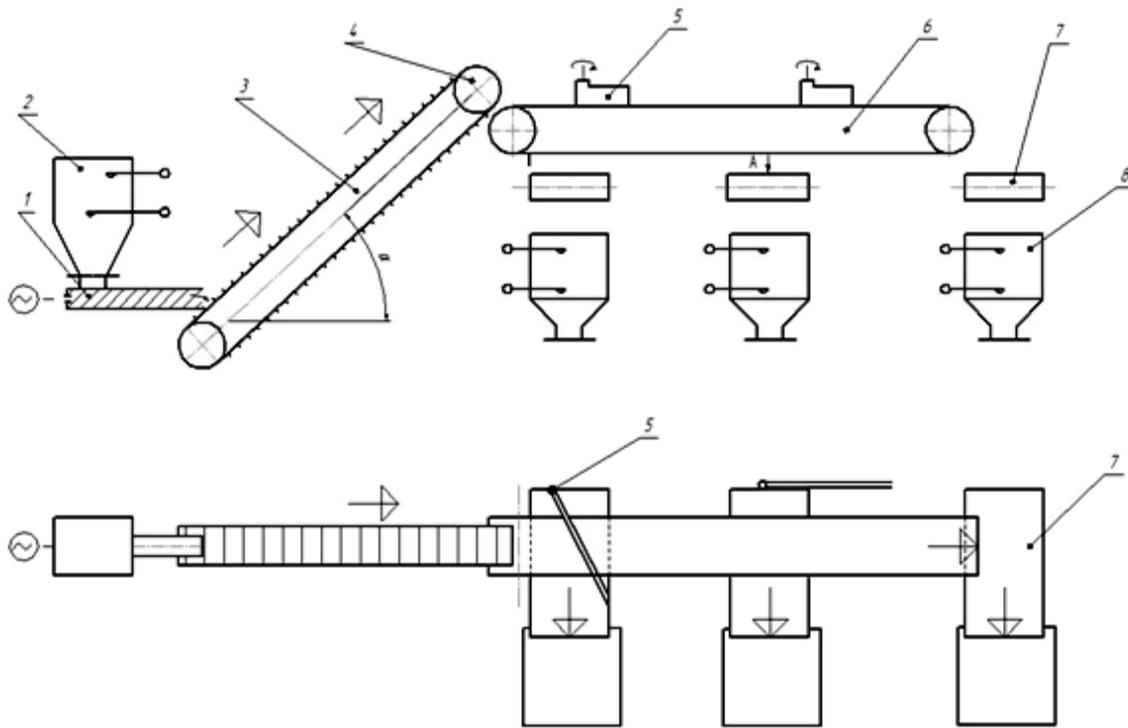


Рис. 4.20. Установка для транспортировки сыпучих материалов ленточными транспортёрами: ◁—○ – прибор контроля уровня; 1 – шнековый питатель; 2 – бункер продукта; 3 – скребковый ленточный транспортёр; 4 – ведущий барабан; 5 – скребок для сброса продукта; 6 – горизонтальный транспортёр; 7 – поперечный транспортёр; 8 – бункер расходный

Установки с ленточными транспортёрами широко применяются в промышленности для транспортировки кусковых и зернистых грузов на шахтах, рудниках, на токах, на заводах производства комбикормов и т. п. Их узлы прекрасно отработаны, а отдельные детали и комплектующие (барабаны, поддерживающие ролики, транспортёрные ленты) изготавливаются серийно или по спецзаказу. Достоинством этих установок является бережная транспортировка, без порчи и измельчения перемещаемого продукта. Однако использовать эту схему для перемещения продукта в инертной среде, как требуется в техническом задании, очень сложно и нецелесообразно.

В пневмотранспортной установке (рис. 4.21) сыпучий продукт транспортируется по трубам  $d_y = 100$  мм из стали 1Х18Н10Т потоком газа, который эжектирует продукт, выпускаемый из бункера 2 по изогнутому патрубку (зона А). Для компенсации разрежения в бункер по линии 1 подаётся газ, способствующий разгрузке бункера.

Продукт вместе с газом по трубопроводу через кран или делитель потока подаётся в циклон 3, где газ отделяется от продукта и затем направляется на фильтр патронный 6. Очищенный и нагретый при транспортировке газ поступает на вход газодувки 5, охлаждается в теплообменнике и вновь используется для перемещения продукта.

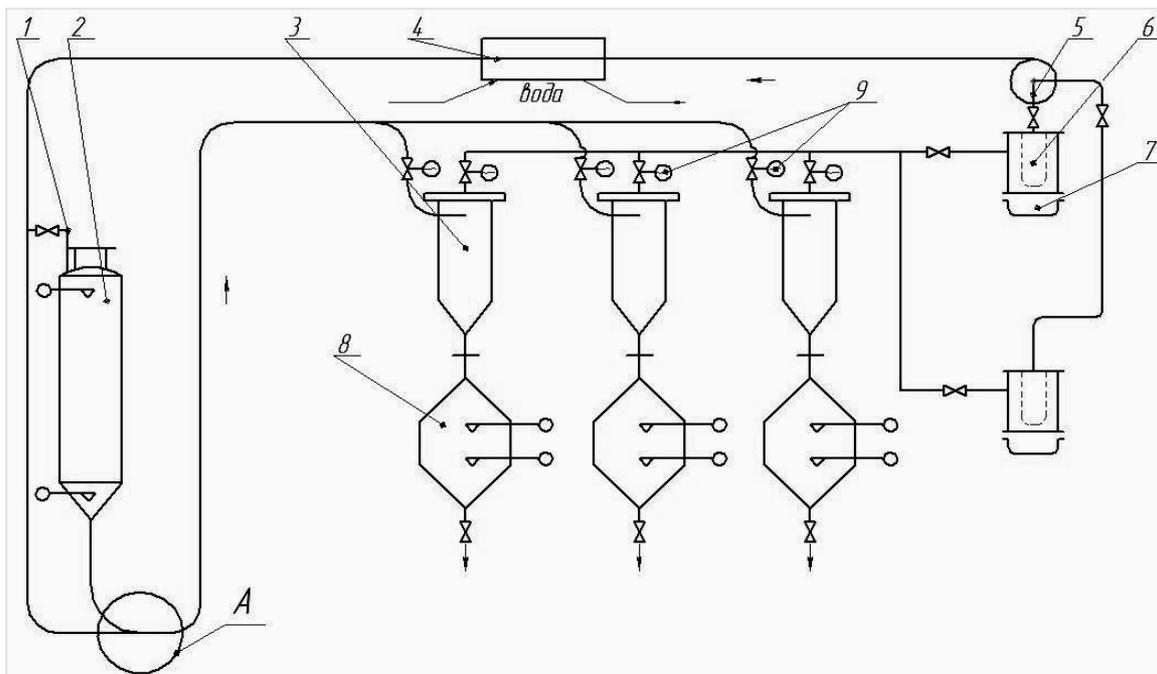


Рис. 4.21. Установка пневмотранспорта:  $\nabla$ — $\circ$  – прибор контроля уровня; 1 – линия компенсации разрежения; 2 – бункер продукта; 3 – циклон; 4 – теплообменник; 5 – газодувка; 6 – фильтр патронный; 7 – контейнер для мелких частиц; 8 – бункер расходный; 9 – электроприводной вентиль; А – участок стыковки магистрального трубопровода с патрубком впуска крошки

Эта установка относится к пневмотранспортным системам закрытого типа. В них может использоваться газ любого состава. В пневмотранспортных системах открытого типа применяется, как правило, атмосферный воздух, который из газодувки выбрасывается в атмосферу. Такие системы используют в химической, пищевой промышленности. В них применяется много стандартных и заимствованных узлов (газодувки, бункеры, газовая арматура, циклоны и др.).

В шнековой транспортирующей установке (рис. 4.22) продукт из бункера 1 вертикальным шнековым транспортёром 2 поднимается на нужную высоту и перегружается в горизонтальный шнековый транспортёр 3. В нижней части последнего размещены патрубки с установленными на них секторными питателями 4. При их вращении продукт из горизонтального шнекового транспортёра 3 выгружается в один из бункеров расходных 5.

Такие установки применяют на пищевых и зерноперерабатывающих предприятиях. Транспортировка может осуществляться в атмосфере любого газа в относительно герметичном оборудовании. Большая часть узлов является оригинальной и требует разработки. Покупными могут быть приводы и отдельные бункеры. Компоновка шнеков может быть различной, приспособленной под нужды заказчика. Для предотвращения разрушения продукта при взаимодействии со шнеками и их корпусами применяют шнеки с пластиковыми или резиновыми витками и корпуса из требуемых материалов.

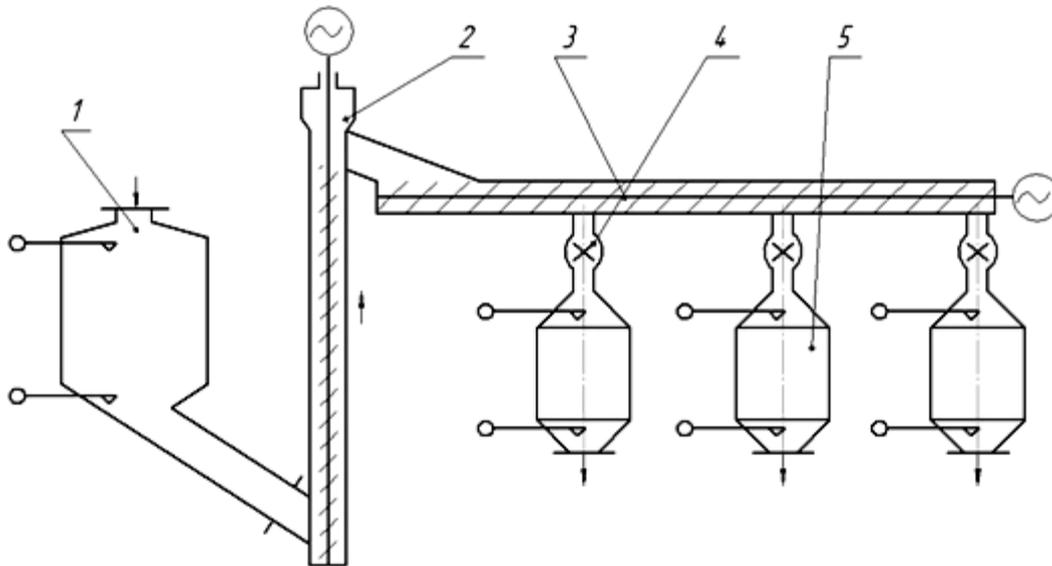


Рис. 4.22. Установка со шнековыми транспортёрами: ◁—○ – прибор контроля уровня; 1 – бункер продукта; 2 – вертикальный шнековый транспортёр; 3 – горизонтальный шнековый транспортёр; 4 – секторный питатель; 5 – бункер расходный

Вибротранспортная установка (рис. 4.23) состоит из бункера 1, сыпучий продукт из которого поступает на спиральный лоток или в трубу виброподъёмника 2. Он установлен на спиральные пружины с помощью рамы, на которой размещён динамический вибратор 3.

Транспортировка частиц продукта на горизонтальном или на наклонном лотке в трубе происходит за счёт того, что частица за каждый акт вибрации совершает полёт по баллистической кривой на определенное расстояние. Это расстояние зависит от частоты и амплитуды колебаний транспортёра.

С лотка виброподъёмника 2 продукт сыпается на горизонтальный вибротранспортёр 7, установленный на рессорах 5. Пересыпание происходит без контакта транспортёров друг с другом. Место стыка уплотняется гибким рукавом 10 или сильфоном (рис. 4.23, вид В). Вибрация лотка создаётся электромагнитными вибраторами 6. В определённых местах на днище лотка установлены затворы 8. При открытии определённого затвора продукт сыпается в один из расходных бункеров 9.

Такие установки применяются как в крупнотоннажных (рудники, шахты, химические предприятия), так и в малотоннажных производствах. Продукт в них почти не подвергается разрушению. Вибротранспортные установки разрабатываются специально для конкретных условий. В них очень немного заимствованных узлов (бункера, вибротранспортеры и др.). Они могут быть выполнены в геометрическом исполнении. Недостатком этих установок является наличие динамических нагрузок на конструкции здания.

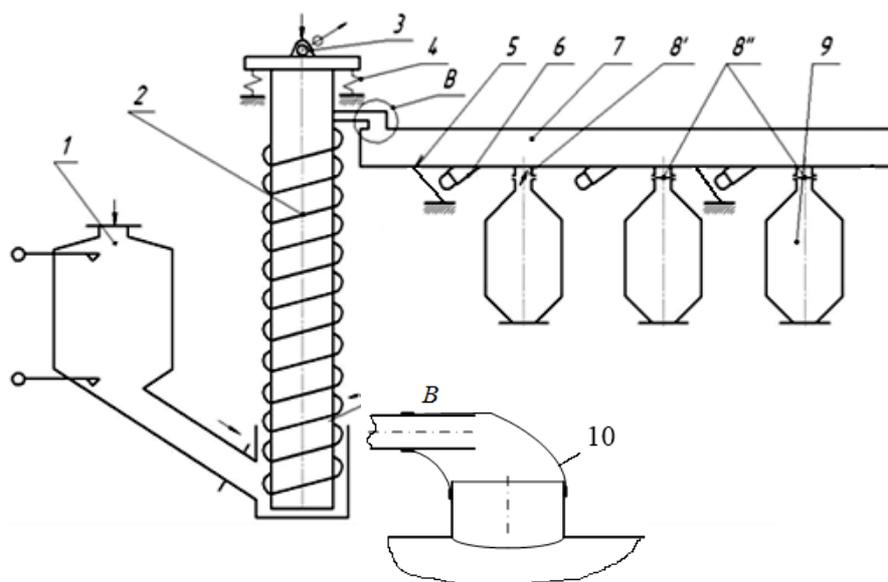


Рис. 4.23. Установка вибротранспорта: ◁—○ – прибор контроля уровня; 1 – бункер продукта; 2 – спиральный виброподъёмник; 3 – динамический вибратор; 4 – пружина спиральная; 5 – рессора пластинчатая; 6 – электромагнитный вибратор; 7 – горизонтальный вибротранспортёр; 8' – затвор открыт; 8'' – затвор закрыт; 9 – бункер расходный; 10 – рукав гибкий; В – участок герметизации стыковки двух вибротранспортёров

Описания предложенных вариантов транспортирующих установок с приложением схем (рис. 4.20–4.23) включаются в расчётно-пояснительную записку. В ней на основе изложенного делается выбор наиболее приемлемого варианта установки и в заключении указывается, что для разработки следует применять только схему пневмотранспортёрной установки закрытого типа. Дополнительно проводятся ориентировочные расчёты длины и диаметра транспортирующих трубопроводов, необходимого расхода газа и выбирается газодувка, обеспечивающая требуемую производительность установки.

В то же время даются рекомендации по проработке фильтров двух типов: с пневматической регенерацией патронов и с регенерацией патронов встряхиванием. Также предлагается два типа арматуры для переключения потока газа на циклоны: индивидуальных кранов на каждый циклон и распределителя – делителя потока. Эти рекомендации приведены в следующем разделе.

#### *Эскизный проект установки*

При разработке эскизного проекта в первую очередь целесообразно проработать варианты предлагаемых узлов. Приступая к проработке вариантов фильтров необходимо для заданной производительности по газу выбрать фильтрующий материал, определить поверхность фильтрации и задаться числом и размером фильтр-патронов, а затем изобразить эскиз корпуса с фильтр-патронами. После этого следует для каждого из вариантов регенерации патронов разработать конструктивную схему фильтра.

При пневматической транспортировке в крошке могут находиться мелкие частицы, а также образуются продукты истирания крошки о стенки трубопроводов. Эти частицы можно задерживать на тканевом патроне с металлическим каркасом или на патроне из металлической сетки с карка-

сом. Наиболее предпочтительно применение металлической сетки, так как полимерные частицы вследствие электризации могут налипать на ткань, что будет затруднять их удаление при регенерации патрона.

С учётом этого рассмотрим два варианта регенерации – со встряхиванием (рис. 4.24) и с обдувкой противотоком (рис. 4.25) патронов.

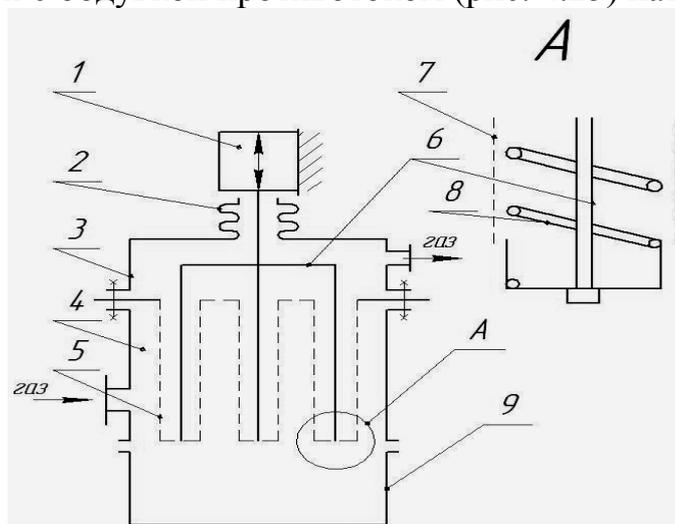


Рис. 4.24. Эскиз фильтра с регенерацией патрона встряхиванием:  
 1 – электромагнитный вибратор; 2 – сильфон; 3 – крышка; 4 – корпус;  
 5 – фильтр-патрон; 6 – встряхивающие штоки; 7 – фильтрующая сетка;  
 8 – спиральный каркас; 9 – сборник мелочи

Фильтр со встряхиванием патронов работает следующим образом: газ, содержащий мелкие частицы, поступает в корпус 4 и очищается, проходя сетку 7 фильтр-патрона 5. Очищенный газ выходит через штуцер крышки 3. Фильтр-патрон периодически встряхивается с помощью штоков 6, которым вибрация передаётся электромагнитным вибратором 1. При встряхивании мелкие частицы сползают с поверхности фильтр-патрона в сборник мелочи.

Фильтр с обдувкой (рис. 4.25) в основном аналогичен предыдущему.

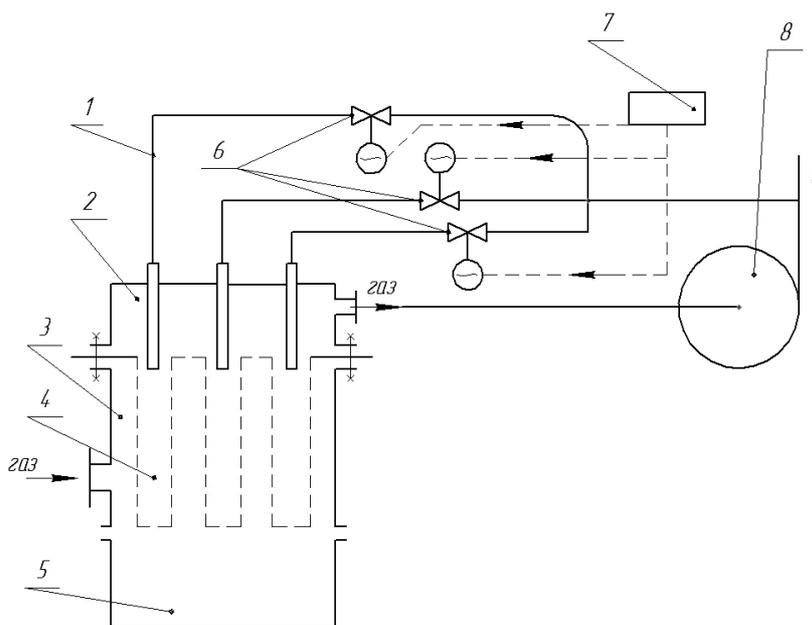


Рис. 4.25. Эскиз фильтра с обдувкой фильтр-патронов: 1 – импульсные трубки;  
 2 – крышка; 3 – корпус; 4 – фильтр-патрон; 5 – сборник; 6 – электроприводные  
 управляемые вентили; 7 – блок управления; 8 – газодувка

Запылённый газ поступает в корпус 3 и после фильтрации на фильтр-патронах 4 через крышку 2 направляется в патрубок всасывания газодувки. Фильтр-патроны периодически регенерируются путём подачи под избыточным давлением газа, который подаётся поочерёдно в каждый из фильтр-патронов с выхода газодувки 8. Подача осуществляется электроприводными вентилями 6 с помощью блока управления 7. Регенерация происходит без прерывания процесса фильтрации и транспортировки крошки. Мелкие частицы отдуваются с поверхности фильтра противотоком и собираются в сборнике 5.

Сравнение обоих предложенных вариантов даёт основание рекомендовать для дальнейшей проработки в составе технического проекта второго из них, так как в нём используются стандартные электроприводные вентили и электронный блок управления. Фильтр-патроны в этом варианте эксплуатируются при незначительных нагрузках, а для отдувки патронов используется газ, выходящий с избытком давления 400–500 мм вод. ст.

Фильтр с вибрационной очисткой засоренных патронов требует применения нестандартного электромагнитного вибратора. Сетки, каркас и сильфон, входящие в состав фильтра, из-за вибрационной нагрузки на них будут периодически разрушаться из-за усталостных напряжений.

Сравнение двух проработанных вариантов арматуры для переключения потоков газа перед циклоном и после него позволяет произвести их оценку.

Схема установки индивидуальных электроприводных кранов приведена на рис. 4.21. В этом случае каждая пара кранов должна включаться по команде пульта управления в зависимости от того, какой расходный бункер 8 должен загружаться. Эскиз такого крана (без электропривода) показан на рис. 4.26.

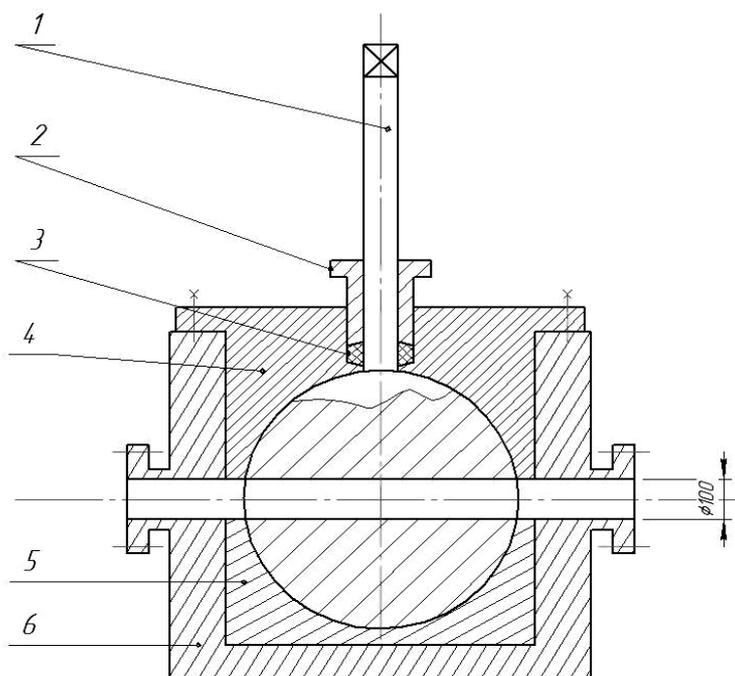


Рис. 4.26. Кран для крошки: 1 – пробка; 2 – грундбукса; 3 – сальниковая набивка; 4 – крышка; 5 – седло; 6 – корпус

Распределитель – делитель потока представляет собой подобие многоходового крана. Он предназначен для направления потока газа с крошкой в один из циклонов установки при повороте пробки в нужное положение (рис. 4.27).

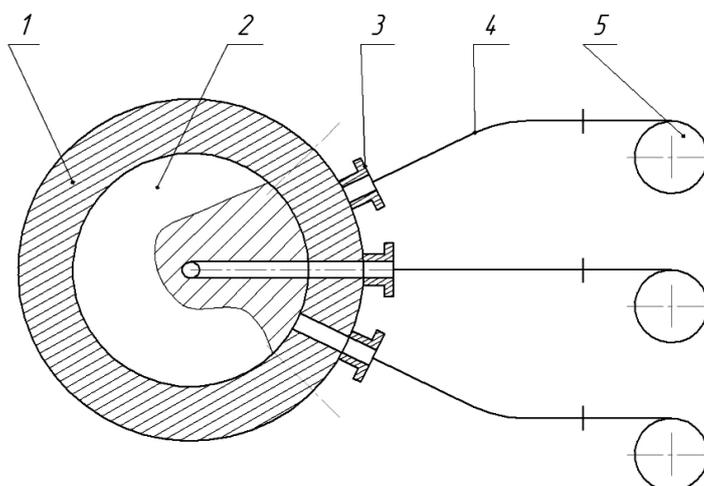


Рис. 4.27. Распределитель потока: 1 – корпус; 2 – пробка; 3 – выходной патрубок; 4 – трубопровод; 5 – циклон

На рис. 4.28 показан упрощённый эскиз распределителя в разрезе.

Пробка распределителя 7, поворачиваясь в корпусе 3 в фиксированные положения, соединяет входной патрубок 4 с одним из выходных патрубков 6. Поворот пробки должен осуществляться электроприводом. Этот распределитель, учитывая проходное сечение трубопровода  $d = 100$  мм, должен иметь довольно большие размеры. Диаметр пробки на шесть выходных патрубков составляет 400–500 мм. Высота пробки также должна быть не меньше 350 мм. Для облегчения эта конструкция должна быть литой или сварной. Таким образом, этот вариант громоздкий.

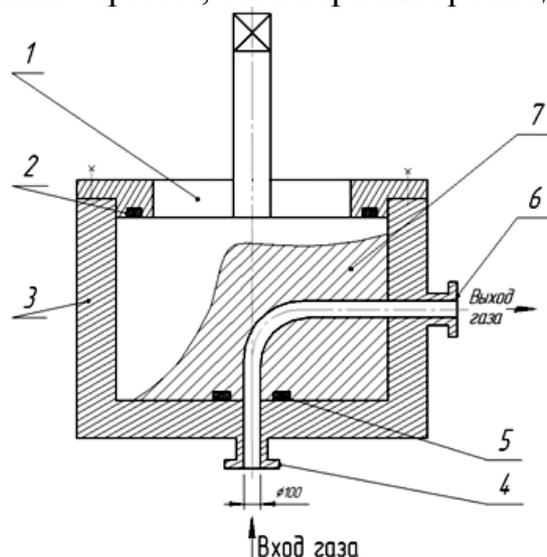


Рис. 4.28. Эскиз распределителя потока: 1 – крышка; 2, 5 – уплотнение; 3 – корпус; 4 – входной патрубок; 6 – выходной патрубок; 7 – пробка

Чтобы сделать выбор более приемлемого варианта, рассмотрим дополнительно компоновку трёх циклонов, располагаемых над бункерами, с использованием этих двух типов арматуры.

Для лучшей оценки вариантов компоновки обычно применяют макетирование. Для изготовления макетов аппаратов, приводов применяют пенопласт, картон, пластилин и другие дешёвые и лёгкие в обработке материалы. Площадки, на которых расставляется оборудование, можно изготавливать из дерева, оргстекла, фанеры, металлопроката или пластика. Трубопроводы, ограждения делают из проволоки.

Рассматривая и обсуждая варианты компоновки, показанные на рис. 4.29–4.30, можно сделать выбор в пользу применения индивидуальных электроприводных кранов. Они предпочтительнее и с точки зрения простоты, надёжности конструкции и, кроме того, они серийно выпускаются промышленностью.

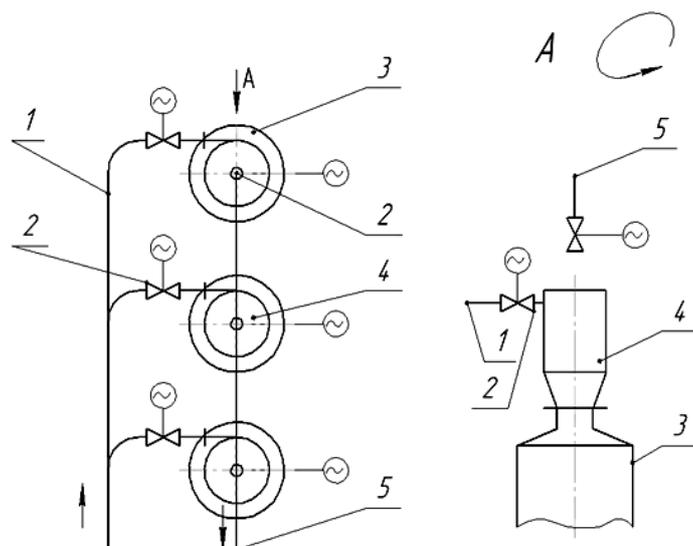


Рис. 4.29. Компоновка бункерной части установки транспортировки крошки с индивидуальными электроприводными кранами: 1 – подводящий трубопровод; 2 – электроприводной кран; 3 – бункер; 4 – циклон; 5 – отводящий трубопровод

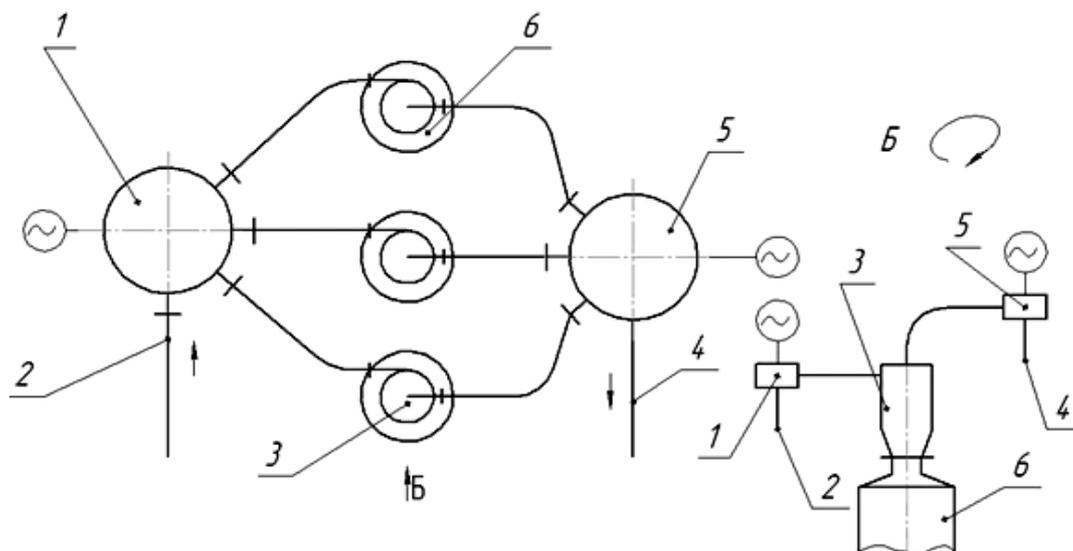


Рис. 4.30. Компоновка бункерной части установки транспортировки крошки с электроприводными распределителями потока: 1 – распределитель входящего потока электроприводной; 2 – подводящий трубопровод; 3 – циклон; 4 – отводящий трубопровод; 5 – распределитель отходящего потока; 6 – бункер

При оформлении расчётно-пояснительной записки в неё включают все выполненные эскизы и схемы. Их дополняют описаниями и пояснениями, позволяющими провести сравнение и оценку вариантов. По каждому варианту проводят необходимые расчёты (кинематические, прочностные, тепловые, гидравлические и др.).

В записку вводится раздел, описывающий вопросы дизайна, эргономики, техники безопасности, промышленной санитарии и экологии. Приводятся материалы, которые позволяют оценить патентную чистоту и даются рекомендации по их обеспечению. В заключение даются рекомендации по использованию результатов этапа эскизного проектирования в техническом проекте. Применительно к рассматриваемому примеру их можно сформулировать следующим образом:

1. При разработке технического проекта установки транспортировки крошки следует принять за основу схему пневмотранспортной установки закрытого типа (рис. 4.21).

2. Провести конструкторскую разработку и аэродинамический расчёт узла эжектирования крошки на выходе из бункера (рис. 4.21, вид А).

3. За основу разработки фильтра принять предложенную схему фильтра с отдувкой фильтр-патронов (рис. 4.25).

4. Применить или разработать электроприводной кран.

5. Обеспечить максимальное применение покупных или заимствованных узлов и аппаратов (бункера, циклон, газодувка, теплообменник).

6. Провести тщательную патентную проработку по узлам, упомянутым п. 2 и 3 с целью обеспечения их патентной защиты, а по установке в целом обеспечить её патентную чистоту.

#### **4.5.2. Пример проектирования плоскощелевой головки для выпуска полимерной пленки или ламинирования материалов**

Обзор и анализ литературы [27; 35; 44; 45; 49; 50] показал, что экструзионные головки могут быть классифицированы в зависимости от способа получения пленки, геометрического построения головок, их присоединения к экструзионному устройству, устройств выравнивания потока полимера и внутреннего давления. Анализ литературных и патентных источников позволяет классифицировать головки для получения пленки (рис. 4.31). Классификация показывает, что экструзионные головки, которые предназначены для изготовления пленок, можно разделить на два основных класса: кольцевые и плоскощелевые.

Головки кольцевого типа применяют для изготовления пленок рукавного типа. Эти головки можно применять для ламинирования только при осуществлении многостадийного процесса.

По способу крепления к экструдеру эти головки делятся на прямые и угловые. К преимуществам прямого способа крепления относится отсутствие вихревых потоков расплава полимера, которые имеют место при угловом способе крепления. К недостаткам прямого способа относится вер-

тикальное размещение экструдера, что приводит к значительному росту общей высоты машины.

В зависимости от вида устройства эти головки делятся на стационарные и вращательные. Стационарные головки проще в изготовлении, чем вращательные, однако вращательные обеспечивают более равномерную по толщине пленку.

В зависимости от вида распределительных каналов головки делятся на винтовые, гладкие и решетчатые. Винтовые каналы применяют в головках при угловом креплении к экструдеру для уменьшения вихревых потоков расплава полимера. Гладкие и решетчатые – используют при прямом креплении головки. Применение решетчатых каналов обусловлено условиями уменьшения пульсаций при работе экструдера, но оно увеличивает сопротивление головки. В современных линиях изготовления пленки с применением вращательной кольцевой головки применяют угловой способ ее крепления к экструдеру.

Плоскощелевые головки по сравнению с кольцевыми, обладают на порядок большей производительностью, что обеспечивает им все более широкое применение.

Плоскощелевые головки применяются как при изготовлении пленок, так и непосредственно при ламинировании рулонных материалов. В зависимости от направления входа расплава в головку существует подвод сбоку, в середину и комбинированный. Наиболее применимым является способ подвода расплава в середину головки.

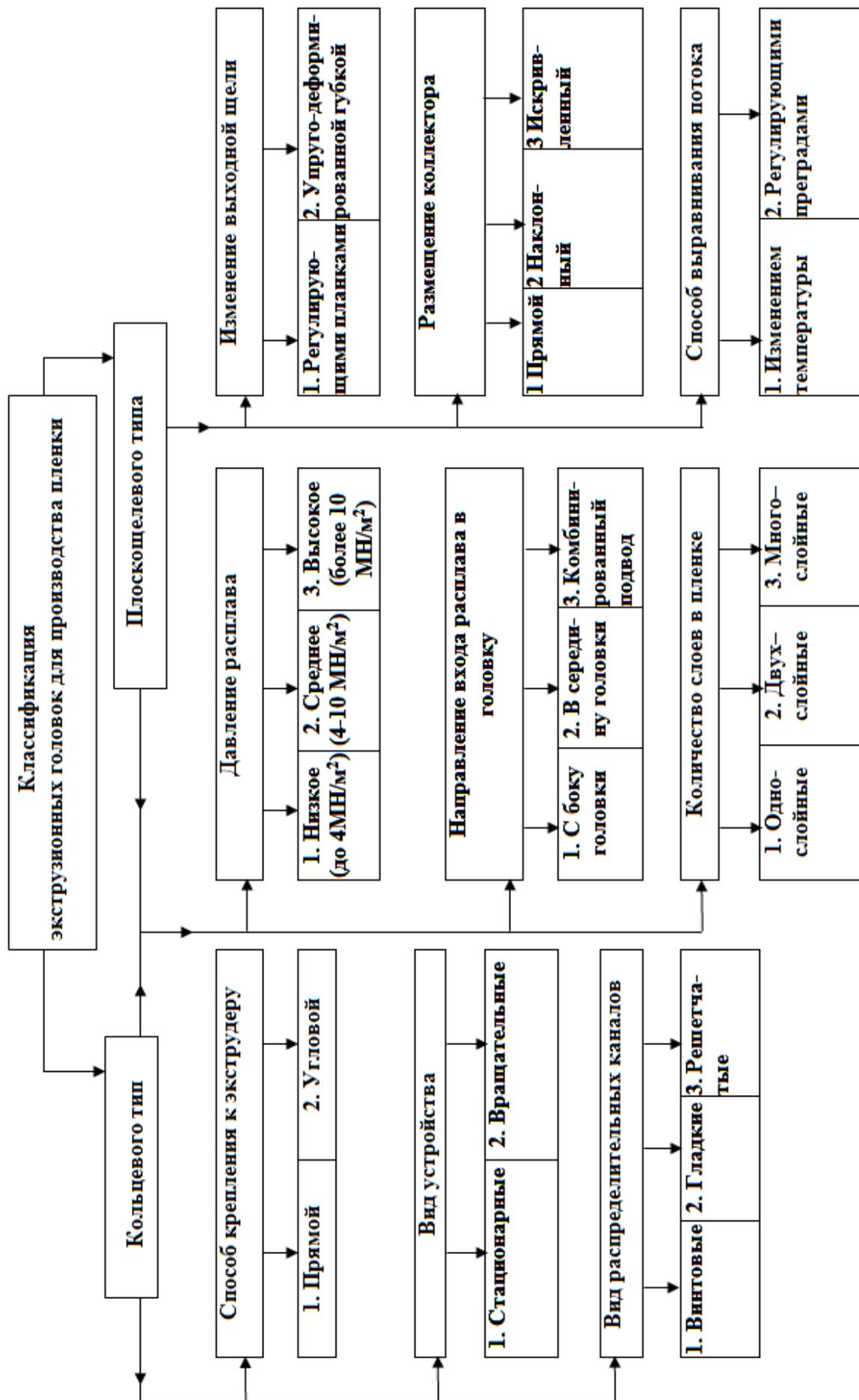


Рис. 4.31. Классификация экструзионных головок

Способ подвода расплава сбоку применяется редко, поскольку в таких головках полимер движется по траекториям, которые имеют разную длину. Поэтому время пребывания полимера в таких головках непостоянное, а это приводит к изготовлению пленки, которая имеет нестабильные свойства. Комбинированный способ подвода расплава является сложным в реализации.

В зависимости от вида регулирования выходной щели различают головки с регулирующими планками и упруго-деформируемыми губками. С помощью регулирующих планок изменяется толщина пленки, а перераспределение расплава по ширине головки осуществляется только с помощью упруго-деформируемых губок (рис. 4.31).

В зависимости от вида выравнивания потока расплава, головки делятся на головки с регулирующими преградами и на головки, температура которых изменяется по их ширине. Преграды, которые регулируются, позволяют изменять поперечное сечение формирующих каналов, что приводит к перераспределению полимера по ширине головки. Недостатком такого регулирования являются часто возникающие оптические дефекты на поверхности пленки. Изменение температуры головки по ее ширине приводит к изменению температуры полимера и как следствие к изменению ее вязкости, что приводит к перераспределению расходов полимера по ширине головки. Недостатком этого метода является малый диапазон изменений температуры, поскольку при большом диапазоне возникают неравномерные физико-химические свойства пленки.

Рассмотрим более детально конструкции плоскощелевых головок для выбора наиболее рациональной.

Конструкция головки с прямым расположением коллектора показана на рис. 4.32. В этой головке расплав к формирующей щели  $l$  шириной  $W$  и высотой  $H$  подводится с помощью коллектора  $2$  радиусом  $R$ , который имеет постоянное поперечное сечение и ось которого расположена параллельно щели. В коллектор расплав попадает через канал  $3$ .

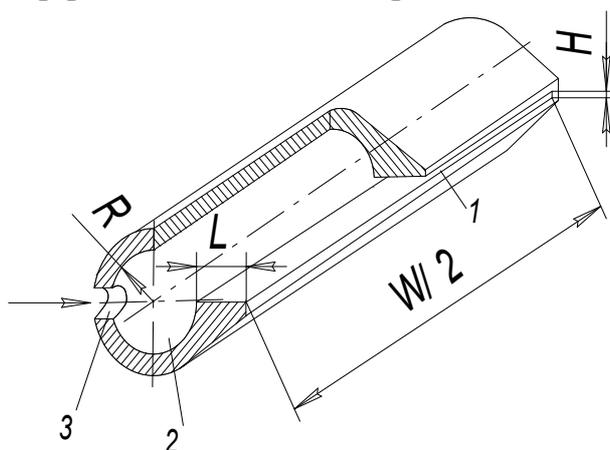


Рис. 4.32. Половина плоскощелевой головки коллекторного типа с подводом расплава полимера в середину головки: 1 – формирующая щель; 2 – коллектор; 3 – канал подвода

Преимущества этой конструкции в том, что она более жесткая и имеет общую площадь всего канала. Недостатком этой конструкции является то,

что полимер, который находится длительное время в середине головки, начинает разлагаться. Поэтому в головках с прямым расположением коллектора нежелательно перерабатывать термочувствительные материалы, например, непластифицированный ПВХ [27; 35; 45; 50].

В промышленности используют три способа выравнивания потока расплава. Первый способ состоит в том, что для компенсации падения давления температуру головки повышают от середины ее краев в процессе движения полимера [27; 50]. При этом уменьшается вязкость расплава, что обеспечивает выравнивание скорости экструзии по ширине головки. Недостаток этого метода состоит в том, что конечный продукт будет иметь неравномерные свойства.

Суть второго способа состоит в том, что распределительному каналу придается такая форма, которая обеспечивает равенство гидравлических сопротивлений движению полимера на пути от входа в головку к любой точке щели на выходе. Этот способ используют в головках с наклонными коллекторами, благодаря этому такие головки называют «рыбный хвост» (рис. 4.33) [27; 35; 44; 50].

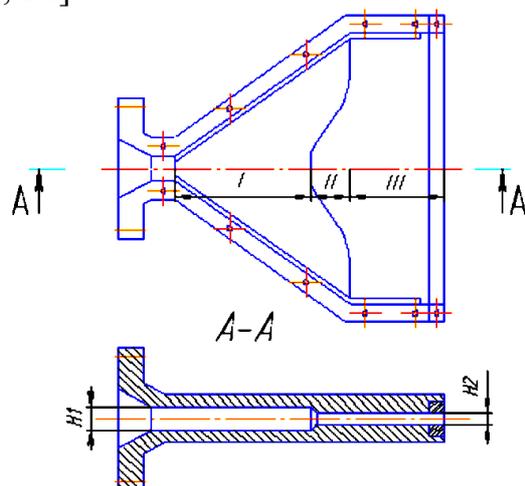


Рис. 4.33. Плоскощелевая головка треугольного типа для производства пленки:  
I – входная зона; II – зона выравнивания; III – зона формующего канала

Третий способ выравнивания потока дает возможность приспособить головку для переработки различных полимерных материалов. Этот способ состоит в использовании регулируемых преград для выравнивания потока расплава. Так, в качестве дроссельной преграды используется подпорная планка. Используя упругость такой планки, можно достигнуть равной скорости выхода полимера по ширине головки. Конструкция этой головки показана на рис. 4.34. Принцип ее действия состоит в следующем: расплав полимера из выпускного канала экструдера поступает в распределительный канал головки, в котором происходит предварительное выравнивание скоростей потока по ширине головки. Окончательное выравнивание осуществляется с помощью упругого ползуна 10. При опускании одного из ползунów щель между овальной поверхностью ползуна и нижней половиной корпуса головки уменьшается, что приведет к уменьшению расхода полимера на этом участке [27; 35; 50]. Подобная головка представлена на рис. 4.35 [27; 35; 50],

в ней регулирование высоты канала осуществляется горизонтальным перемещением ползуна 4 с помощью винта 8. Высоту щели между губками можно изменять с помощью винтов регулирования положения верхней губки 5.

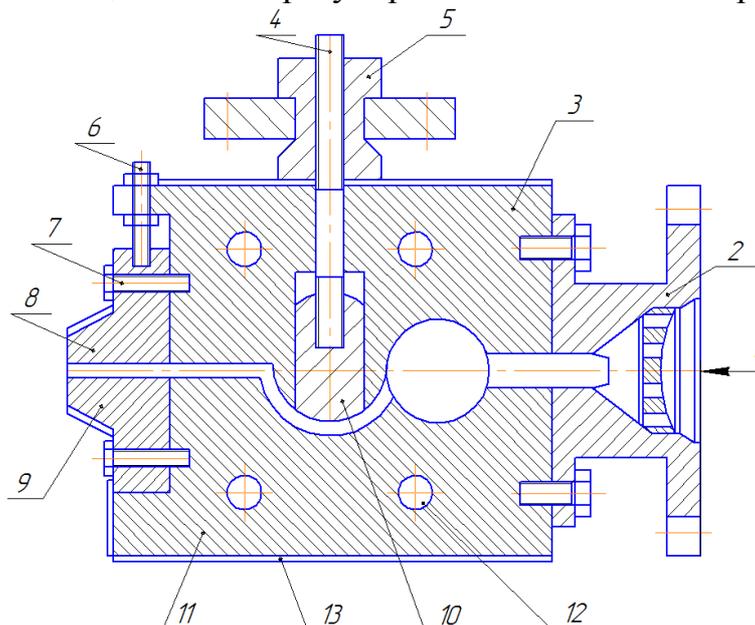


Рис. 4.34. Конструкция щелевой головки с устройством для гидравлического выравнивания потока: 1 – вход расплава из цилиндра экструдера; 2 – переходник; 3 – верхняя половина корпуса; 4 – шпилька регулирования положения дроссельной планки; 5 – резьбовая втулка; 6 – шпилька регулирования положения верхней губки; 7 – винты, которые фиксируют верхнюю губку; 8, 9 – верхняя и нижняя губки формирующей щели; 10 – упругий ползун; 11 – нижняя половина корпуса; 12 – отверстие для патронных электронагревателей; 13 – теплоизоляция

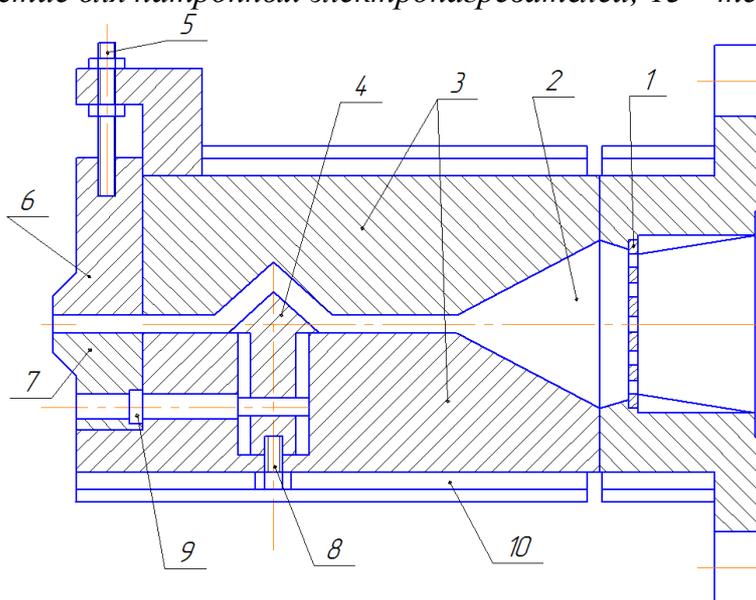


Рис. 4.35. Конструкция щелевой головки с устройством для гидравлического выравнивания потока: 1 – решетка; 2 – распределительный канал; 3 – верхняя и нижняя половина корпуса; 4 – ползуны регулирования высоты щели канала; 5 – винт регулирования положения верхней губки; 6, 7 – верхняя подвижная и нижняя неподвижная губки формирующей щели; 8 – винт, регулирующий положение ползунков; 9 – винт фиксации положения ползунков; 10 – пластинчатые электронагреватели

С гидродинамической точки зрения приведенные преграды обуславливают возникновение застойных зон и создают опасность распада термочувствительных полимерных материалов. Кроме того, возможно просачивание полимера в щель между дроссельной заслонкой и корпусом головки. Вследствие конкретного числа ползунов невозможно достичь плавной смены высоты канала. Следует отметить, что точность изготовления ползунов и точность сборки головки должны быть высокими, чтобы не допустить создания промежутков между ползунами. Кроме того, в процессе работы на выходе из головки расплав и получаемая пленка могут иметь полосы – следы от мест стыка двух соседних ползунов.

Диапазон разностей высот канала, который обеспечивается упругой планкой, намного меньше, чем тот, что обеспечивается ползунами.

Поэтому упругая планка применяется в головках при производстве тонких пленок, то есть в тех случаях, где малые разницы высот имеют влияние на качество полимерной пленки.

В приведенных выше конструкциях головок имеем дело с жестким креплением губок, или с упруго-деформируемыми губками. При таких конструкциях головок возможно расширение губок, что недопустимо для давлений порядка  $10 \text{ МН/м}^2$ . Для такого давления предложена конструкция головки, которая приведена на рис. 4.36 [27; 35; 50]. Профиль канала головки, который подводит полимерный расплав, выполнен таким образом, что под действием давления зазор щели не изменяется. Принцип действия головки следующий: расплав полимера поступает из цилиндра экструдера в переходник, потом в двойной канал *10*, в коллектор *9*, в котором происходит предварительное выравнивание скоростей потока по ширине головки. Окончательное выравнивание скоростей потока осуществляется подпорной упруго-призматической планкой *4*. Под действием давления нижняя половина корпуса *2* как бы поворачивается на некий угол вокруг условной точки *8*, расположенной в наиболее слабом месте сечения. Верхняя неподвижная губка *3* под действием давления перемещается по вертикали параллельно плите крепления *6*. Такая конструкция головки обеспечивает постоянную высоту щели и ее параллельность. Недостатком такой головки является необходимость обеспечения высокой точности в процессе сборки и наличие застойных зон.

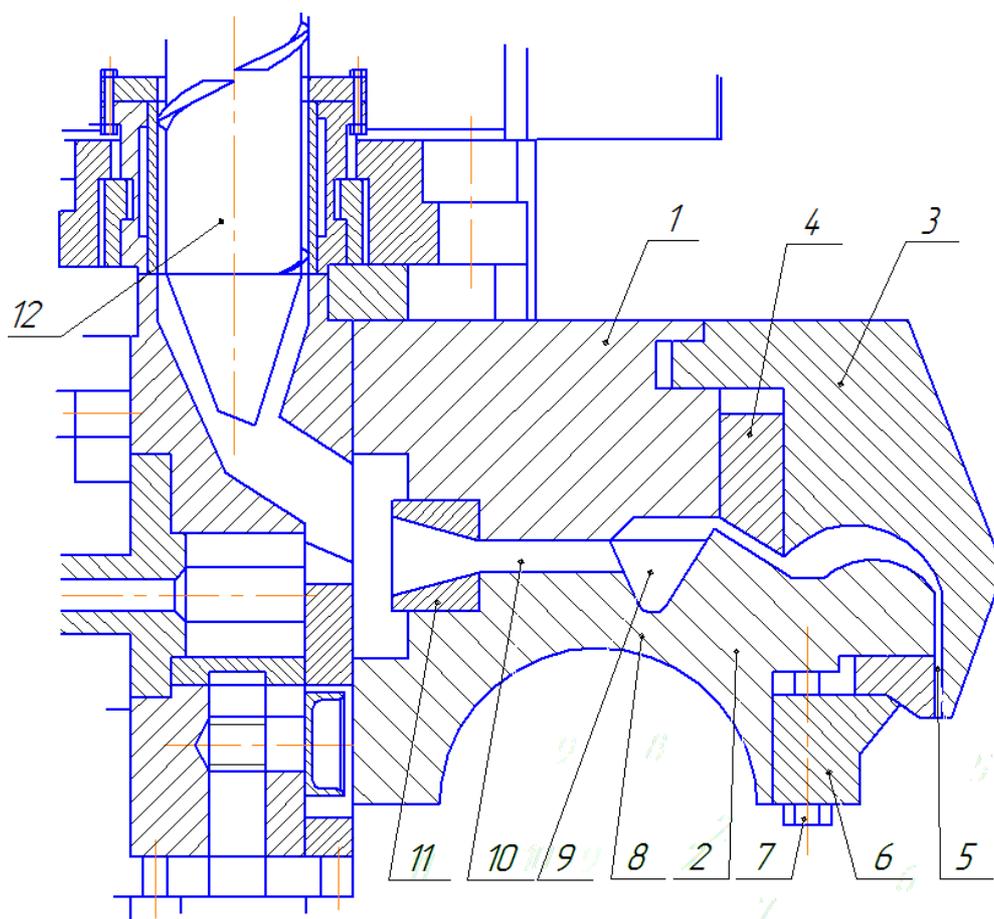


Рис. 4.36. Сечение головки с устройством для регулирования высоты щели:  
 1 – верхняя половина корпуса; 2 – нижняя половина корпуса; 3 – верхняя неподвижная губка; 4 – подпорная упруго-призматическая планка;  
 5 – канал формирующий; 6 – плита крепления; 7 – винт крепления губки;  
 8 – условное место поворота; 9 – коллектор; 10 – двойной канал;  
 11 – переходник; 12 – экструдер

Существуют конструкции плоскощелевых головок с распределительным шнеком, который обеспечивает безостановочную эксплуатацию головки, а также дает возможность производить полимерные пленки или листы большой толщины. Конструкция такой головки приведена на рис. 4.37. Особенностью головки является наличие распределительного шнека 2 в коллекторе [27; 35; 44; 50]. Назначение этого шнека – распределение расплава полимера по ширине формирующей щели и его принудительная подача к выходу из головки. Кроме того, шнек создает определенную степень давления и обеспечивает его равномерное распределение по длине коллектора. Благодаря шнеку в середине головки отсутствует застой полимера, а также происходит его гомогенизация, которая существенно влияет на качество конечного продукта. Таким образом, головки со шнеком в распределительном канале применяются при производстве листов из термочувствительных полимеров. Вращение шнека, который находится в распределительном канале, передается от электродвигателя через редуктор.

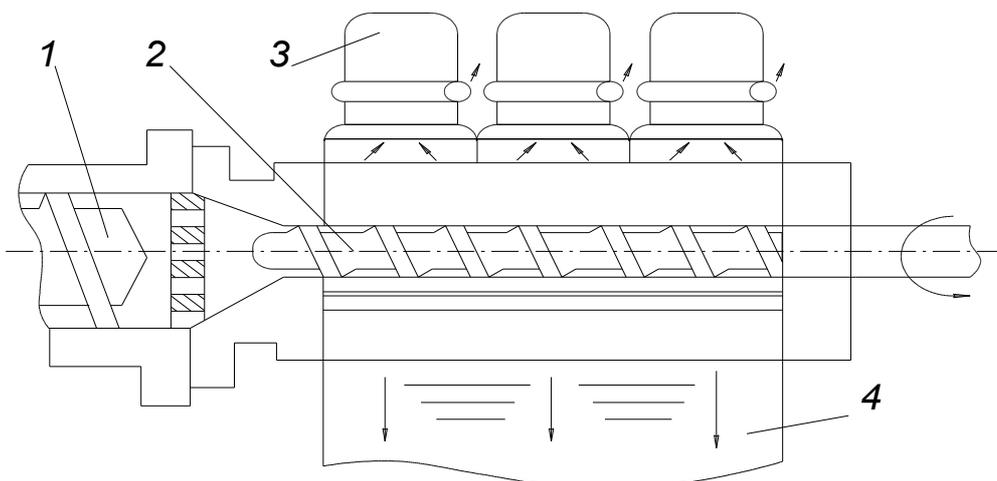


Рис. 4.37. Головка со шнеком в распределительном канале: 1 – экструдер; 2 – шнек; 3 – устройство для отсоса воздуха; 4 – пленочный материал

Плоскощелевая головка со шнеком имеет следующие преимущества: благодаря отсутствию застойных зон внутри головки увеличивается срок ее эксплуатации, исключается потребность в чистке распределительного канала от застывшего полимера; достигается хорошая гомогенизация полимера.

К недостаткам таких головок относится: образование под действием шнека следов винтовой линии на полимере, который экструдирован; при высоких скоростях образуются вихревые потоки, которые ухудшают качество пленки; указанные головки имеют повышенную стоимость.

В зависимости от вида регулирования выходной щели (рис. 4.31) экструзионные головки делятся на головки с регулирующими планками и головки с упруго-деформируемыми губками. На рис. 4.38 показано, как регулирующими губками 6 и 8 осуществляется изменение ширины выходной щели головки [27; 45; 50].

В этой головке распределительный канал 9 в сечении имеет каплеподобную форму и расширяется в направлении от средней линии к краю головки. Отличительной особенностью этой головки является наличие второго распределительного канала 5 меньшего сечения, назначение которого выравнивание потока полимера. Кроме того, в корпусе головки есть специальный паз 4 для подачи охлаждающей воды при остановке экструдера, что предотвращает распад полимера во внутренних каналах головки [27; 35; 44; 50].

Плоскощелевая головка с упруго-деформирующей губкой представлена на рис. 4.39 [27; 35; 50]. Неподвижная губка 3 и упруго-деформируемая губка 2, крепятся к корпусу 1 болтами. Для регулирования толщины пленки предназначены винты регулирования высоты щели 4. Усилие от регулирующего винта передается через промежуточный клин 5 на губку 2 и деформирует ее, изменяя, таким образом, ширину щели и, соответственно, толщину пленки. В такой конструкции головки не образуются застойные зоны, и достигается плавное регулирование профиля формирующей щели.

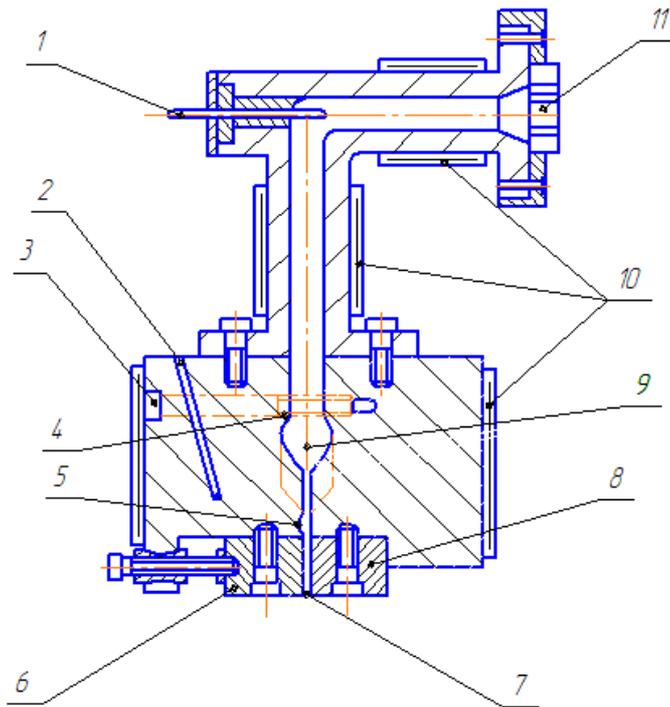


Рис. 4.38. Конструкция головки для изготовления плоской пленки с каплеподобным каналом и каналом для охлаждения: 1 – термопары для расплава; 2 – паз для термопар; 3 – соединительный винт; 4 – паз; 5 – второй распределительный канал; 6 – подвижная губка; 7 – профильный канал шириной 0,5 мм; 8 – неподвижная губка; 9 – каплеподобный распределительный канал; 10 – нагреватели; 11 – решетка

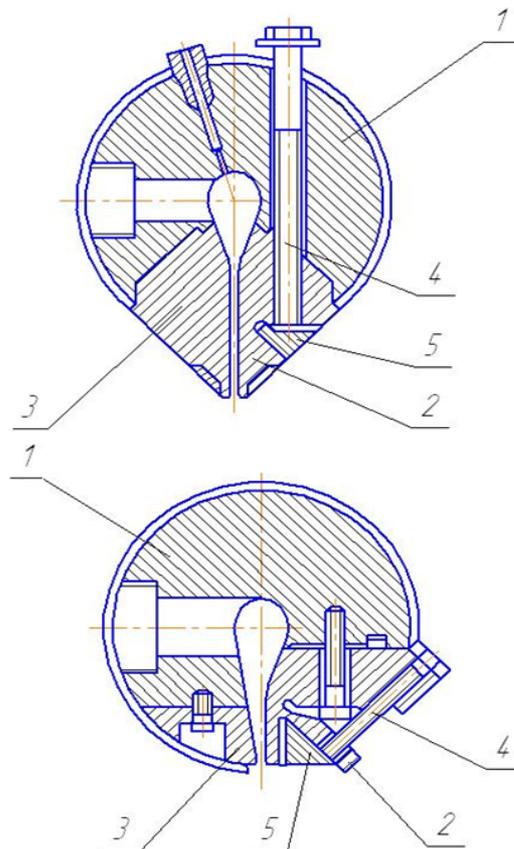


Рис. 4.39. Сечение головок с устройствами для регулирования высоты щели: 1 – корпус головки; 2 – упруго-деформируемая губка; 3 – неподвижная губка; 4 – болт, регулирующий высоту щели; 5 – промежуточный клин

Головки с упруго-деформируемыми губками имеют преимущества над головками с регулирующими планками, поскольку на выходе из щели расплав не имеет следов от стыков соседних планок. При высоких давлениях применяют головки с регулирующими планками, поскольку головки с упруго-деформируемыми планками при высоких давлениях деформируются выше допустимых значений.

При применении регулирующих устройств возможно образование неоднородного потока, вследствие того, что разные области потока полимера движутся всередине головки с разными градиентами скорости. Расположение разных конструкций преград должно обеспечить нахождение потока в формирующем канале в течении определенного времени, необходимого для релаксации полимера. Для этого длина канала головки должна обеспечить это время.

По мнению авторов работ [27; 35; 50], при ламинировании широкого полотна с достаточной равномерностью хорошие результаты показывают головки треугольного типа («рыбий хвост») с упруго-деформируемой планкой и формирующими губками. Однако проектирование таких головок на современном этапе является сложным. Это вызвано тем, что сейчас нет методик расчета головок, которая обеспечивает проектирование головки с равномерностью покрытия 90 % при его ширине более чем 2 метра.

Анализ конструкций плоскощелевых головок позволяет сформулировать основные требования, которым они должны отвечать. К числу требований следует отнести:

1. Конструкция головки должна обеспечивать трансформирование поперечного сечения с целью придания ему формы изделия.

2. Конфигурация и геометрические размеры канала головки профилирующей щели должны изготавливаться с учетом развития высокоэластических деформаций в процессе формования, обеспечивать ускорение релаксационных процессов.

3. Конфигурация каналов головки должна исключать резкие переходы и образование зон застоя.

4. Конструкция головки должна обеспечивать качественное смешение и гомогенизацию расплавов полимеров.

5. Конструкция головки должна быть достаточно прочной и обеспечивать при рабочем давлении неизменное сечение проточной части внутренних каналов головки.

6. При экструзии высоковязких полимеров каналы головки должны быть минимального объема, а при переработке нетермостойких материалов – обеспечивать минимальное время пребывания полимера в каналах головки.

7. При выборе конструкции головки необходимо учитывать и другие факторы: стоимость, долговечность работы головки и сложность изготовления головки, возможность производства на ней разных по толщине пленок из разных марок полимеров, простоту ее разборки при чистке. В ряде

случаев необходимо обеспечить длительную работу головки без чистки. Рабочие поверхности внутренних каналов головки должны быть с высокой чистотой обработки и иметь коррозионно-стойкое покрытие.

8. Конструкция головки должна обеспечивать регулирование распределения объемного расхода материала по сечению потока и быть достаточно прочной, что обеспечить при рабочем давлении неизменное сечение формирующей части головки.

При всей важности перечисленных выше требований к плоскощелевым головкам основным требованием является обеспечение ими равномерной толщины полимерной пленки по ее ширине. Это требование решается рациональным конструированием формирующих каналов головки. Поэтому разработка оптимальной конструкции головки является довольно сложной задачей и имеет практическое решение.

Рассмотрим типовую конструкцию плоскощелевой головки типа «рыбий хвост».

В такой головке расплав полимера, проходя коллекторные каналы и щели, преобразуется в пленку, которая между головкой и охлаждающим валком вытягивается. Конструкция промышленной плоскощелевой головки показана на рис. 4.40.

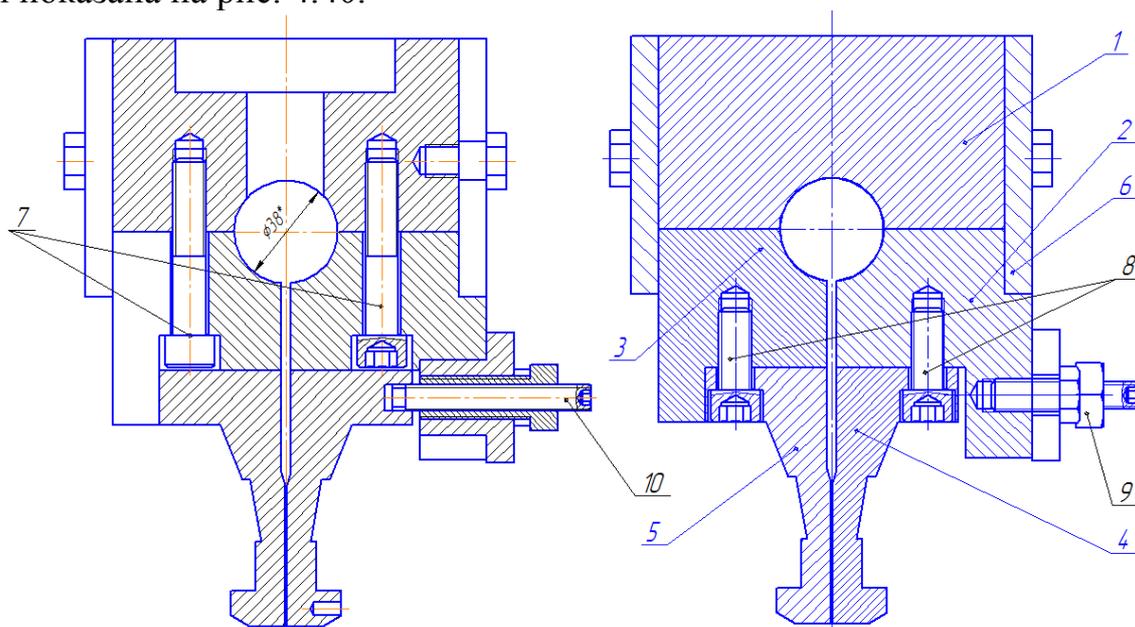


Рис. 4.40. Разрезы плоскощелевой головки: 1 – корпус; 2 – правая полугубка; 3 – левая полугубка; 4 – правая губка; 5 – левая губка; 6 – нагреватель; 7, 8 – крепежные болты; 9, 10 – регулирующие болты и винты

Основной базовой частью плоскощелевой головки является корпус 1, к которому болтами 7, 8 крепятся остальные детали головки, а именно: правая 2 и левая 3 полугубки, правая 4 и левая 5 губки, нагреватели 6. Регулирующие болты 9 и винты 10 используются для регулирования толщины формирующей щели.

Корпус с двух сторон покрыт теплоизолирующим материалом в виде прямоугольных пластин, которые присоединяются к нему болтами. Корпус

имеет ряд отверстий для присоединения контролирующих устройств (термопар, манометров).

Геометрические размеры формующих каналов промышленной головки приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

*Геометрические размеры внутренних каналов плоскощелевой головки*

Название геометрического размера	Размеры плоскощелевой головки, м
Диаметр входного патрубка	0,076
Длина входного патрубка	0,15
Диаметр коллектора на входе	0,06
Диаметр коллектора на выходе	0,04
Угол наклона коллектора к горизонту	6
Толщина узкой щели	0,000238
Толщина переходной щели	0,0015
Длина наиболее узкой щели	0,076
Ширина головки	2,1
Конечная высота положения коллектора	0,005
Прогиб губки	0,000003

Главным требованием к конструкции плоскощелевой головки является ее способность равномерно распределять полимер по всей длине, что определяется коэффициентом равнотолщинности. Известно [27; 35; 50], что коэффициент равнотолщинности пленки или ламинированного материала зависит от конструкции плоскощелевой головки и технологических параметров, при которых производится пленка. Так, на одной и той же плоскощелевой головке при различных технологических параметрах проведения процессов производится полимерная пленка с различной средней толщиной и различными коэффициентами равнотолщинности. К технологическим параметрам принадлежит тип полимера, температура расплава полимера, входное давление, скорость ламинирования материала. Чтобы определить влияние указанных параметров на толщину пленки можно проводить исследования на экспериментальной установке или проводить исследования с помощью математической модели движения полимера в плоскощелевой фильере. Следует отметить, что математическое моделирование имеет преимущества, потому что позволяет исследовать не только влияние технологических параметров, но и определить оптимальные геометрические размеры внутренних каналов плоскощелевой головки.

Анализ публикаций [27; 35; 44; 45; 50] показал, что в данный момент не существует математических моделей и расчетных формул, которые позволяют определить геометрические размеры внутренних каналов плоскощелевой головки, которые позволяют производить пленку равной толщины по ее ширине с учетом технологических параметров проведения процесса (давления, температуры).

При разработке математической модели течения полимера расплава в формирующих каналах головки сделаны допущения: расплав является несжимаемой жидкостью; течение ламинарное; гравитационные силы

настолько малы, что ими можно пренебречь; на месте контакта жидкости со стенками головки нет никакого проскальзывания.

Для моделирования движения полимера в каналах плоскощелевой головки представим ее состоящей из отдельных элементарных геометрических участков. Так, коллектор представим в виде конусных труб разных диаметров, а щели, которые создаются пластинами, представим в виде плоских прямоугольных призм (рис. 4.41). Из этих объектов можно получить практически любой профиль каналов плоскощелевой головки. Основные геометрические обозначения головки, которые используются в математической модели, представлены на рис. 4.41. Для каждой области можно написать уравнение объемных расходов полимера через поперечный разрез участка, когда известно значение перепада давления на участке или, наоборот, определить перепад давления при известном значении объемного расхода полимера.

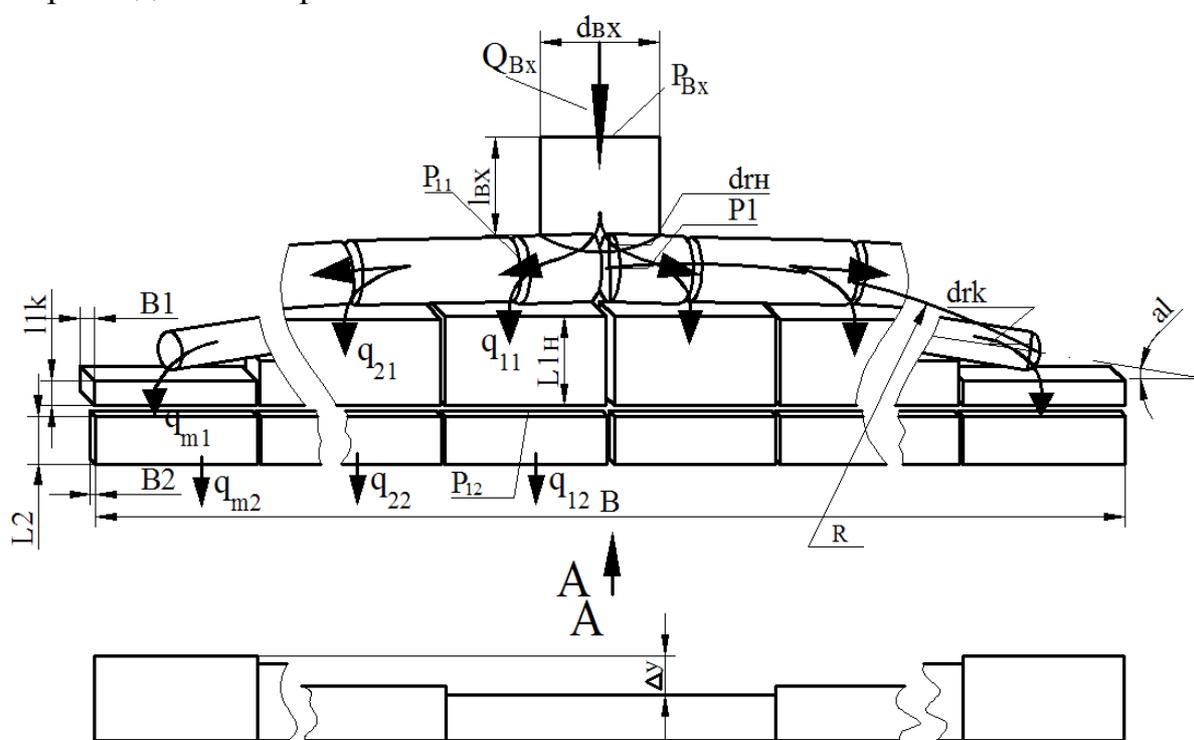


Рис. 4.41. Расчетная схема плоскощелевой головки:  $d_{\text{ex}}$  – диаметр входного патрубка;  $Q_{\text{ex}}$  – входной объемный расход;  $P_{\text{ex}}$  – входное давление;  $l_{\text{ex}}$  – длина входного патрубка;  $P_1$  – давление на входе в коллектор;  $d_{rH}$  – диаметр коллектора на входе;  $d_{rk}$  – диаметр коллектора на выходе;  $P_{11}$  – давление в конце первого участка коллектора;  $P_{12}$  – давление в конце первой широкой призмы;  $\alpha$  – угол наклона коллектора к горизонту;  $B_1$  – ширина широкой щели;  $B_2$  – ширина узкой щели;  $L_{1H}$  – начальная высота широкой призмы;  $L_{1k}$  – конечная высота широкой призмы;  $L_2$  – высота узкой призмы;  $V$  – длина головки;  $R$  – радиус кривизны коллектора;  $\Delta y$  – прогиб губки

Следует отметить, что для создания равномерности вытекания полимера из головки конечная губка (щель  $B_2$ ) имеет в середине прогиб величиной  $\Delta y$ . В этом случае математическая модель будет иметь вид системы уравнений (4.1)–(4.13).

Первые три уравнения – это объемные расходы через сечение трубы (4.1), через плоскую щель (4.2) и через коническую трубу (4.3). Следует отметить, что эти уравнения получены для случая степенной зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига (уравнение 4.14), которая имеет место для полиэтиленов [27; 35; 44; 50]

$$Q_m = \frac{\pi n R^{\frac{3n+1}{n}}}{(3n+1)} \left( \frac{dp}{2\mu_0 dx} \right)^{1/n} \quad (4.1)$$

$$Q_{щ} = \frac{nh^{\frac{2n+1}{n}}}{(2n+1)} \left( \frac{1}{\mu_0} \frac{dp}{dx} \right)^{1/n} \quad (4.2)$$

$$Q_x = \frac{\pi\mu_0}{2^{2n+3}(n+3)} \left[ \frac{6\Delta p t g \alpha}{n \left[ \frac{1}{d_2^{3n}} - \frac{1}{d_1^{3n}} \right]} \right]^n \quad (4.3)$$

$$\Delta p_m = \xi \rho \frac{v^2}{2} \quad (4.4)$$

$$Q_{BX} = 2 \sum_{i=1}^m q_{i2} \quad (4.5)$$

$$q_{i2} = q_{i1} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.6)$$

$$\mu_0 = A e^{E/RT} \quad (4.7)$$

$$n = cT^2 + dT + T \quad (4.8)$$

Геометрические размеры головки

$$d_{BX}, l_{BX}, al, drn, drk, B1, B2, l1k, L2, \Delta y, B, \quad (4.9)$$

$$b = b_0 - l \frac{1-f}{\sqrt{1-(1-f)^2}} \quad (4.10)$$

$$\delta_1 = \delta_0 \frac{b_0 v_0}{b v_1} \quad (4.11)$$

$$\text{Условия:} \quad \text{Граничные:} \quad \begin{array}{l} \text{Давление на входе } P_{BX} \\ \text{Давление на выходе } P_{ВыX} \end{array} \quad (4.12)$$

$$\text{Начальные: } T = f_T(l_1) \quad \text{где } l_1 = i \frac{B}{m} \quad (4.13)$$

$$\tau = \mu_0 \dot{\gamma}^n = \mu_0 \left( \frac{dv}{dx} \right)^n, \quad (4.14)$$

где  $\tau$  – напряжение сдвига;  $\mu_0$  – "условная" вязкость;  $\dot{\gamma}$  – скорость сдвига;  $v$  – скорость течения полимера;  $x$  – начальная координата;  $n$  – индекс течения.

Уравнение (4.4) системы позволяет вычислить местные сопротивления, которые возникают через сужение каналов, повороты и т. д.

Аналитически решить систему уравнений, которая описывает движение полимера по элементарным участкам, из которых состоит плоскощелевая головка, не представляется возможным. Для большинства элементарных участков неизвестными являются расходы и перепады давления на них. Следовательно, необходимо добавить уравнения, которые сделают систему статически определимой. Такими уравнениями являются уравнения баланса расходов в целом для всей головки (4.5), в которой  $Q_{BX}$  – расходы на входе в головку;  $q_{i2}$  – расходы на выходе  $i$ -го участка узкой прямоугольной щели;  $2m$  – количество разбиений головки на элементарные призмы по ее ширине, и уравнение баланса расходов на отдельных участках между широкой и узкой щелями (4.6) прямоугольного вида, в этом уравнении  $q_{i1}$  – расходы на выходе  $i$ -го участка широкой прямоугольной щели.

Уравнения (4.7)–(4.8) описывают зависимость вязкости и индекса течения от температуры. Уравнения (4.10)–(4.11) позволяют определить ширину  $b$  и толщину  $\delta_l$  пленки в результате ее вытяжки [27; 35; 50; 51]. Начальные и граничные условия приведены в уравнениях (4.12)–(4.13).

В процессе расчета плоскощелевой головки ее геометрические и технологические параметры процесса формования (давление перед головкой  $P_{BX}$ , давление на выходе из головки  $P_{BIX}$ , распределение температур полимера в середине головки по ее длине  $T=fT(l_i)$ ) рассматриваются как известные. В основу расчета положен баланс давлений и баланс расходов при полученных давлениях по всем участкам и по всей головке в целом. Идея такого баланса заключается в том, что задается значение давления  $P_1$  (в пределах от 0 до  $P_{BX}$ ) после первого участка цилиндрической трубы. После этого рассчитываются расход полимера  $Q_{BX}$  на выходе цилиндрической трубы длиной  $l_{BX}$  по первому уравнению (4.1) системы. Полученные расходы полимера  $Q_{BX}$  распределяются равными частями на два наклоненных конических канала, потому что головка считается симметричной. Расход  $Q_{BX}/2$  и входное давление  $P_1$  известны, что позволяет по уравнению (4.3) системы рассчитать давление в конце конического канала  $P_{11}$ . Для определения расходов полимера  $q_{11}$  на первом участке широкой щели задаем давление  $P_{12}$  в пределах от 0 до  $P_1$ . Используя уравнение (4.2) системы, рассчитаем  $q_1$ . Аналогично рассчитаем расход на узкой щели  $q_{12}$  по уравнению (4.2) системы, с учетом того, что давление на входе этой щели  $P_{12}$ , а на выходе из головки избыточное давление  $P_{BIX}$  равняется нулю. Учитывая, что затраты на широкой щели и расход на узкой щели будут равными, методом дихотомии необходимо изменять давление  $P_{12}$  таким образом, чтобы выполнялось равенство уравнения (4.7)  $q_{11}=q_{12}$  с заданной точностью (ошибка не должна превышать значение  $\Delta q=1,0 \cdot 10^{-11}$ ). Следует отметить, что эта разность дает отклонение на выходе меньше 0,0001 % по расходам полимера.

После определения затрат на первом участке щели  $q_{11}$  определяется расход на втором коническом канале как разница  $Q_{BX}/2 - q_{11}$ . После этого можно рассчитать давление в конце второго участка конического канала  $P_{21}$ , процесс расчета повторяется для второго участка щели и так далее до последнего

участка. После проведенных расчетов имеем значения расходов на всех участках на выходе из головки. Далее проводим проверку на равенство расходов на входе и на выходе из головки – уравнение (4.5) системы. Принимаем точность баланса расходов на выходе и входе из головки ( $\Delta q = 1,0 \cdot 10^{-6}$ ), которая не должна превышать по общему расходу 0,01 %. Если расход на входе превышает расход на выходе, то величину давления  $P1$  необходимо увеличить, если наоборот, расход на входе меньше чем на выходе, то давление  $P1$  необходимо уменьшить. Для нахождения значения давления, при котором будет сохраняться с заданной точностью баланс расходов на входе и выходе головки, применим численный метод дихотомии.

Полученные расходы на выходе плоскощелевой головки позволяют рассчитать по уравнениям (4.10)–(4.11) толщину и ширину пленки на выходе при известном значении скорости ( $v_0$ ) наматывания пленки или материала, который ламинируется.

Таким образом, в целом, для всей головки на каждом участке будет сохраняться баланс давлений и расходов полимера.

Алгоритм решения поставленной задачи представлен в виде блок-схемы (рис. 4.42). На основе приведенного алгоритма разработана программа на алгоритмическом языке Delfi (рис. 4.43) для нахождения давлений и расходов для всей головки при известных значениях геометрических размеров внутренних каналов плоскощелевой головки, где движется расплав полимера и технологических параметров проведения процессов формирования пленки. Необходимо отметить, что для оценки равномерности распределения расплава полимера на выходе из головки используем коэффициент равномерности ( $k$ ), который рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{q_{i2\min} \cdot b_0 \cdot v_0}{q_{i2\max} \cdot b \cdot v_1} \quad (4.15)$$

где  $q_{i2\min}$ ,  $q_{i2\max}$  – расходы минимальный и максимальный соответственно на выходе головки;  $b_0$ ,  $b$  – ширина пленочного материала на выходе из головки и на охлаждающем устройстве;  $v_0$ ,  $v_1$  – скорость полимера на выходе из головки и на охлаждающем устройстве.

При проведении расчетов в качестве базовых параметров приняты геометрические величины внутренних каналов промышленной плоскощелевой головки, которые приведены в табл. 4.5, и также указан диапазон их изменений.

Учитывая, что при ламинировании чаще всего используется полиэтилен марки 15802-020, все дальнейшие расчеты проведены для марки этого полиэтилена. Технологические параметры, такие как входное давление, температура, скорость ламинированного материала изменялись в диапазонах, приведенных в табл. 4.6.

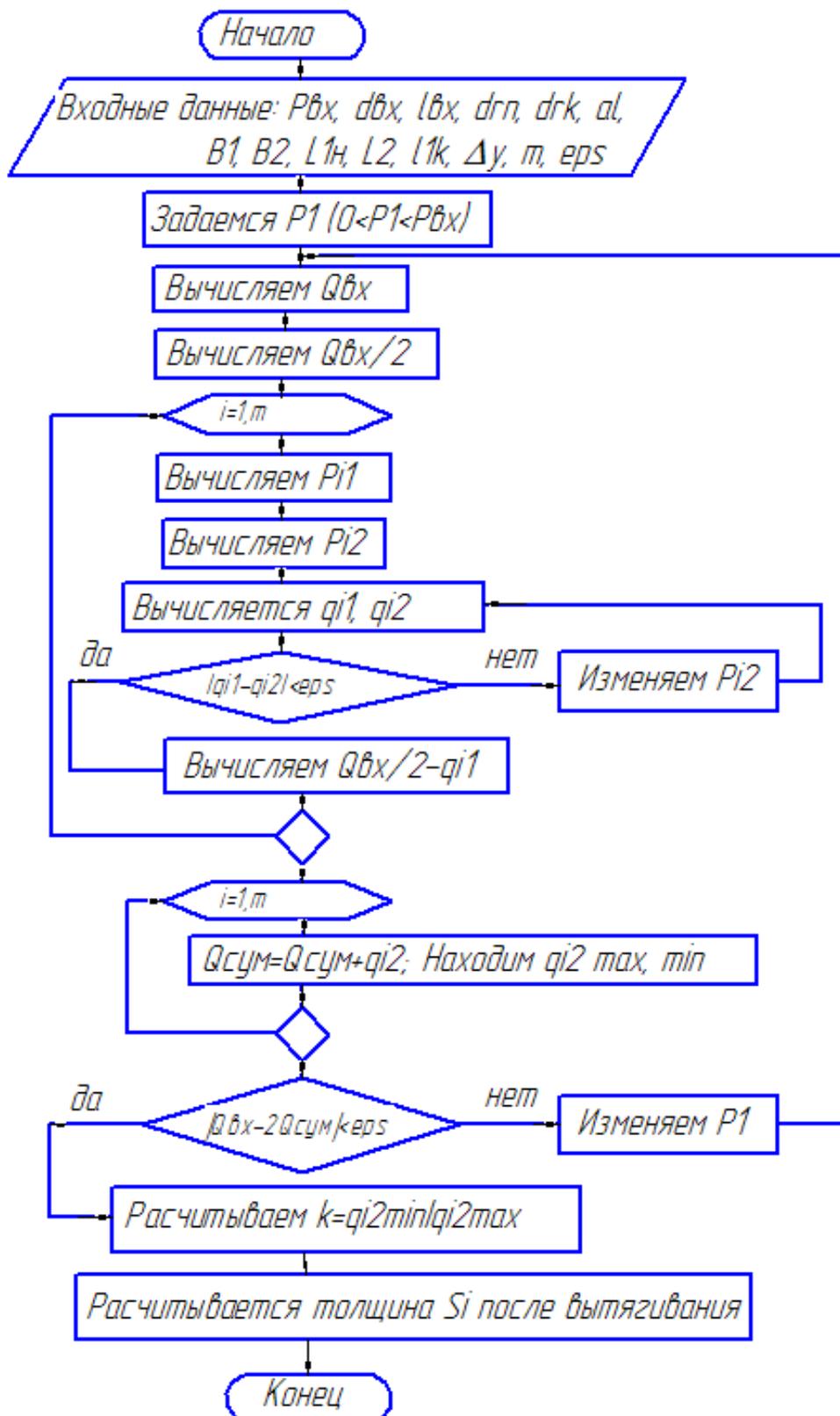


Рис. 4.42. Принципиальная блок-схема расчета толщины пленки

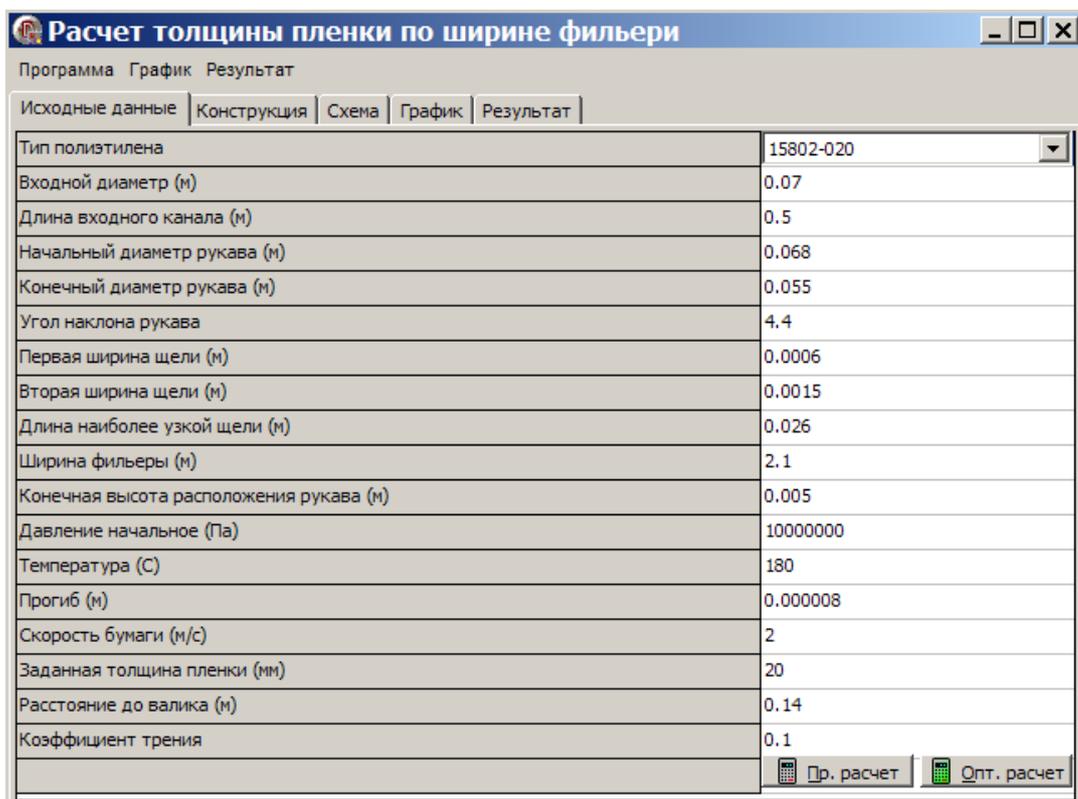


Рис. 4.43. Программа для расчета толщины пленки по ширине головки

Таблица 4.5

Геометрические параметры внутренних каналов плоскощелевой головки

Наименование показателей	Обозначения	Размерность	Базовое значение	Диапазон изменений параметра
Входной диаметр трубы подвода полимера	dvx	м	0,07	-
Длина трубы подвода	Lvx	м	0,3	-
Диаметр рукава начальный	dgn	м	0,068	0,03-0,08
Диаметр рукава конечный	drk	м	0,055	0,03-0,06
Угол наклона рукава	al	град.	6	4-10
Первая ширина щели	B2	м	0,0004	0,0002-0,0007
Вторая ширина щели	B1	м	0,0015	0,001-0,008
Длина узкой щели	L2	м	0,058	0,02-0,08
Ширина головки	B	м	2,1	-
Конечная высота размещения рукава	lk	м	0,005	0,002-0,01
Прогиб губки головки	Δy	м	0,000008	0,000002-0,00001

Таблица 4.6

Диапазон изменений технологических параметров

Наименование показателей	Обозначение	Размерность	Базовое значение	Диапазон изменений параметров
Входное давление в головке	P	МПа	12	10-14
Входная температура	T	°C	250	230-260
Скорость ламинирования	v	м/с	1,8	1,6-2,0

Изменяя геометрические размеры головки, можно исследовать, как эти параметры влияют на толщину пленки при ламинировании и на ее равнотолщинность.

Обработка результатов расчетов позволяет провести анализ влияния геометрических размеров внутренних каналов плоскощелевой головки на равнотолщинность пленки полимера на выходе из головки, а также исследовать, как изменяется толщина пленки по центру и на краях головки.

На рис. 4.44 показано, что с увеличением угла наклона коллектора толщина пленки на краях головки не изменяется, а в центре головки резко уменьшается.

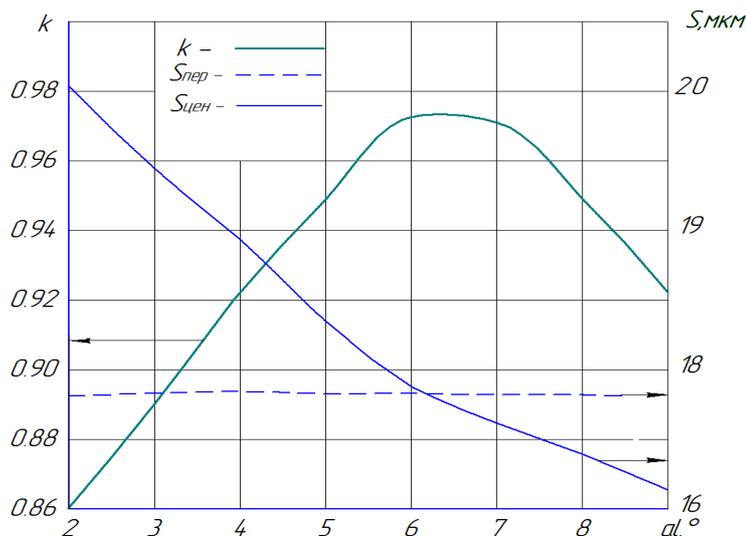


Рис. 4.44. Зависимость коэффициента равнотолщинности ( $k$ ) и толщины пленки полимера в центре ( $S_{\text{цен}}$ ) и на краю щели ( $S_{\text{пер}}$ ) головки от угла наклона коллектора ( $\alpha$ )

Из графика видно, что существует оптимальное значение угла наклона рукава ( $\alpha=6,4^\circ$ ), при котором коэффициент равнотолщинности пленки полимера будет наилучшим (близким к 1).

Влияние узкой ширины щели ( $B2$ ) показано на рис. 4.45. Увеличение узкой ширины щели приводит к увеличению толщины пленки в центре головки и на ее концах. При этом существует оптимальное значение ( $B2$ ), при котором значение коэффициента равнотолщинности ( $k$ ) будет наилучшим.

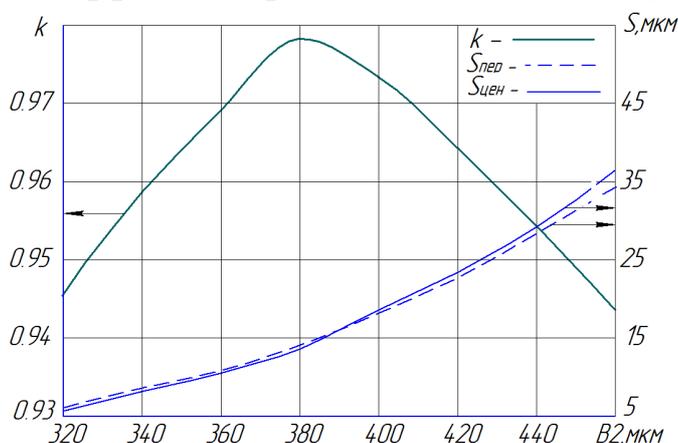


Рис. 4.45. Зависимость коэффициента равнотолщинности ( $k$ ) и толщины пленки полимера в центре ( $S_{\text{цен}}$ ) и у края щели ( $S_{\text{пер}}$ ) головки от первой ширины щели ( $B2$ )

Таким образом, программа позволяет исследовать влияние геометрических параметров головки на ее толщину и равномерность. Расчеты показали, что такие геометрические параметры, как угол наклона коллектора ( $\alpha_l$ ), конечный диаметр рукава ( $d_{rk}$ ), первая (B2) и вторая (B1) ширина щели значительно влияют на равномерность толщины пленки по ее ширине. Поэтому их расчет при проектировании головки особенно важен. Компенсировать неправильно рассчитанные геометрические размеры внутренних каналов головки прогибом губки не всегда возможно.

Влияние технологических параметров (давления и температуры) на толщину пленки и на равномерность распределения толщины по ширине, приведено на рис. 4.46 и 4.47. Как видно из этих рисунков, технологические параметры незначительно влияют на коэффициент равномерности ( $k$ ), а их влияние на толщину пленки значительное.

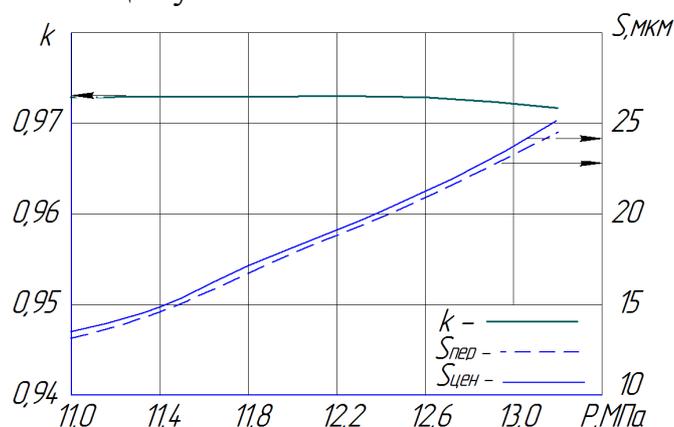


Рис. 4.46. Зависимость коэффициента равномерности ( $k$ ) и толщины пленки полимера в центре ( $S_{цен}$ ) и на конце ( $S_{пер}$ ) головки от давления ( $P$ )

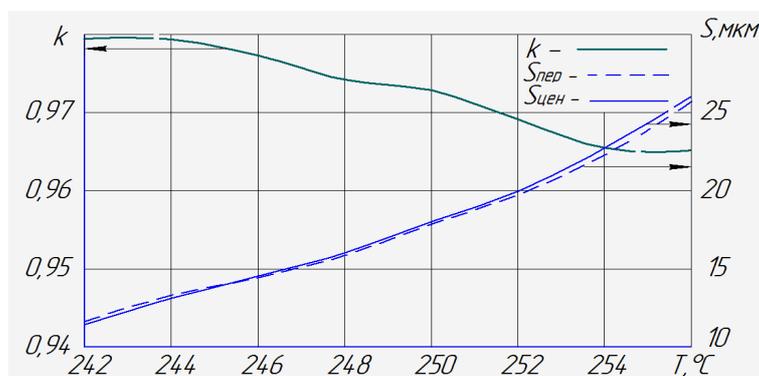


Рис. 4.47. Зависимость коэффициента равномерности ( $k$ ) и толщины пленки полимера в центре ( $S_{цен}$ ) и на конце ( $S_{пер}$ ) головки от температуры ( $T$ )

Учитывая, что приведенные геометрические параметры влияют на расход полимера по ширине головки, найти аналитически их оптимальные значения невозможно. Для определения оптимальных геометрических параметров головки, при которых расход полимера вдоль щели будет одинаковым, необходимо выбрать целевую функцию оптимизации.

В качестве целевой функции оптимизации предлагается уравнение:

$$F = a_1 \cdot (1 - k)^2 + e \cdot \sum_i^{2m} (S_i - S_{зад})^2, \quad (4.16)$$

где  $F$  – целевая функция;  $a_1, e$  – коэффициенты;  $2m$  – количество разбиений плоскощелевой головки по ширине;  $S_i$  – толщина пленки на  $i$ -ом участке;  $S_{зад}$  – заданная толщина пленки.

Целевая функция состоит из двух составляющих: первая составляющая – это неравномерность толщины пленки, вторая составляющая обеспечивает необходимую среднюю толщину пленки. Использование только первой составляющей приведет к тому, что конечная толщина щели будет равняться нулю.

Значения коэффициентов  $a_1$  и  $e$  определяются конструктором в зависимости от свойств получаемой пленки. При возрастании коэффициента  $e$  накладываются жесткие условия на толщину; при его уменьшении – накладываются жесткие условия на равномерность расхода полимера по ширине головки.

Для нахождения оптимальных значений геометрических параметров плоскощелевой головки по уравнению (4.16) использовался метод покоординатного спуска.

Сопоставление результатов, полученных на основании предложенной математической модели и на экспериментальной и промышленной установках, показало, что погрешность не превышает 6–8 %. Таким образом, предложенная математическая модель может быть использована для определения оптимальных геометрических размеров внутренних каналов плоскощелевой головки и для определения технологических параметров (давления и температуры полимера) проведения процессов при получении полимерной пленки заданной толщины.

Как видим, расчет геометрических размеров внутренних каналов головки является трудной задачей. При расчете указанных геометрических параметров расчет ведется с точностью до 1 мкм.

Кроме расчета геометрических размеров внутренних каналов плоскощелевой головки, необходимо выбрать материал, из которого будет изготавливаться плоскощелевая головка, определить толщины губок, выбрать шероховатости поверхностей и т. д.

Выбор марки стали для изготовления головки проводится на основе рекомендаций, приведенных в литературе [27; 44; 45; 50]. Рекомендовано использовать в качестве конструкционного материала легированную нержавеющую сталь марки 12Х21Н5Т.

Шероховатость поверхностей, вдоль которых движется полимер, выбирается на основе опыта эксплуатации плоскощелевых головок, которые предназначены для изготовления пленки и полимерных волокон.

Как указывают авторы [27; 44; 45; 50], наиболее приемлемой шероховатостью внутренних поверхностей головки и рабочей плоскости так называемого зеркала головки является шероховатость 0,32 мкм, которая достигается обработкой поверхности полированием. Кроме того, указанные поверхности хромируют. Другие поверхности, по которым происходит прилегание упруго-деформируемой и неподвижной губок, изготавливаются с шероховатостью 0,63 мкм [50], которая обеспечивает их плотное прилегание и не допускает вытекание полимера в промежутке между губками.

Точность изготовления деталей, которая определяет размер щели формирующего канала, должна быть не ниже 2 мкм.

Кромки щели со стороны зеркала головки не должны иметь повреждений и задигов, радиус округлений кромок на выходе из головки не должен превышать 4 мкм [27; 50].

#### *Расчет на прочность плоскощелевой головки*

При работе плоскощелевой головки из-за высокого давления полимера может происходить ее раскрытие в центральной части, что приведет к образованию максимального изгибающего момента, действующего на губку. Поэтому проводится расчет для наихудшего случая, когда краевые эффекты от действия стягивающих болтов не учитываются.

Выделим из губки плоскощелевой головки полосу шириной  $b$  и рассчитаем из условия прочности толщину губки  $h$ . На рис. 4.48 изображена схема распределения нагрузки на плоскости губки [27; 35; 50].

Считаем, что распределение давления на участке  $l$  (расстояние от оси расположения стягивающих головку болтов до выхода полимера из головки) подчиняется линейному закону.

Тогда толщина губки  $h$  рассчитывается по формуле:

$$h \geq \sqrt{\frac{P \cdot l^2}{[\sigma_{изг}]}} \quad (4.17)$$

где  $P$  – сила раскрывающая головку;  $l$  – высота губки;  $\sigma_{изг}$  – напряжение при изгибе.

Если толщина губки будет меньше, то будет происходить неконтролируемый ее прогиб, что приведет к неравномерности пленки по толщине.

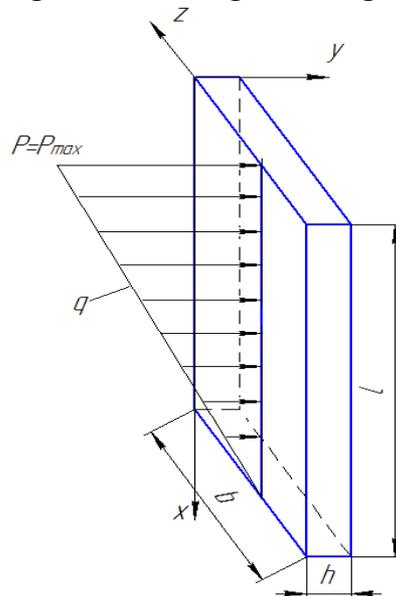


Рис. 4.48. Схема для расчета на прочность губки плоскощелевой головки

#### *Расчет плоскощелевой головки на жесткость*

Под действием давления расплава полимера в центре плоскощелевой головки на ее выходе образуется прогиб губки. Значительный прогиб губки может привести к изменению профиля формирующей щели, вследствие чего изменится толщина пленки. Расчет плоскощелевой головки на жест-

кость проведем с помощью программного пакета COSMOSWorks, который входит в графический пакет Solid Works.

Для проведения расчетов начертим 3D- модель плоскощелевой головки в пакете SolidWorks, которая представлена на рис. 4.49 в разрезе.

После активизации пакета COSMOSWorks выбирается материал, из которого изготавливается головка (рис. 4.50), и указывается распределение давления по граням головки (рис. 4.51).

Выбираются параметры сетки для метода конечных элементов (рис. 4.52). После задания параметров образуется сетка рис. 4.53.

Сравнивая величину и толщину щели, определим прогиб двух губок, который должен составлять:

$$\frac{\omega}{B^2} \text{ не более } 2,0 \%. \quad (4.18)$$

Как показывают расчеты, именно такой прогиб незначительно влияет на распределение полимера по ширине головки.

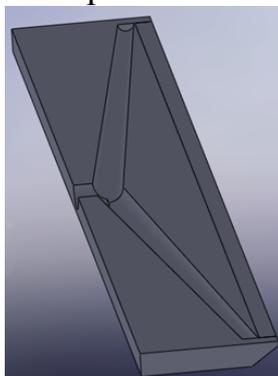


Рис. 4.49. Вид плоскощелевой головки в разрезе, выполненный в графическом пакете SolidWorks

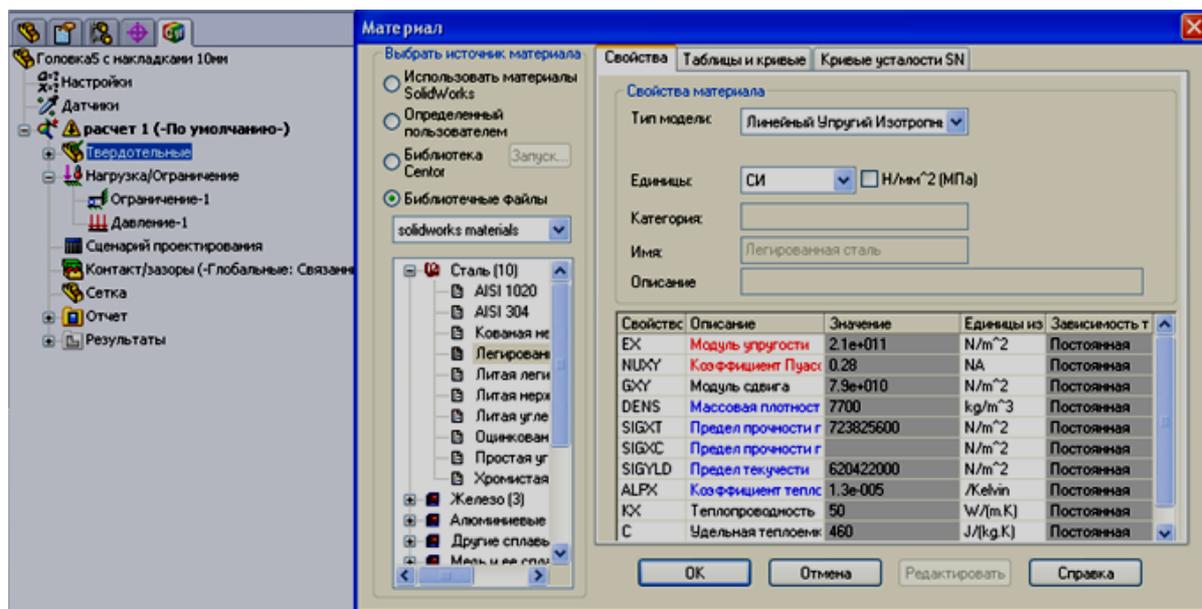


Рис. 4.50. Выбор материала и его свойств в пакете COSMOSWorks

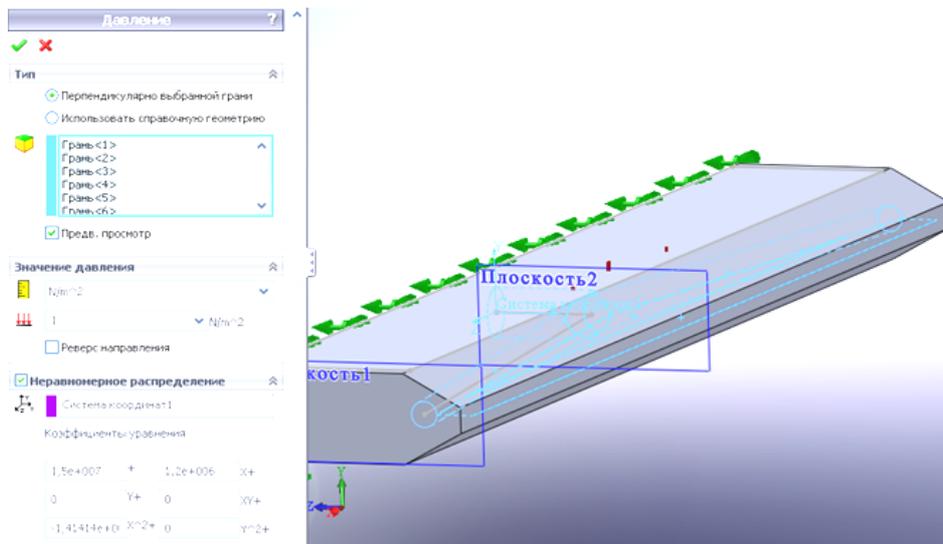


Рис. 4.51. Задание распределения давления по граням плоскощелевой головки в пакете COSMOSWorks

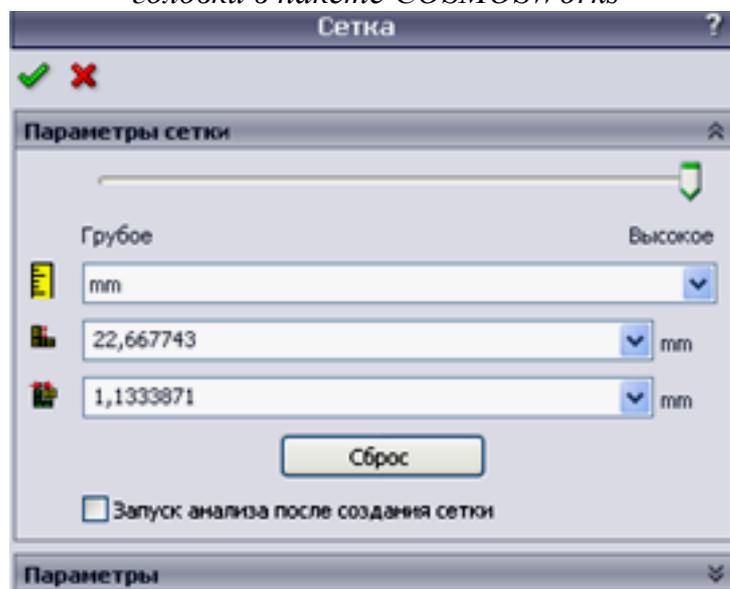


Рис. 4.52. Настройка параметров сетки в пакете COSMOSWorks

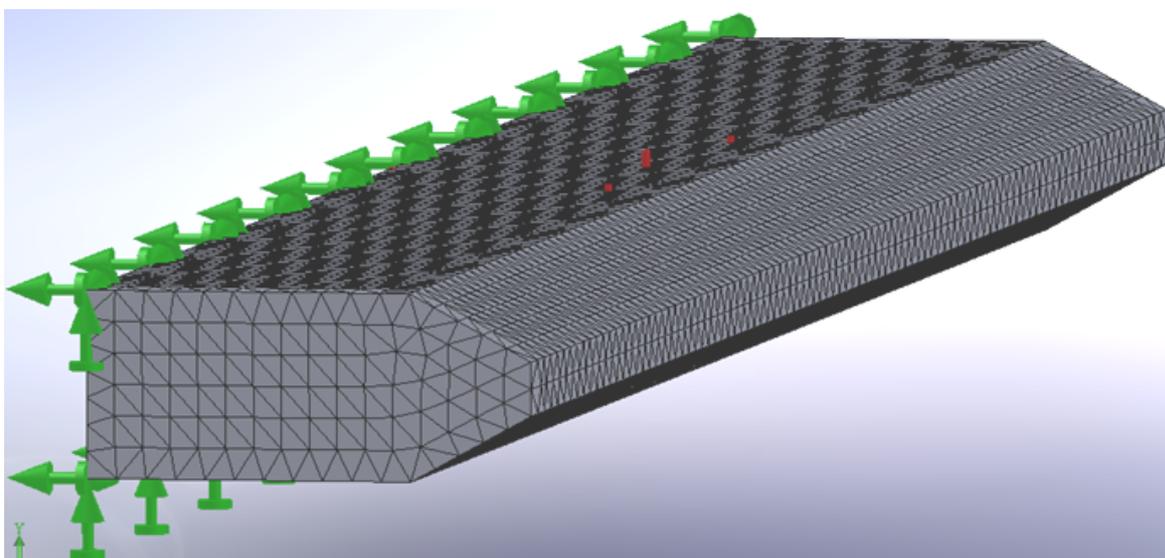


Рис. 4.53. Вид сетки для метода конечных элементов

Расчет в пакете COSMOSWorks перемещений элементов плоскощелевой головки представлено на рис. 4.54.

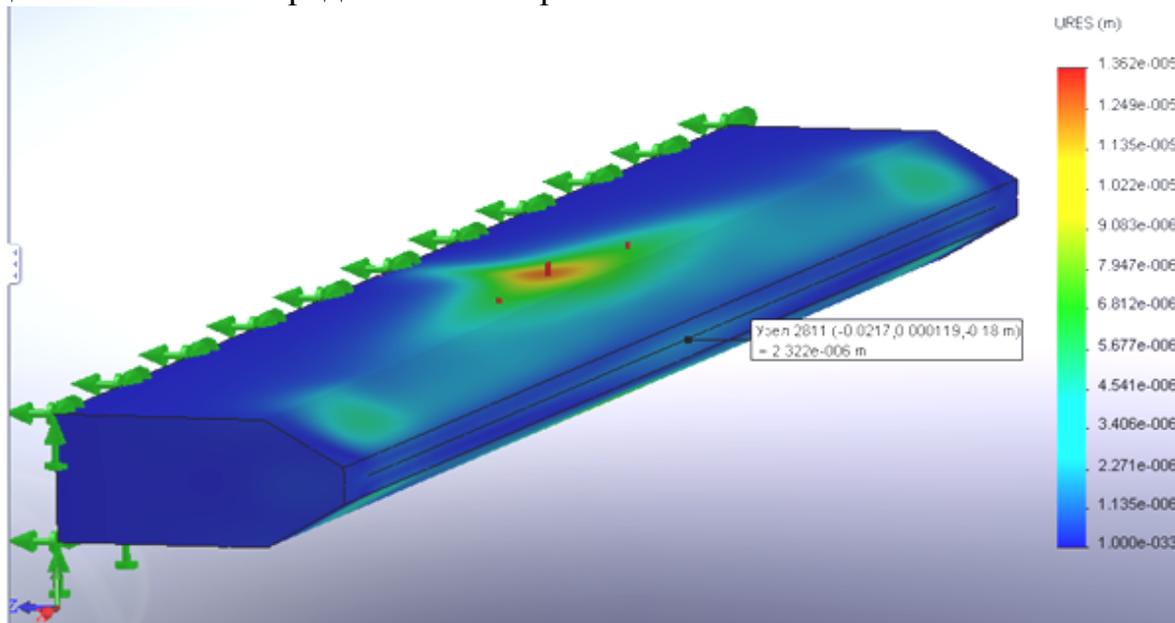


Рис. 4.54. Эпюра перемещений

Как видно из рис. 4.54, перемещения двох губок на выходе из головки будет  $2,32 \cdot 2 = 4,64$  мкм, что составит 1,15 % от двойного значения толщины узкой щели  $2 \cdot B_2 = 404$  мкм. Для определения толщины губки, при которой прогиб губки будет меньше чем 2 % от значения 404 мкм, проведем расчет в пакете COSMOSWorks для разных толщин губок. Величина 2 % была получена из реологических расчетов плоскощелевой головки, которые показали, что увеличение толщины узкой щели по оси головки менее 2 % практически не влияет на реологию движения полимера. Результаты расчетов представлены в виде графика (рис. 4.55). Из графика видно, что при толщине губки больше чем 82 мм толщина выходной щели по центру увеличится меньше чем на 2 %.

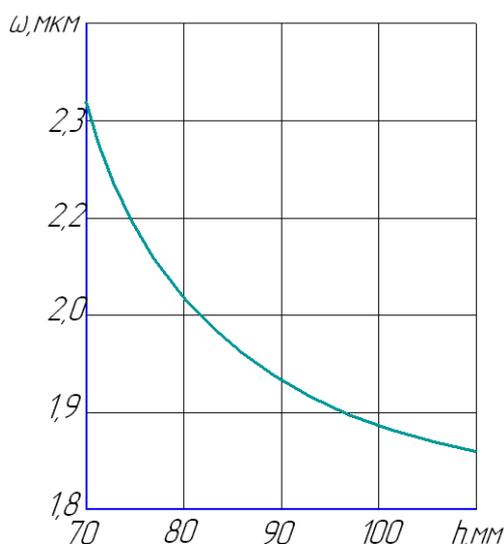


Рис. 4.55. График зависимости прогиба губки ( $\omega$ ) от толщины губки ( $h$ )

Таким образом, пакет COSMOSWorks позволяет определить толщину губок плоскощелевой головки, при которой их прогиб будет меньше заданной

величины 202 мкм. Таким образом, для указанных параметров проведения процесса формирования пленки толщину губок выбираем больше чем 82 мм.

#### *Расчет мощности электронагревателей*

Для проведения технологического процесса ламинирования плоскоцелевая головка должна выйти на стационарный режим работы по температуре в течение получаса [27; 50]. Из этого следует, что количество теплоты  $Q$ , которая необходима для этого, рассчитывается по формуле [50]:

$$Q = C_m \cdot M_\phi \cdot (T_k - T_n), \quad (4.19)$$

где  $C_m$  – теплоёмкость материала головки;  $M_\phi$  – масса головки;  $T_k$  – конечная температура разогрева;  $T_n$  – начальная температура головки.

Масса головки рассчитывается по формуле:

$$M_\phi = h \cdot b \cdot l \cdot \rho_m, \quad (4.20)$$

где  $h$  – высота головки;  $b$  – ширина головки;  $l$  – длина головки;  $\rho_m$  – плотность материала головки.

Мощность электронагревателей определяется по формуле ( $N, \text{Вт}$ )

$$N = \frac{Q}{\tau}, \quad (4.21)$$

где  $\tau$  – время нагрева головки до выхода на стационарный режим.

Из конструктивных особенностей определяется количество электронагревателей. Поделив общую мощность на количество электронагревателей, рассчитаем мощность одного электронагревателя, а потом выбирается ближайшее стандартизованное значение мощности электронагревателя.

### **4.5.3. Пример разработки технического предложения и эскизного проекта ленточного транспортёра**

Этот этап работы выполняется в виде компоновочных схем изделия, эскизов наиболее важных узлов в различных вариантах (3 и более). Они сопровождаются необходимыми описаниями, пояснениями и расчётами, представленными в виде расчётно-пояснительной записки.

Заимствованные узлы и механизмы изображаются на схемах и эскизах тонкими линиями в виде отдельных очертаний без детальной проработки. Важные, принципиальные узлы вычерчиваются с подробностями, необходимыми для их понимания, обсуждения и сравнения. Каждый из вариантов компоновки с эскизами узлов сопровождается текстовыми пояснениями и ориентировочными расчётами.

Разработанные варианты в комплексе рассматриваются и обсуждаются с привлечением специалистов (конструкторов, технологов, смежников) и при необходимости представителей заказчика. Неудачные, неприемлемые варианты, имеющие очевидные недостатки, отбрасываются. Некоторые предложения из забракованных вариантов могут быть внесены в отобранные, перспективные варианты. Перспективные варианты (2 или 3) далее углубленно прорабатываются на этапе эскизного проектирования. Рассмотрим выполнение технического предложения на примере разработки привода ленточного транспортёра (рис. 4.56).

Транспортёр состоит из рамы 9, на верхней площадке которой размещены ведущий 1 и ведомый 12 барабаны. На барабанах располагается транспортёрная бесконечная лента 13, натяжение которой регулируется натяжными устройствами 10. Верхняя ветвь ленты поддерживается роликами 14. Ведущий барабан 1 через звёздочки 2 и 5 приводится во вращение цепью 3, натяжение которой регулируется натяжным устройством. Цепь приводится в движение приводом, состоящим из электродвигателя 8, связанного муфтой 7 с редуктором 6. Кожух 15 ограждает цепь и звёздочки для предотвращения травм персонала.

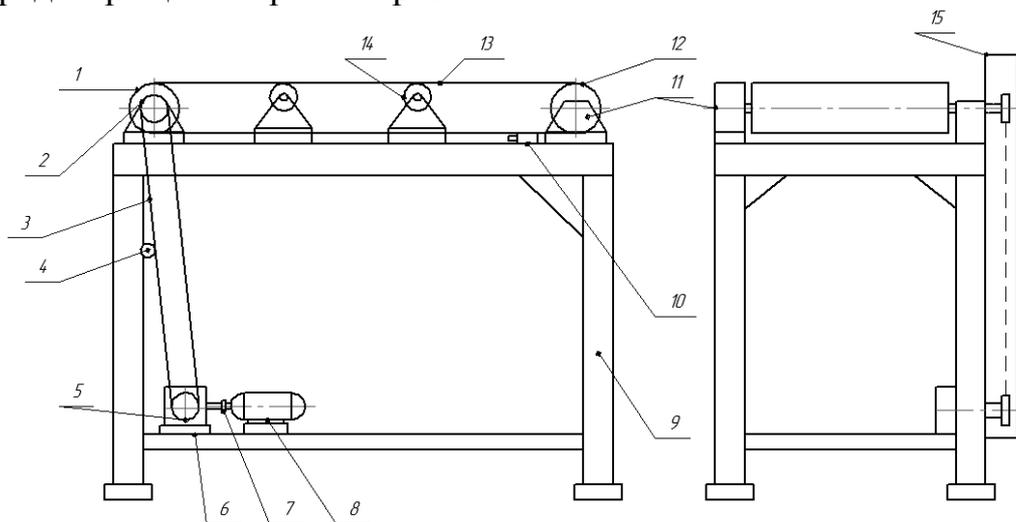


Рис. 4.56. Ленточный транспортёр с цепной передачей: 1 – ведущий барабан; 2 – ведущая звёздочка; 3 – цепь приводная; 4 – натяжное устройство; 5 – ведомая звёздочка; 6 – редуктор червячный; 7 – муфта; 8 – электродвигатель; 9 – рама; 10 – устройство натяжения ленты; 11 – опора подшипниковая барабанов; 12 – ведомый барабан; 13 – лента транспортёрная; 14 – ролик поддерживающий с опорой; 15 – кожух

Показатели назначения из технического задания на разработку приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Показатели транспортёра, необходимые для разработки

Показатель	Размерность	Значение
Скорость транспортёра	м/мин	20–80
Длина транспортёра	м	6
Ширина ленты	м	1
Мощность электродвигателя	кВт	1,5

Следует учитывать, что при разработке промышленного изделия целесообразно использовать узлы и детали, освоенные в производстве на заводе-изготовителе и выпускаемые другими заводами. Это относится в равной мере и к редуктору. Его разработку проводят, если нет возможности применить покупной редуктор или покупные редукторы не удовлетворяют разработчика по каким-либо причинам. В данном пособии мы рассматриваем разработку оригинального редуктора в качестве примера.

Проведём некоторые расчёты для разработки привода транспортёра. Выберем электродвигатель асинхронный мощностью  $N_{дв} = 1,5$  кВт с чис-

лом оборотов  $n_d = 750$  об/мин. Для обеспечения бесступенчатого регулирования скорости ленты предусмотрим питание двигателя от тиристорного преобразователя частоты с  $i_{mч} = 1...4$ . Схема привода с цепной передачей и червячным редуктором показана на рис. 4.57.

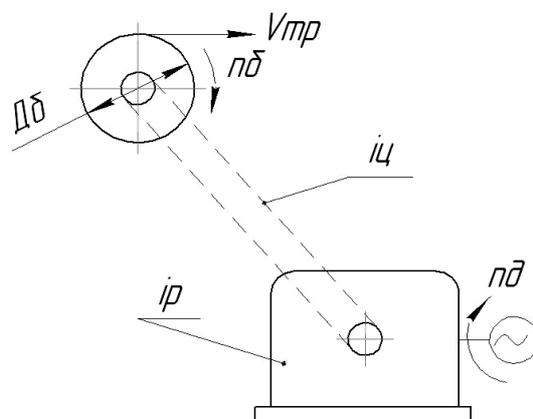


Рис. 4.57. Схема привода с червячным редуктором и с цепной передачей

$$n_{\delta} = \frac{n_{д}}{i_{ц} \cdot i_{р}}, \text{ об/мин};$$

где  $n_{\delta}$  – число оборотов барабана транспортера, об/мин;  $i_{ц}$ ,  $i_{р}$  – передаточные отношения цепной передачи и привода.

В рассматриваемом примере примем передаточное отношение цепной передачи равным  $i_{ц}=1$ , а передаточное отношение привода  $i_{р}=9$ .

Отсюда, подставляя данные, приведённые выше, получим:

$$D_{\delta} = \frac{1000 \cdot V_{mp}}{\pi \cdot n_{\delta}} = \frac{1000 \cdot V_{mp} \cdot i_{н} \cdot i_{ц}}{\pi \cdot n_{д}};$$

$$D_{\delta} = \frac{1000 \cdot 80 \cdot 1 \cdot 9}{3,14 \cdot 750} = 306, \text{ мм} \quad (4.22)$$

Рассмотрим варианты применения в приводе транспортёра червячного, червячно-конического, двухступенчатого цилиндрического и планетарного редукторов. Компоновка привода с червячным редуктором приведена на рис. 4.57. Этот привод прост по конструкции, и в нём используется много покупных комплектующих (цепь, муфта, двигатель, редуктор), однако у него большие габариты, необходимость в регулировке и смазке, наличие открытой цепной передачи, нуждающейся в устройстве кожуха. Для установки и закрепления редуктора и электродвигателя на раме необходимо предусмотреть жёсткую площадку. Поэтому рассмотрим компоновки привода без применения цепной передачи.

При установке червячного редуктора с фланцевым двигателем слева от опоры ведущего барабана увеличивается габарит в продольном направлении транспортёра. Двигатель в этом случае может мешать при работе в зоне загрузки на транспортер (рис. 4.58).

В варианте установки фланцевого двигателя с правой стороны редуктора на двигатель могут попадать частицы транспортируемого продукта с

ленты транспортера, и его надо будет ограждать. В этих случаях редуктор крепится к опоре барабана с использованием привалочной бобышки, устроенной на задней стенке редуктора, винтами или шпильками.

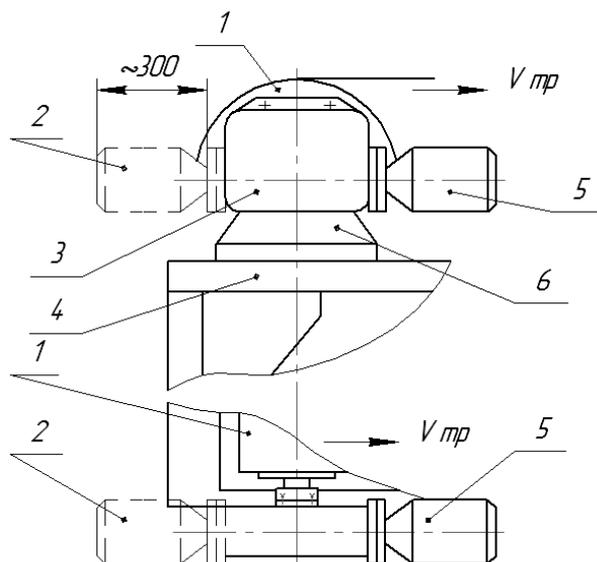


Рис. 4.58. Схема установки привода с червячным редуктором на опоре ведущего барабана: 1 – ведущий барабан; 2 – фланцевый двигатель, установленный с левой стороны; 3 – редуктор; 4 – рама; 5 – вариант установки двигателя с правой стороны редуктора; 6 – подшипниковая опора ведущего барабана

Схема червячного редуктора приведена на рис. 4.59. Как видно из схемы, этот редуктор прост по конструкции, но имеет ряд недостатков. Его коэффициент полезного действия довольно мал ( $\approx 0,7...0,75$ ), что приводит к большим потерям энергии и вызывает значительный нагрев редуктора. Поэтому необходимо принимать меры по его охлаждению. В конструкции редуктора применяются цветные сплавы (материал венца колеса). Эти моменты следует учесть при оценке вариантов выбора оптимального решения.

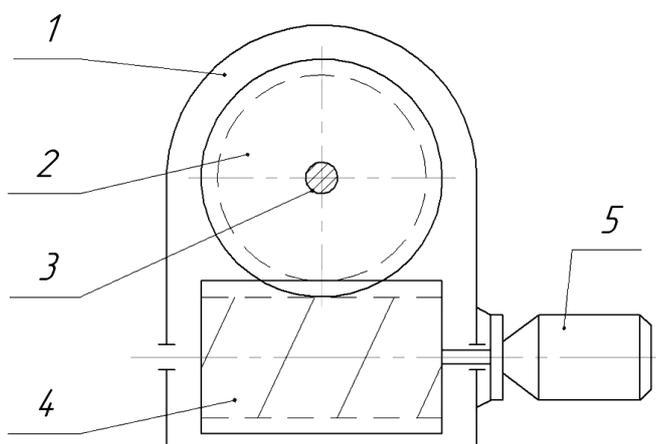


Рис. 4.59. Схема червячного редуктора: 1 – корпус; 2 – червячное колесо; 3 – выходной вал; 4 – червяк; 5 – фланцевый электродвигатель

Для удаления электродвигателя из зоны обслуживания и защиты его от попадания продукта полезно рассмотреть использование червячно-конического редуктора (рис. 4.60).

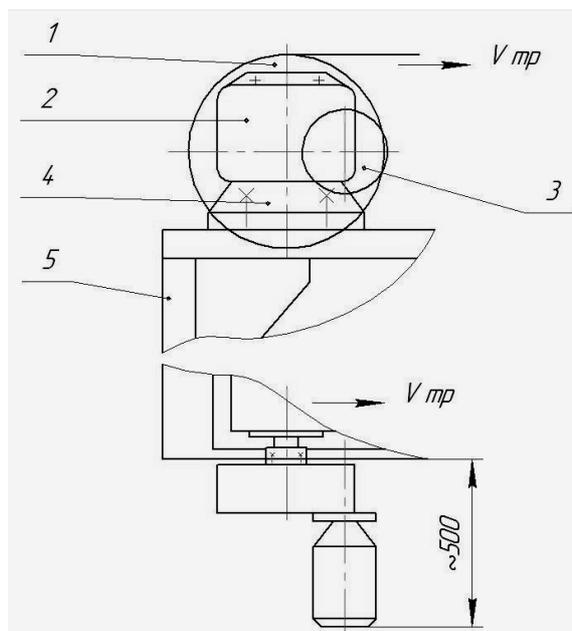


Рис. 4.60. Схема установки привода с червячно-коническим редуктором на основе опоры вала: 1 – ведущий барабан; 2 – редуктор; 3 – электродвигатель фланцевый; 4 – подшипниковая опора; 5 – рама

Схема редуктора, устанавливаемого на опоре ведущего барабана, показана на рис. 4.61.

В конструкции привода может быть также применён двухступенчатый цилиндрический редуктор. В этом случае компоновка привода и его установка на транспортёр не будет отличаться от предыдущей (рис. 4.60).

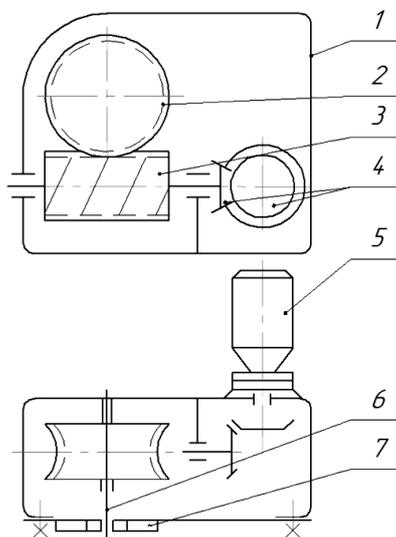


Рис. 4.61. Схема червячно-конического редуктора, устанавливаемого на опоре ведущего барабана: 1 – корпус редуктора; 2 – червячное колесо; 3 – червяк; 4 – коническая пара; 5 – электродвигатель; 6 – выходной вал; 7 – привалочная бобышка (фланец)

Конструктивная схема двухступенчатого редуктора изображена на рис. 4.62.

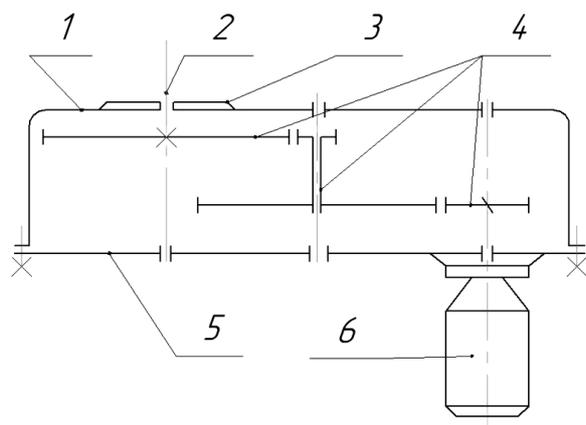


Рис. 4.62. Схема двухступенчатого цилиндрического редуктора, устанавливаемая на опоре ведущего барабана: 1 – корпус редуктора; 2 – выходной вал; 3 – привалочная бобышка; 4 – шестерни; 5 – крышка; 6 – электродвигатель

Как видно из рис. 4.62, этот редуктор проще по конструкции и в изготовлении. Так, для обработки цилиндрических шестерён необходимо наличие на заводе-изготовителе одного типоразмера зубофрезерных станков, тогда как для изготовления червячной пары и конических шестерён потребуется использование зубофрезерных станков трёх типов. По этим причинам, а также в связи с отмеченными ранее недостатками червячных редукторов применение цилиндрического редуктора в данном случае более предпочтительно, однако габариты привода в этом случае возрастают.

С целью дальнейшего изучения компоновки привода транспортёра рассмотрим использование в приводе планетарного редуктора, установленного на опоре соосно с ведущим барабаном. Компоновка этого привода приведена на рис. 4.63.

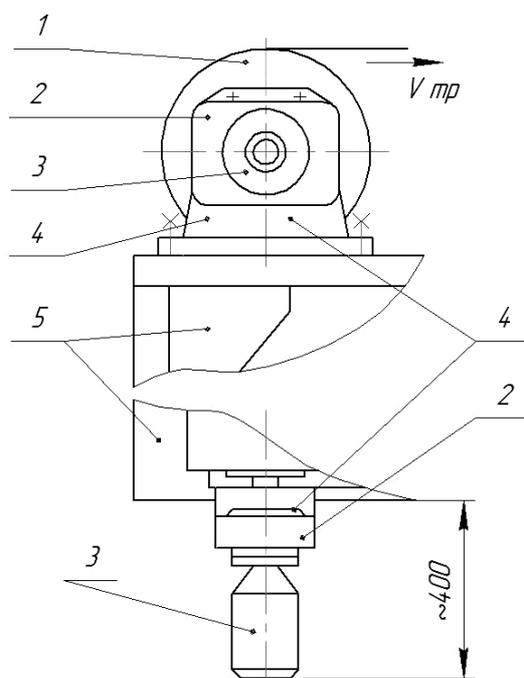


Рис. 4.63. Схема привода транспортёра с использованием планетарного редуктора, установленного на опоре барабана: 1 – ведущий барабан; 2 – редуктор планетарный; 3 – электродвигатель; 4 – опора барабана; 5 – рама

Схема привода с планетарным редуктором, установленным на опоре ведущего барабана, приведена на рис. 4.64.

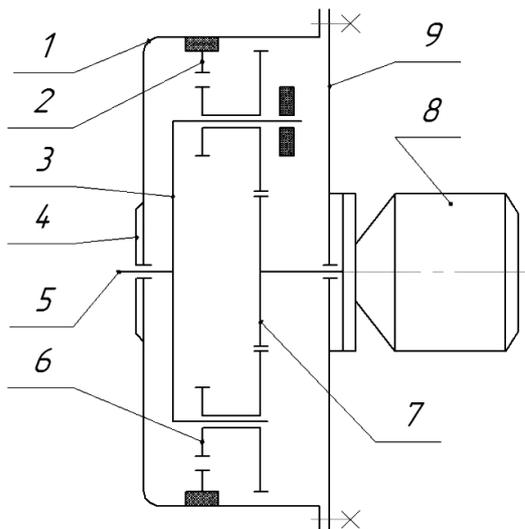


Рис. 4.64. Схема планетарного редуктора привода транспортёра: 1 – корпус редуктора; 2 – венец; 3 – водило; 4 – привалочная бобышка; 5 – выходной вал; 6 – сателлит; 7 – солнечное (ведущее) колесо; 8 – электродвигатель; 9 – крышка

Эти результаты разработки различных вариантов включаются в расчётно-пояснительную записку, в которой по каждому варианту приводится описание компоновочных схем и конструктивных эскизов, а также отдельные расчёты (кинематические, прочностные, тепловые и др.). В описании приводятся достоинства и недостатки каждого варианта из описанных выше (рис. 4.56–4.64). Мы опустим конструктивные и прочностные расчёты, которые позволяют обеспечить работоспособность узла и определить его габариты и массу в каждом варианте, а проведём только качественное, укрупнённое их сравнение, которое позволит сформулировать предложение о продолжении проектных работ с переходом на этап эскизного проектирования.

Разработанные варианты, описанные выше, можно разделить на две группы решений: общекомпоновочные и конструктивные. На этапе разработки технического предложения мы рассмотрим два варианта компоновки:

- с цепным приводом ведущего барабана;
- с установкой привода на опоре ведущего барабана.

Сравнивая эти варианты, мы отказались от первого из-за конструктивных и эксплуатационных недостатков и выбрали второй вариант, как более компактный и надёжный. Однако в дальнейшей работе всегда остаётся возможность вновь рассмотреть принятые решения и изменить их при наличии оснований.

При рассмотрении конструктивной группы решений были оценены разные типы редукторов, включаемых в приводы: редукторы, включающие в свой состав червячную передачу, и редукторы, использующие цилиндрические эвольвентные колёса.

Редукторы первой группы (червячный и червячно-конический) были исключены из рассмотрения на этапе эскизного проектирования из-за низ-

кого КПД (0,7...0,75) червячной пары, что вызывает нагрев передачи и повышенные энергозатраты. Это обстоятельство часто требует разработки мер по естественному или принудительному охлаждению редуктора путём обеспечения необходимой поверхности охлаждения (оребрения) или создания рубашки для водяного охлаждения.

Поэтому на основании рассмотрения и обсуждения результатов выполнения технического предложения в расчётно-пояснительной записке приводятся следующие рекомендации (предложения) по выполнению эскизных проектов:

1. Провести разработку привода ленточного транспортёра с установкой его на опоре ведущего барабана.

2. Провести проработку применения в приводе двухступенчатого цилиндрического редуктора (рис. 4.60, 4.62) и планетарного редуктора (рис. 4.63, 4.64) с целью выбора оптимального варианта для последующей разработки технического проекта привода.

#### *Эскизный проект привода транспортёра*

В этом разделе мы рассмотрим разработку эскизного проекта привода с применением цилиндрического двухступенчатого и планетарного редукторов и вновь проанализируем их компоновку в составе привода транспортёра.

При выполнении этого этапа проводится более тщательный подбор материалов и уточнённые прочностные расчёты. Определяется модуль, ширина колёс, подбор подшипников для каждого варианта. Эти расчёты проводятся с учётом методик, изложенных в курсе «Детали машин» и приведённых в технической и справочной литературе. Мы здесь ограничимся выбором только модуля.

#### *Разработка эскизного проекта цилиндрического двухступенчатого редуктора*

На рис. 4.62 была приведена схема трёхосного редуктора. В результате расчётов установлено число зубьев колёс, обеспечивающее  $i_p = 9$  и назначен модуль  $m = 4$  для обеих ступеней редуктора. Для уменьшения габаритов примем компоновку редуктора, приведённую на конструктивном эскизе (рис. 4.65). Там же указано число зубьев и модуль колёс.

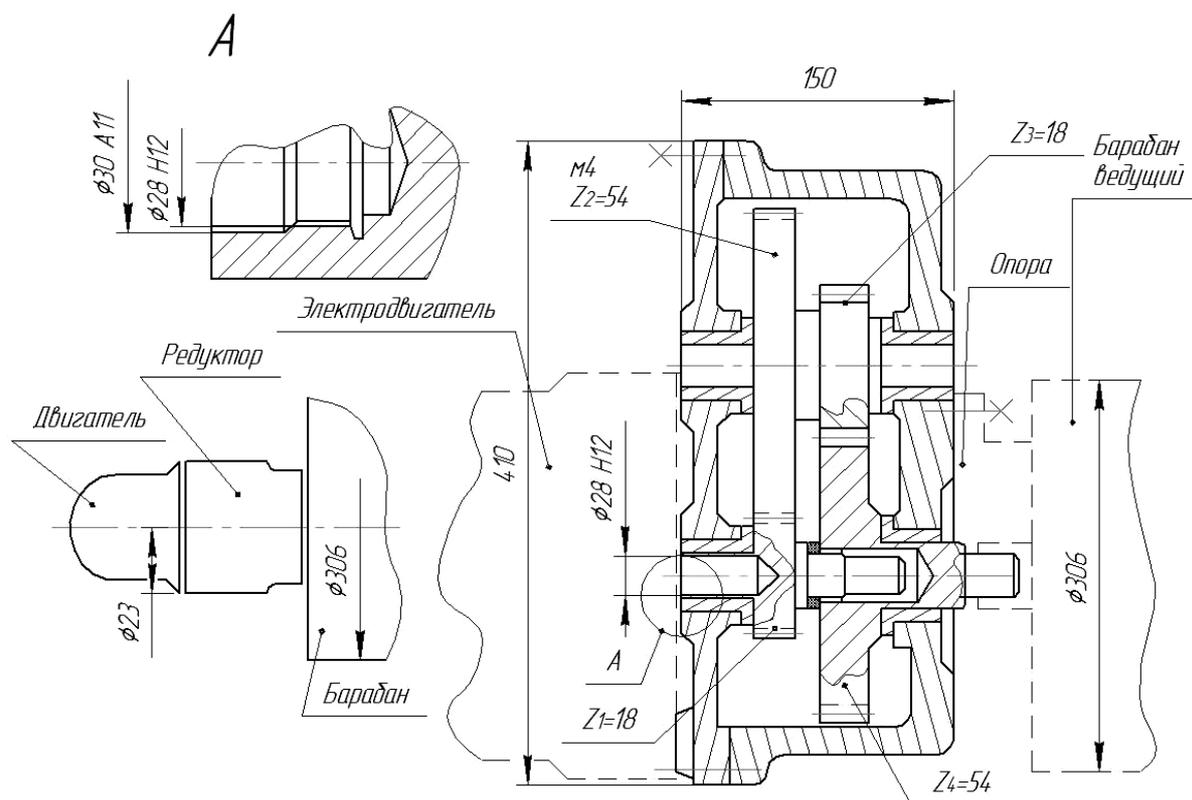


Рис. 4.65. Конструктивный эскиз двухступенчатого цилиндрического редуктора

Для сопряжения валов фланцевого электродвигателя и вала барабана с редуктором применено шлицевое соединение. При невозможности приобрести электродвигатель со шлицевым валом следует применить переходную втулку. Фланцевый электродвигатель крепится к крышке редуктора. Для простоты построения эскиза в редукторе применены подшипники скольжения. Колесо второй ступени посажено на вал шестерни первой ступени на игольчатом подшипнике.

В результате разработки создан эскиз редуктора, имеющего следующие размеры: длина – 410 мм; высота – 150 мм; ширина (на рисунке не показана) – 260 мм.

*Разработка эскизного проекта планетарного редуктора и проработка компоновки с его использованием*

На рис. 4.64 приведена схема планетарного редуктора. В результате расчётов установлено число зубьев колёс, обеспечивающее  $i_p = 9$  и назначен модуль  $m = 2,5$  для всех колёс редуктора. На рис. 4.66 приведён эскиз планетарного редуктора с указанием числа зубьев и модуля колёс.

Технические решения, принятые для этого редуктора, полностью аналогичны решениям для двухступенчатого цилиндрического редуктора (шлицевые соединения валов, типы подшипников, крепление двигателя на крышке и др.). В результате разработки получен эскиз редуктора, имеющего следующие габариты: диаметр – 300 мм; высота – 150 мм.

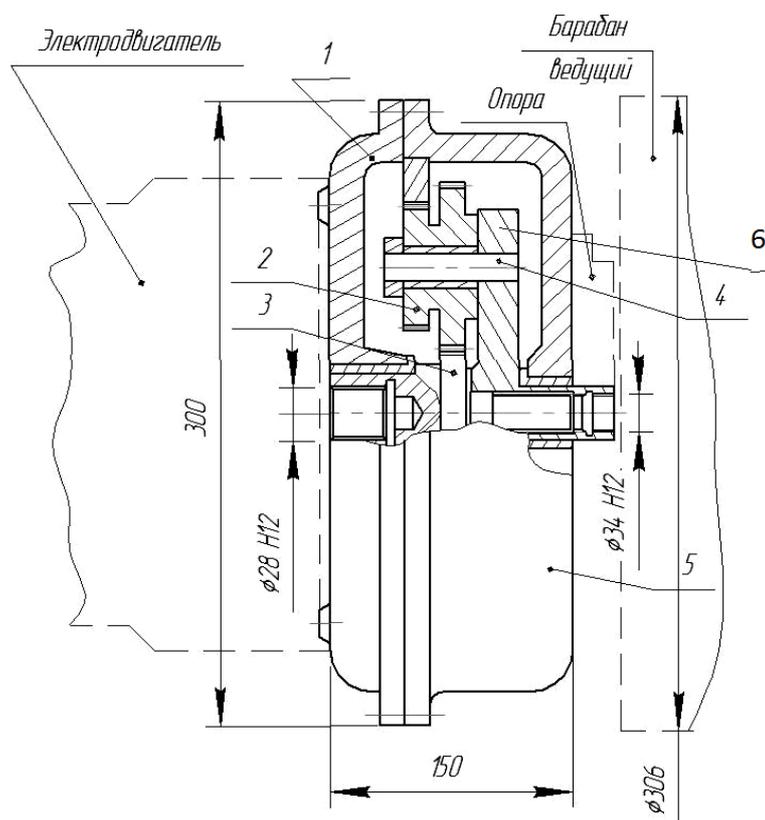


Рис. 4.66. Конструктивный эскиз планетарного редуктора: 1 – крышка; 2 – солнечное колесо; 3 – сателлит; 4 – ведущее колесо; 5 – корпус; 6 – водило

Эти разработки двух вариантов редукторов включаются в расчётно-пояснительную записку, в которой по каждому варианту проводится выбор материалов, прочностной расчёт и подбор всех элементов (зубчатых зацеплений, валов, подшипников, соединений шпоночных, шлицевых, болтовых и др.), а также разработанные эскизы и схемы. На основе анализа результатов разработок редуктора делается выбор одного из двух предложенных вариантов. В данном случае предпочтительно использование в составе привода планетарного редуктора (рис. 4.66), так как он более компактен и имеет меньшую массу.

В связи с появлением в результате разработки очень компактного привода возникает необходимость вернуться к компоновке ленточного транспортёра. Предложенная ранее (рис. 4.56) схема с приводом, в котором использована цепная передача, обладает рядом отмеченных ранее недостатков (затруднения в эксплуатации, увеличение ширины в зоне привода). Это привело к рассмотрению ряда вариантов и к созданию малогабаритного привода с планетарным редуктором. Однако при его использовании ширина транспортёра в небольшой зоне также увеличивается (рис. 4.63). Поэтому следует рассмотреть применение предлагаемого привода с планетарным редуктором в компоновке с гибкой связью (цепь, клиновой ремень, зубчатый ремень) и с маятниковым креплением привода внутри рамы. В этом варианте (рис. 4.67) натяжение гибкой связи осуществляется за счёт отведения привода от оси барабана.

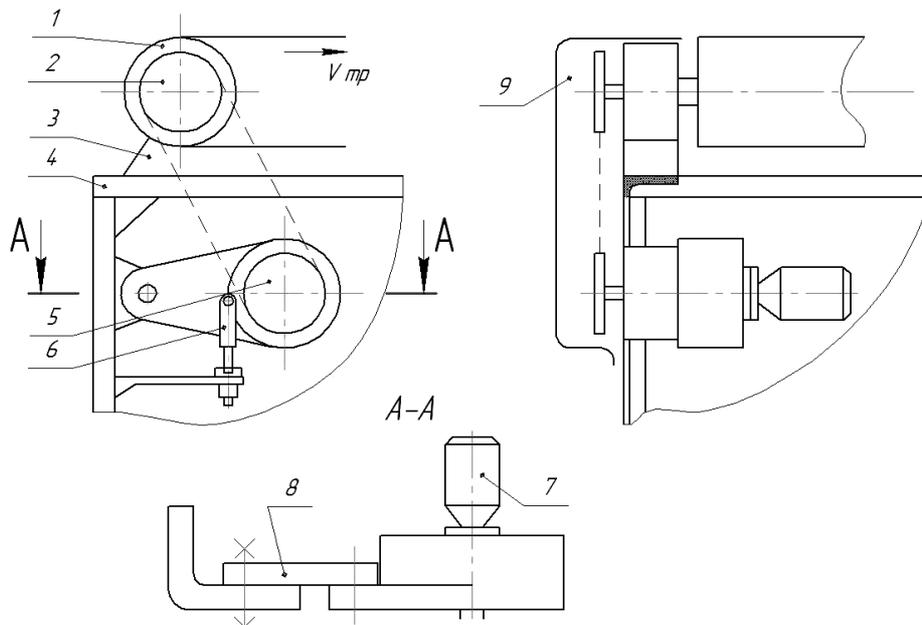


Рис. 4.67. Схема установки привода с планетарным редуктором на маятниковой подвеске: 1 – ведущий барабан; 2 – ведомая звёздочка; 3 – опора барабана; 4 – рама; 5 – ведущая звёздочка; 6 – устройство натяжения цепи; 7 – привод; 8 – кронштейн маятниковой подвески; 9 – кожух (укрытие цепи)

Возможно жёсткое крепление привода на кронштейне под рамой с применением роликового натяжителя (рис. 4.68).

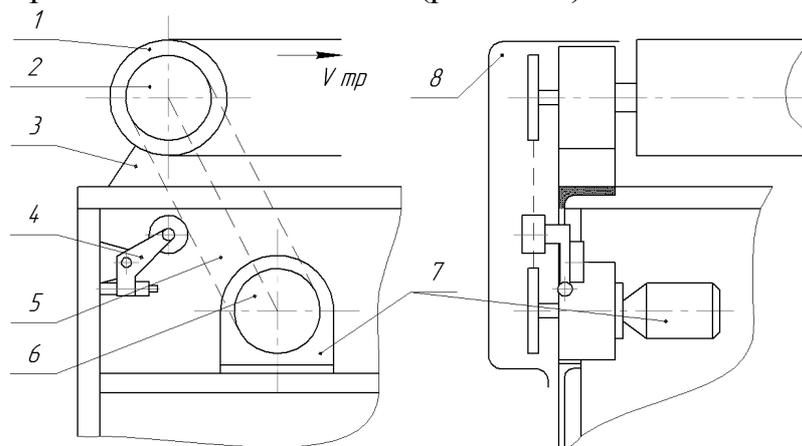


Рис. 4.68. Схема жёсткой установки привода с планетарным редуктором на раме: 1 – ведущий барабан; 2, 6 – звёздочка; 3 – опора барабана; 4 – устройство натяжения цепи; 5 – цепь; 7 – привод; 8 – кожух

Жёсткое крепление более надёжно, однако менее удобно в обслуживании, так как в этом случае необходимо дополнительное устройство для регулирования натяжения цепи. Если на основе аналога можно разработать надёжное двухопорное маятниковое устройство, целесообразно применить его в данном приводе. Вариант этого типа крепления применён на рис. 4.69 (вариант конструкции крепления по разрезу А–А, рис. 4.67).

Однако следует учитывать, что при соосной установке редуктора и ведущего барабана выходной вал редуктора передаёт только крутящий момент, тогда как в случае установки на выходном валу звёздочки для использования цепной передачи выходной вал редуктора воспринимает силу натяжения цепи  $P_c$  (рис. 4.69). Поэтому при разработке редуктора для компоновки, приве-

дённой на рис. 4.67, 4.68, необходимо учитывать как крутящий момент, так и силу натяжения цепи, нагружающие выходной вал.

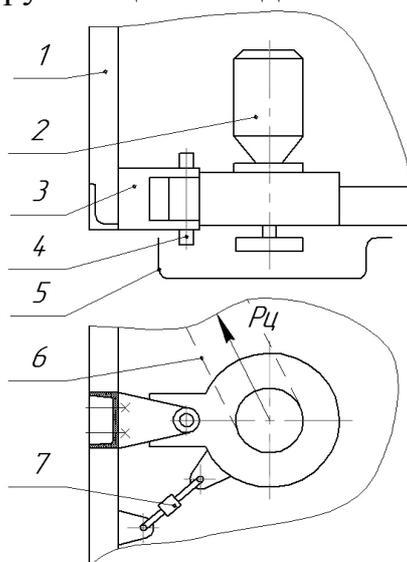


Рис. 4.69. Схема жёсткой маятниковой подвести привода: 1 – рама; 2 – привод; 3 – скоба подвески; 4 – ось подвески; 5 – кожух (укрытие цепи); 6 – цепь; 7 – регулирующая стяжка-крепление;  $P_{ц}$  – сила натяжения цепи

Дополнительно в пояснительной записке рассматриваются вопросы обеспечения безопасности и художественного оформления предлагаемых вариантов с приложением эскизов. Предлагается установка на раме экранов, защищающих работников от воздействия механизмов и предохраняющих эти механизмы от попадания посторонних предметов, от загрязнения их продуктом. В необходимых местах предусматриваются быстросъёмные щитки, которые при их открытии дают лёгкий доступ к узлам и механизмам для обслуживания (смазка, регулировка, ремонт и др.). Также в записку включаются рекомендации по обеспечению патентной чистоты и защиты изделия. В приложении может быть приведён регламент патентного поиска (список классов, стран и срока просмотра патентных бюллетеней), а также предварительный (очень краткий) отчёт о патентных исследованиях.

В заключении, в конце пояснительной записки даются следующие рекомендации об использовании выполненного эскизного проекта в разработке технического проекта изделия:

1. В дальнейшей разработке транспортёра применить цепной привод (рис. 4.67, 4.68) с планетарным редуктором.
2. При разработке планетарного редуктора учесть совместное воздействие на выходной вал силы натяжения цепи и крутящего момента.
3. Применить предполагаемые эскизные проработки экранов и ограждений.
4. Обеспечить патентную чистоту и защиту изделия с использованием рекомендаций.

## Приложения

### Приложение А

#### Расчёты при выполнении проектных и конструкторских работ

##### *Прочностной расчёт валов и колёс коробок передач токарного станка*

В качестве исходных данных для расчётов принимаются значения частот вращения шпинделя на каждой ступени обработки  $n_{pi}$  и значение эффективной мощности  $N_{эф}$  на шпинделе. Эти данные могут быть также определены в результате расчётов кинематических коробок передач и рабочих нагрузок при обработке (пп. 3.2.1).

##### *Расчёт максимальных крутящих моментов на валах коробки скоростей*

Практика эксплуатации универсальных станков показывает, что нижняя часть диапазона частот вращения шпинделя используется преимущественно для операций, не требующих большой мощности. Поэтому для уменьшения габаритов привода в качестве расчётной частоты вращения шпинделя станков средних размеров (универсальных токарных, токарно-револьверных, сверлильных, консольно-фрезерных) рекомендуется выбирать частоту вращения ( $n_p$ ), соответствующую верхней ступени нижней трети ряда скоростей шпинделя:

$$N_{\text{э}} = N \cdot \eta_{np}, \quad (\text{A.1})$$

где  $N$  – мощность электродвигателя, кВт;  $\eta_{np} = 0,88 \dots 0,9$  – условный расчётный КПД привода для станков с вращательным главным движением. Чем выше частота вращения ( $n_i$ ), тем меньше крутящий момент ( $M_{кр}$ ) и меньше, исходя из условий прочности, диаметр вала и модуль ( $m$ ) зубчатых колёс, расположенных на этом валу.

При применении двухскоростных электродвигателей для подсчёта  $N_{\text{э}}$  принимаем среднюю мощность

$$N_{cp} = \frac{N_1 + N_2}{2}. \quad (\text{A.2})$$

Крутящий момент ( $M_{кр}$ ) на шпинделе, соответствующий этой скорости, принимается в качестве наибольшего расчётного. Величина передаваемого крутящего момента при постоянной эффективной мощности зависит только от уровня минимальной частоты вращения рассматриваемого вала [22; 25; 42].

$$M_{кр_i} = 9550 \frac{N_{\text{э}}}{n_p}, \text{ Н} \cdot \text{ м}, \quad (\text{A.3})$$

где  $n_p$  – расчётная частота вращения шпинделя,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $N_{\text{э}}$  – эффективная мощность на шпинделе, кВт.

Максимальный крутящий момент на промежуточных валах изменяется в зависимости от передаточного отношения между валами и определяется формулой

$$M_{\max}^{\text{вала}i} = \frac{M_{\max}^{\text{вала}i+1} \cdot i_B}{\eta_B}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (\text{A.4})$$

где  $M_{\max}^{\text{вала}i+1}$  – максимальный крутящий момент на последующем валу;  $i_B$  – передаточное отношение между смежными валами;  $\eta_B = \eta_3 + \eta_{II}$  – расчётный КПД между валами,  $\eta_3 = 0,99 \div 0,995$  – КПД прямозубой зубчатой передачи;  $\eta_{II} = 0,9975 \div 0,9985$  – КПД одной пары подшипников качения.

При среднем значении  $\eta_B = 0,992 \cdot 0,998 = 0,99$ .

Если крутящий момент на валу получается по двум цепям, то цепь с наибольшим крутящим моментом обычно блокируют. Расчёт крутящего момента производят при минимальной частоте вращения по цепи от шпинделя станка до нулевого вала.

#### *Расчёт диаметров валов*

Ориентировочно диаметры всех промежуточных валов можно определить по формуле

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{M_{KP}^i \cdot 10^3}{0,2 \cdot [\tau]}}, \text{ мм}, \quad (\text{A.5})$$

где  $[\tau] = 25 \div 35$  МПа – условное допускаемое напряжение при кручении без учёта изгиба (обычно его принимают минимальным, так как неизвестно пространственное расположение валов).

Ориентировочно допускаемое напряжение на кручение можно принять равным 0,5 допускаемого напряжения изгиба.

Для вышеприведённого примера

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{45,13 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30}} \approx 20 \text{ мм};$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{111,7 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30}} \approx 27 \text{ мм и т. д.}$$

Полученные значения диаметров валов округляют в большую сторону до ближайшего стандартного значения из предпочтительного ряда чисел по ГОСТ 6636–69. Проверочные расчёты диаметров наиболее нагруженных валов в каждом сечении с учётом шпоночных и шлицевых соединений, канавок под стопорные кольца для выхода инструментов при их обработке производятся после подсчётов параметров зубчатых передач, разработки компоновочной схемы, величин и точек приложения всех нагрузок и реакций опор по методике, приведённой в литературе [26; 44].

#### *Расчёт шпинделя*

Диаметр шпинделя определяется из условия его жёсткости [26]. Допускаемые величины минимальной жёсткости шпинделя принимаются в зависимости от их точности с учётом обеспечения нормальных условий работы подшипников  $j = 200 \div 500$  Н/мкм.

При двухопорном исполнении у станков нормальной точности жёсткость шпинделя должна быть не менее 250 Н/мкм, для высокоточных станков – 500 Н/мкм.

Изгибная жёсткость шпинделя может быть определена по формуле

$$j = \frac{K \cdot E \cdot I_a}{a^3 \cdot (1 + \alpha \cdot \frac{I_a}{I_b})}, \quad (\text{A.6})$$

где  $K$  – коэффициент упругости, зависящий от типа подшипника;  $E$  – модуль Юнга, Н/м<sup>2</sup>;  $a, b$  – длина консоли и пролёта между опорами соответственно, м;  $I_a, I_b$  – момент сопротивления сечения консоли и пролёта между опорами, м<sup>4</sup>;  $\alpha$  – отношение длины пролёта  $b$  к длине консоли  $a$ .

По рекомендациям [30] соотношение параметров шпинделя должно быть следующим:

$$\frac{L}{D} = 4 \div 5; \quad \frac{L}{A} \geq 2,5; \quad \frac{A}{D} = 1 \div 1,5.$$

Для обеспечения работоспособности шпиндельных опор диаметр шпинделя должен удовлетворять условию по рекомендации [34]

$$D \geq \sqrt[4]{(0,05 \div 0,1)L^3}. \quad (\text{A.7})$$

Уточнённый расчёт шпинделя на жёсткость производится по величинам прогиба его конца ( $y_k$ ) и между опорами под приводной шестерней ( $y_{np}$ ), а также углов поворота шпинделя в передней опоре ( $\Theta_k$ ) и под приводным колесом ( $\Theta_{np}$ ). Величины  $y$  и  $\Theta$  находятся в координатах  $y_x, y_y, \Theta_x, \Theta_y$  в зависимости от значений  $R_x, P_{np x}, R_y$  и  $P_{np y}$ , а затем определяются их величины как геометрические суммы:

$$y = \sqrt{y_x^2 + y_y^2}; \quad \Theta = \sqrt{\Theta_x^2 + \Theta_y^2}.$$

Допускаемые величины их приведены в литературном источнике [29].

$$[y_k] \leq \frac{1}{3} \delta; \quad [y_{np}] \leq (0,00008 \div 0,0001)L \leq (0,01 \div 0,03)m;$$

$$[\Theta_k] \leq 0,0001 \div 0,00015 \text{ рад}; \quad [\Theta_{np}] \leq 0,001 \text{ рад},$$

где  $\delta$  – допуск на радиальное биение конца шпинделя, принимаемый по ГОСТ 18097–88;  $m$  – модуль приводной шестерни.

Из расчёта видно, что жёсткость шпинделя зависит от расстояния между опорами и длины конуса крепления инструмента. Поэтому жёсткость шпинделя можно определить по формуле

$$j = \frac{KEJ}{10^4(a+b)^3}, \quad (\text{A.8})$$

где  $K$  – коэффициент упругости, зависящий от типа подшипника (0,5÷0,6 – радиальный, 0,65÷0,8 – радиально-упорный).

Необходимо отметить, что с увеличением диаметра шпинделя увеличивается не только его жёсткость, но и возрастает тепловыделение.

В станках с широким диапазоном нагрузок применяются системы с автоматическим регулированием натяга, обеспечивающие жёсткость узла при

сохранении долговечности. Для станков повышенной точности лимитирующим является диаметр шпинделя. Исходя из нормальной работы подшипников, при допустимой величине жёсткости шпинделя на участке между опорами можно ориентировочно определить диаметр его по формуле

$$d \geq \sqrt[4]{(0,05 \div 0,1)l^3}, \text{ мм}, \quad (\text{A.9})$$

где  $l$  – расстояние между опорами.

В передней опоре шпинделя проектируемого станка, воспринимающей основные предполагаемые нагрузки в процессе резания обрабатываемого материала, посадочный диаметр шейки шпинделя должен быть больше расчётного на величину запаса прочности. Кроме того, учитывается конструктивное исполнение шпинделя и всех вспомогательных устройств, устанавливаемых на него. Диаметр передней опоры шпинделя, например фрезерного станка, рекомендуется принимать в зависимости от диаметра фрезы и мощности, передаваемой приводом, согласно таблице А.1. При этом угол закручивания шпинделя не превышает  $0,06 \div 1^\circ$ .

Размеры шпинделей можно выбирать по параметрам существующих станков подобного типоразмера согласно литературному источнику [14; 15] и др. табл. А.1.

При необходимости расчета шпинделя на виброустойчивость следует использовать учебную литературу [38].

Расчёт шпинделя на виброустойчивость (отсутствие резонанса) выполняется по двум видам колебаний – крутильным и поперечным. Расчёт производится с целью недопущения резонансных колебаний шпинделей быстроходных станков.

Основной характеристикой шпинделей для оценки виброустойчивости является частота собственных колебаний –  $f_c = 500 \div 600$  Гц.

Таблица А.1

*Рекомендуемые диаметры передней опоры шпинделя*

Мощность привода №, кВт	Диаметр фрезы, мм						
	160	200	250	320	400	500	630
	Диаметр передней опоры, мм						
7,5	80	90	100	120	140	160	160
10	90	100	120	120	140	160	160
13	100	120	120	140	140	160	160
17	120	120	140	140	160	160	160
22	–	–	140	160	160	160	160
30	–	–	–	160	160	160	160
40	–	–	–	–	200	200	200

Частота собственных колебаний шпинделя зависит от собственных колебаний отдельных его частей и представлена формулой

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g \sum Q_i \cdot y_i}{\sum Q_i \cdot y_i^2}}, \quad (\text{A.10})$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $Q_i$  – вес отдельных элементов, на которые разделяется колеблющаяся система;  $y_i$  – прогиб под действием веса всей системы в точках приложения.

Виброустойчивость обеспечивается условием  $f_c \geq f_e + 20 \div 30 \%$ , где  $f_e$  – вынужденные колебания.

Источником вынужденных колебаний является дисбаланс (неуравновешенность) самого шпинделя или, чаще всего, сами подшипники. Поэтому частота вынужденных колебаний

$$f_e = \frac{nDZ}{2(D+d)}, \quad (\text{A.11})$$

где  $n$  – частота вращения шпинделя,  $\text{с}^{-1}$ ;  $D$  – диаметр беговой дорожки внутреннего кольца подшипника, мм;  $d$  – диаметр элементов качения, мм;  $Z$  – число элементов качения.

#### *Расчёт модулей зубчатых колёс*

Проектный расчет модуля зубчатых колёс для групповых передач коробок скоростей выполняется в случаях, когда он не выбран конструктивно.

При ориентировочном расчёте величину модуля можно определить по формулам:

$$m = \sqrt[3]{\frac{M_{KP}}{10}}, \text{ мм} \text{ – для подвижных шестерен;} \quad (\text{A.12})$$

$$m = \sqrt[3]{\frac{M_{KP}}{18}}, \text{ мм} \text{ – для постоянных передач,} \quad (\text{A.13})$$

где  $M_{KP}$  – максимальный крутящий момент, передаваемый рассматриваемой группе передач, Н·м.

Для стальных силовых цилиндрических зубчатых колёс с модулем  $1,5 \div 12$  мм, образующих передачи внешнего зацепления, работающие в закрытых корпусах со смазыванием при окружной скорости не выше  $30$  м/с, исходя из окружного усилия на минимальной по размеру шестерне и усилия, допускаемого прочностью зуба на изгиб, модуль передачи должен удовлетворять условию [26; 29]

$$m = k_m \sqrt[3]{\frac{M_{KP} \cdot k_p \cdot y_{F1}}{Z_1^2 \cdot \psi_{bd} \cdot [\sigma]}}, \text{ мм}, \quad (\text{A.14})$$

где  $k_m$  – вспомогательный коэффициент, который для прямозубых колёс принимается равным  $k_m = 14$ , а для косозубых  $k_m = 11,2$ ;  $M_{KP}$  – исходный крутящий момент на шестерне, Н·м;  $k_p = 1,3 \div 1,5$  – коэффициент нагрузки для шестерни (меньшие значения относятся к зубчатому колесу, расположенному между опор симметрично;  $y_F$  – коэффициент, учитывающий форму зуба, который выбирается в зависимости от эквивалентного числа зубьев  $Z_E = \frac{Z}{\cos \beta}$  (для прямозубых колёс  $Z_E = Z$ ) и коэффициента  $X_0$

– смещения исходного контура. При  $z_0 = z_{\min} = 20$  и  $X_0 = 0$  можно принять  $Y_F = 4,1$ ;  $Z_l$  – число зубьев наименьшей шестерни в группе;  $\psi_{bd}$  – коэффициент ширины зубчатого колеса в зависимости от их диаметра. Для зубчатых колёс средней твёрдости (до 350 НВ)  $\psi_{bd} = 0,6 \div 1,4$ , при их консольном расположении  $\psi_{bd} = 0,3 \div 0,4$ . Для зубчатых колёс твёрдостью более 350 НВ  $\psi_{bd} = 0,4 \div 0,9$ , при их консольном расположении  $\psi_{bd} = 0,2 \div 0,25$ ;  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение на изгиб в зависимости от предела выносливости зубьев  $\sigma$  (табл. А.2) и коэффициента безопасности, МПа. Для предварительного расчёта можно принять  $[\sigma] = 370 \div 400$  МПа.

Для нашего примера:

$$m_1 \geq 14 \cdot \sqrt[3]{\frac{45,13 \cdot 1,3 \cdot 4,1}{20^2 \cdot 0,8 \cdot 370}} = 1,8 \text{ мм, принимаем } m_1 = 2 \text{ мм;}$$

$$m_2 \geq 14 \cdot \sqrt[3]{\frac{111,7 \cdot 1,3 \cdot 4,1}{20^2 \cdot 0,8 \cdot 370}} = 2,4 \text{ мм, принимаем } m_2 = 2,5 \text{ мм и т. д.}$$

Таблица А.2

Значения  $\sigma$

Способы термической и химикотермической обработки зубьев	Средняя твердость поверхности зубьев	Стали	Значения $\sigma$ , МПа
1. Отжиг, нормализация или улучшение	Менее 350 НВ	Стали углеродистые и легированные	2ННВ + 70
2. Объемная закалка	38 ÷ 50 HRC		18ННRC + 150
3. Поверхностная закалка	40 ÷ 50 HRC		17ННRC + 200
4. Цементация и нитроцементация	Более 56 HRC	Стали легированные	23ННRC
5. Азотирование	Более 56 HRC		1050

Расчётное значение модуля округляют до ближайшего большего стандартного из предпочтительного ряда, установленного нормалью станкостроения Н 24–2 и ГОСТ 9563–80. Их значения следующие:

1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; (3,5); 4; 5; 6; (7); 8; (9); 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40.

Примечание: модули в скобках, по возможности, не применять.

Для каждого станка рекомендуется ограничивать количество применяемых модулей. Для силовых передач коробки значения модуля меньше 1,5 мм принимать не рекомендуется.

### *Разработка конструктивного решения трансмиссии гехода*

Сооружение капитальных подземных выработок горнодобывающих предприятий, городских коллекторных магистралей и перегонных тоннелей метро – трудоёмкий и дорогостоящий процесс. Наиболее остро стоят задачи повышения скорости проходки, производительности труда и безопасности, снижения стоимости работ.

Предложено проходку рассматривать как процесс движения проходческого оборудования в твердой среде с образованием полости в массиве твердых пород. Приконтурный массив горных пород должен использоваться как опорный элемент, воспринимающий реактивные усилия от проходческого оборудования при выполнении им основных технологических операций. Принцип связывания в функциональном единстве подачи на забой и процесса резания горных пород дал название геовинчестерной технологии (ГВТ) проведения горных выработок.

Область применения ГВТ:

- Проходка горных выработок различного расположения в пространстве.
- Возведение подземных сооружений различного назначения:
  - городские коллекторы;
  - магистральные тоннели метро;
  - подземные склады, хранилища;
  - подземные переходы, гаражи.
- Ведение аварийно-спасательных работ в завалах.

Базовым элементом геовинчестерной технологии проведения горных выработок является геход. *Геход* – аппарат, движущийся в подземном пространстве с использованием геосреды. Представляя собой новый класс горных машин, геходы предназначены для проходки подземных выработок различного назначения и расположения в пространстве, аналогов конструкции в мировой практике нет.

Основными элементами и системами гехода являются:

- корпус (носитель) гехода;
- исполнительный орган (ИО) разрушения забоя;
- внешний движитель, ИО внешнего движителя;
- диафрагма ИО;
- крыло, ИО крыла;
- погрузочная система;
- транспортная система;
- крепевозводящий модуль;
- энергосиловая установка;
- трансмиссия;
- система управления по трассе;
- гидравлическая система;

- электрическая система;
- система управления геохода;
- стартовое устройство;
- вспомогательные системы.

*Определение исходных данных к расчёту*

Исходными данными для определения параметров трансмиссии являются: значение момента сопротивления вращению головной секции  $M_{вр}$ , полученное из модели взаимодействия геохода с геосредой; частота вращения головной секции  $n_{вр}$ , которая определяется из условий обеспечения необходимой производительности геохода (в частности, производительности исполнительного и порододоборочного органа); геометрические размеры геохода: наружный диаметр секции  $D_{ГС}$ , м определяется необходимыми размерами проводимой выработки.

В качестве исходных данных к расчётам воспользуемся техническими характеристиками (табл. Б.1) и размерами геохода ЭЛАНГ-4, как наиболее проработанного конструктивно (ЭЛАНГ – от фамилий авторов: Эйллер А. Ф., Аксенов В.В., Нагорный В.Д., Горбунов В.Ф.).

Таблица Б.1

*Технические характеристики геохода ЭЛАНГ-4*

Наименование параметра	Значение
Диаметр агрегата по наружной образующей, мм	3700
Длина агрегата, мм	3000
Шаг винтовой лопасти, мм	615
Суммарный вращающий момент на головной секции (при номинальном давлении 20 МПа), кН·м	3500
Частота вращения головной секции, об/час	4
Установленная мощность, кВт	55

Частота вращения головной секции относительно хвостовой составляет  $n_{ГС} = 4$  об/час или  $n_{ГС} = \frac{4}{60} = \frac{1}{15}$  об/мин.

Угловая скорость вращения составит  $\omega_{ГС} = \frac{\pi \cdot n_{ГС}}{30} = \frac{3,14}{30 \cdot 15} = 6,981 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ .

Тогда выходная мощность на головной секции составит

$$N_{вых} = M_{ГС} \cdot \omega = 3,5 \cdot 10^6 \cdot 6,981 \cdot 10^{-3} = 24,43 \cdot 10^3 \text{ Вт},$$

где  $M_{ГС}$  – суммарный вращающий момент на головной секции.

*Описание и принцип работы трансмиссии с гидроцилиндрами, находящимися в разных фазах выдвигения*

Пусть  $n_{ГЦ}$  – число гидроцилиндров вращения, использованных в трансмиссии. Для обеспечения непрерывности вращения какая-то часть гидроцилиндров должна совершать рабочий ход, а оставшаяся часть совершать обратный ход.

$$n_{ГЦ} = n_{РАБ} + n_{ОБР}, \quad (\text{Б.1})$$

где  $n_{РАБ}$  – количество гидроцилиндров, одновременно участвующих в рабочем ходе;  $n_{ОБР}$  – количество гидроцилиндров, совершающих в это время обратный ход.

Количество гидроцилиндров, совершающих обратный ход, может составлять от половины всех гидроцилиндров, т. е.  $n_{ОБР} = n_{РАБ}$ , и до одного.

С целью более рационального использования количества гидроцилиндров и для формирования максимального вращающего момента желателен возврат наименьшего количества гидроцилиндров – одного.

На рис. Б.1 четыре гидроцилиндра, находящихся в одной плоскости, находятся в равных фазах выдвижения, например группа с номерами 4.

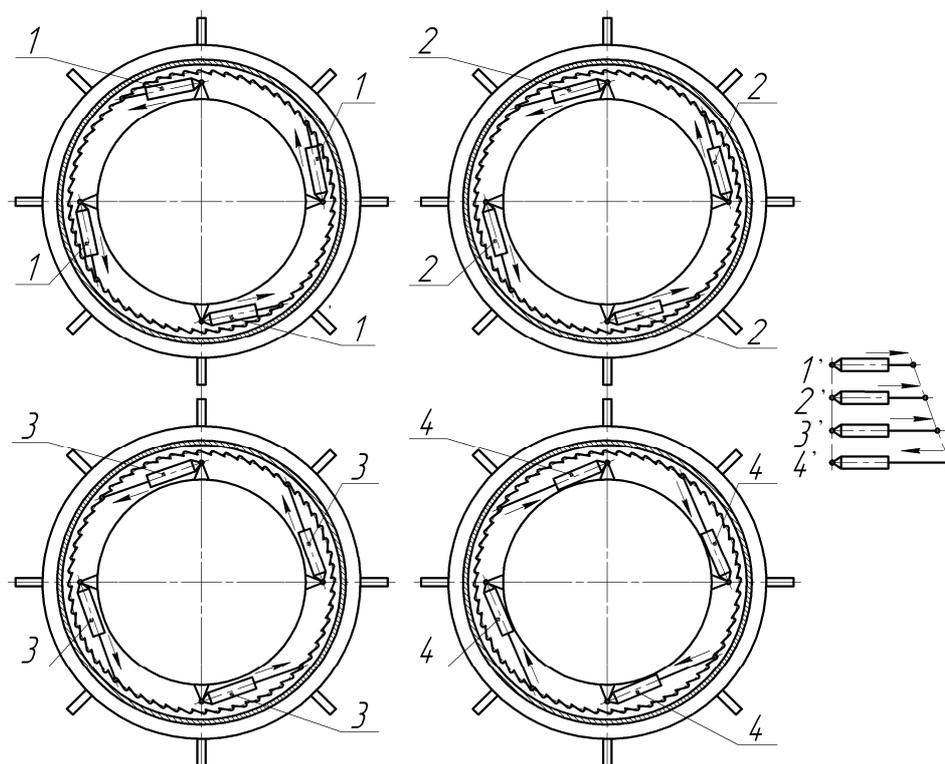


Рис. Б.1. Схема трансмиссии с гидроцилиндрами, работающими в разных фазах (16 гидроцилиндров)

Более удобно выделять в группы гидроцилиндры, находящиеся в уникальных фазах выдвижения, например, группы гидроцилиндров 1, 2, 3, 4 и 1', 2', 3', 4' на рис. Б.1. При этом количество гидроцилиндров, штоки которых совершают обратный ход, определит количество групп гидроцилиндров, штоки которых находятся в уникальных фазах выдвижения

$$n_{ГР} = n_{ОБР} \tag{Б.2}$$

Так, для схемы на рис. Б.1 число групп  $n_{ГР} = n_{ОБР} = 4$ .

Количество положений штоков (фаз) внутри каждой группы

$$n_{ФАЗ} = \frac{n_{ГЦ}}{n_{ОБР}}, \tag{Б.3}$$

$$n_{ФАЗ} = \frac{16}{4} = 4.$$

Наиболее эффективного использования всех гидроцилиндров можно достичь, когда количество гидроцилиндров, одновременно участвующих в работе, больше числа гидроцилиндров, совершающих обратный ход, т. е.

$$n_{РАБ} > n_{ОБР}.$$

Таким образом, мы видим:

- общее число гидроцилиндров  $n_{ГЦ} = 16$  шт;
- количество гидроцилиндров, совершающих рабочий ход  $n_{РАБ} = 12$  шт;
- количество гидроцилиндров, совершающих обратный ход  $n_{ОБР} = 4$  шт;
- число групп  $n_{ГР} = 4$  шт;
- количество положений штоков (фаз)  $n_{ФАЗ} = 4$  шт.

*Оценка момента, развиваемого трансмиссией гехода с гидроцилиндрами, работающими в разных фазах*

В качестве расчётной принята схема (рис. Б.2) расположения гидроцилиндров внутри секций по хордам в одной плоскости, перпендикулярной оси секций гехода. При этом корпус гидроцилиндра закреплен шарнирно на хвостовой (неподвижной) секции, а шток гидроцилиндра соединён с механизмом свободного хода, передающим вращение на головную секцию. Данная схема расположения является кулисным механизмом и служит для преобразования поступательного движения штоков гидроцилиндров во вращательное движение головной секции. При выдвигении штоков будет наблюдаться изменение пространственного положения гидроцилиндров относительно секций.

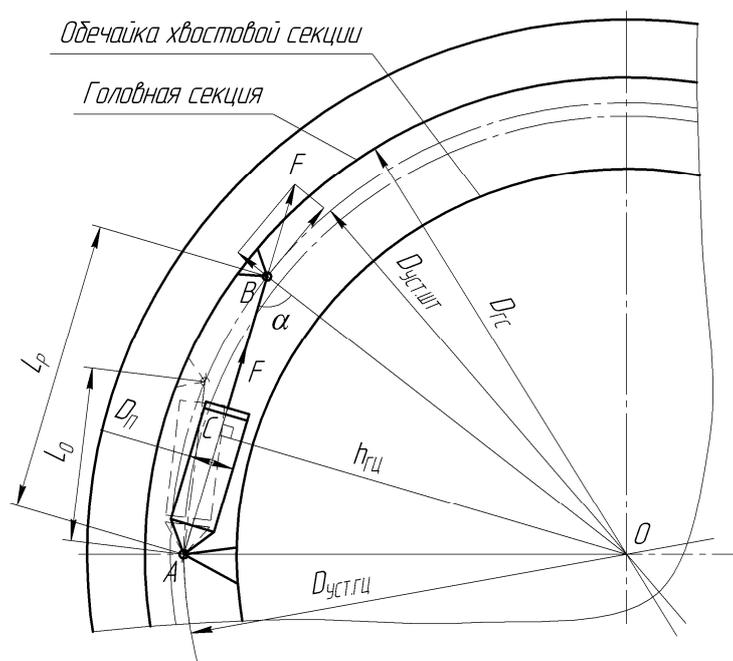


Рис. Б.2. Расчётная схема к определению вращающего момента от одного гидроцилиндра

### Развиваемый одним гидроцилиндром вращающий момент

$$M_{BPI} = p_{TP} \cdot D_{уст.шт} \cdot \frac{\pi \cdot D_{II}^2}{8} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left( \left( \frac{D_{уст.шт}}{2} \right)^2 + (L_0 + \delta)^2 - \left( \frac{D_{уст.гц}}{2} \right)^2 \right)^2}{D_{уст.гц} (L_0 + \delta)}}, \quad (Б.4)$$

где  $D_{II}$  – диаметр поршня гидроцилиндра, м;  $p_{TP}$  – давление, подводимое в поршневую полость гидроцилиндра, Па;  $D_{уст.шт}$  – диаметр окружности вращения цапфы (установки цапфы) штока на головной секции, м;  $D_{уст.гц}$  – диаметр окружности установки цапфы корпуса гидроцилиндра на обечайке хвостовой секции, м (фиксированное значение, определяемое конструктивно);  $(L_0 + \delta)$  – расстояние между осью цапфы корпуса гидроцилиндра и осью цапфы штока в произвольном положении, м;  $L_0$  – расстояние между цапфами корпуса и штока гидроцилиндра в сложенном состоянии (при минимальной раздвижности), м;  $\delta$  – текущая величина выдвигания штока гидроцилиндра, м.

Из выражения (Б.4) следует, что по мере выдвигания штока гидроцилиндра расстояние  $L_0$  будет увеличиваться на величину  $\delta$  (соответственно, длина гидроцилиндра со штоком составит  $L_0 + \delta$ ), а плечо  $h_{гцi}$  силы, реализующей вращающий момент на головной секции, будет изменяться, а соответственно будет изменяться и вращающий момент  $M_{BPI}$ . Величина изменения плеча силы  $h_{гцi}$ , а соответственно и развиваемого момента  $M_{BPI}$  будет зависеть от геометрических параметров расстановки гидроцилиндров  $D_{уст.шт}$ ,  $D_{уст.гц}$ , а также конструктивных размеров гидроцилиндров  $L_0$ ,  $L_p$ .

Таким образом, при выдвигании штока гидроцилиндра развиваемый вращающий момент  $M_{BPI}$  будет носить переменный характер.

При работе гидроцилиндров в разных фазах в каждый момент времени штоки гидроцилиндров будут выдвинуты на различную величину, соответственно будут отличаться величины плеч  $h_i$  приложения силы и развиваемый вращающий момент  $M_{BPI}$  на каждом гидроцилиндре.

Результирующий момент будет представлять собой сумму моментов, развиваемых каждым гидроцилиндром в текущем положении

$$M_{BP} = n_{ГР} \sum_{i=1}^{n_{РАБ.ГР}} p_{TP} \cdot D_{уст.шт} \cdot \frac{\pi \cdot D_{II}^2}{8} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left( \left( \frac{D_{уст.шт}}{2} \right)^2 + \left( L_0 + \frac{L_X}{n_{ФАЗ} - 1} \cdot (i-1) + \delta_i \right)^2 - \left( \frac{D_{уст.гц}}{2} \right)^2 \right)^2}{D_{уст.гц} \left( L_0 + \frac{L_X}{n_{ФАЗ} - 1} \cdot (i-1) + \delta_i \right)}}, \quad (Б.5)$$

где  $n_{ГР}$  – количество групп гидроцилиндров, находящихся в уникальных фазах выдвигания;  $n_{РАБ.ГР}$  – число гидроцилиндров в группе, совершающих рабочий ход;  $n_{ФАЗ}$  – количество промежуточных положений штоков (фаз);

$i = 1, 2, \dots, n_{гц}$  – число гидроцилиндров в группе;  $\delta_i$  – текущее положение штока  $i$ -го гидроцилиндра;  $\delta_i = 0 \dots \frac{L_X}{n_{фаз} - 1}$ .

При совпадении диаметров окружностей размещения цапф корпусов и штоков гидроцилиндров, т. е.  $D_{уст.шт} = D_{уст.гц} = D_{гц}$ , развиваемый момент будет равен

$$M_{BP} = n_{ГР} \sum_{i=1}^{n_{РАБ}} p_{ГР} \cdot D_{ГЦ} \cdot \frac{\pi \cdot D_{П}^2}{8} \sqrt{1 - \left( \frac{L_0 + \frac{L_X}{n_{ФАЗ} - 1} \cdot (i - 1) + \delta_i}{D_{ГЦ}} \right)^2}. \quad (Б.6)$$

Для удобства практического использования формул (Б.5)–(Б.6) с целью определения развиваемого трансмиссией момента проектируемых ге-оходов целесообразно геометрические параметры расстановки гидроцилиндров  $D_{уст.шт}$ ,  $D_{уст.гц}$ ,  $D_{гц}$  выразить через величины, зависящие от размеров секции  $D_{ГС}$  и  $D_{П}$  (рис. Б.3).

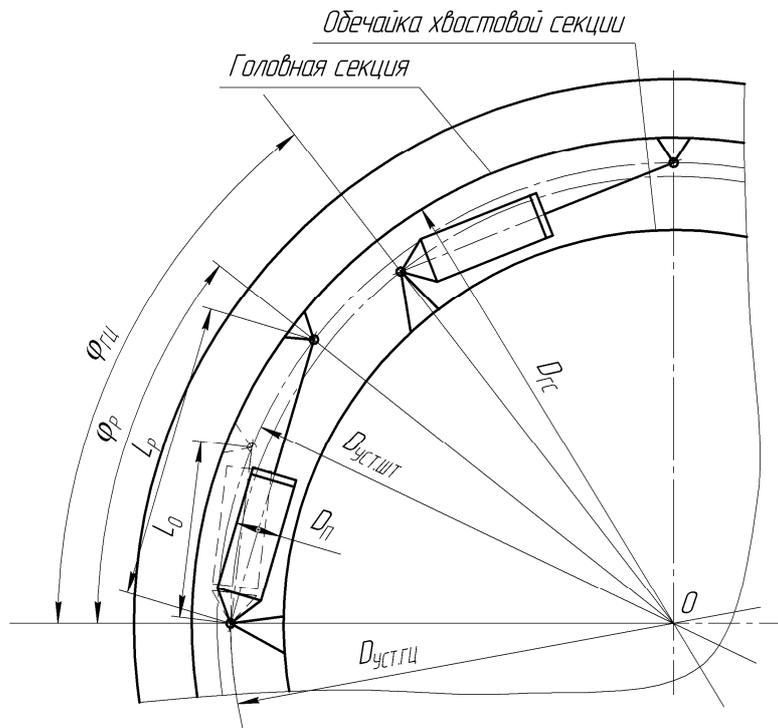


Рис. Б.3. Расчётная схема к определению вращающего момента от одного гидроцилиндра

Из результатов компоновок размещения гидроцилиндров трансмиссии наиболее рациональные параметры получаются при следующих соотношениях:

$$D_{уст.гц} = D_{ГС} - (3 \dots 4)D_{П}; \quad (Б.7)$$

$$D_{уст.шт} = D_{ГС} - (2 \dots 3)D_{П}. \quad (Б.8)$$

Для случая, когда  $D_{уст.шт} = D_{уст.гц} = D_{гц}$ , можно принимать

$$D_{гц} = D_{ГС} - (3 \dots 4)D_{П}. \quad (Б.9)$$

Размеры  $L_X$ ,  $L_0$  и  $L_p$  также имеют взаимосвязь. Большинство серийно выпускаемых гидроцилиндров имеют следующее соотношение длины хода поршня  $L_X$  и размеров по осям крепежных проушин  $L_0$ :

$$L_X = (0,3 \div 0,8)L_0. \quad (\text{Б.10})$$

Полученное в результате компоновки максимальное расстояние между опорами гидроцилиндра  $L_p$  можно представить в виде суммы

$$L_p = L_0 + L_X. \quad (\text{Б.11})$$

Значение длины рабочего хода  $L_X$  можно получить из формул (Б.10) и (Б.11)

$$L_X = \frac{L_p}{1 + \frac{1}{(0,3 \div 0,8)}}. \quad (\text{Б.12})$$

Приблизительное значение максимально возможного расстояния  $L_p$  между опорами гидроцилиндра можно получить из компоновки с учетом общего числа гидроцилиндров  $n_{ГЦ}$ . Для упрощения расчёта будем считать, что опоры гидроцилиндра будут располагаться на одной окружности, т. е.  $D_{уст.шт} = D_{уст.ГЦ} = D_{ГЦ}$ . Угол  $\varphi_{ГЦ}$  между опорами корпусов (штоков) соседних гидроцилиндров будет определяться числом гидроцилиндров  $n_{ГЦ}$

$$\varphi_{ГЦ} = \frac{360^\circ}{n_{ГЦ}}, \text{ град.} \quad (\text{Б.13})$$

Гидроцилиндр с максимально выдвинутым штоком будет отсекал на окружности  $D_{ГЦ}$  хорду длиной  $L_p$ , опирающуюся на центральный угол  $\varphi_p$  (рис. Б.4). Между этими геометрическими параметрами существует взаимосвязь, описываемая следующим выражением:

$$L_p = D_{ГЦ} \cdot \sin \frac{\varphi_p}{2}. \quad (\text{Б.14})$$

Центральный угол  $\varphi_p$  будет приниматься из соображений оставления необходимого углового зазора  $\varphi_{3АЗ}$  между опорами штока и корпуса соседних гидроцилиндров. Угол  $\varphi_{3АЗ}$  будет опираться на хорду  $L_{3АЗ}$  на окружности диаметром  $D_{ГЦ}$ . По результатам компоновок величину зазора можно принять равной диаметру поршня  $D_{П}$ , т. е.  $L_{3АЗ} = D_{П}$ , тогда аналогично выражению (Б.14) можно записать

$$L_{3АЗ} = D_{П} = D_{ГЦ} \cdot \sin \frac{\varphi_{3АЗ}}{2}. \quad (\text{Б.15})$$

Выразим  $\varphi_{3АЗ}$  из (Б.15)

$$\frac{D_{П}}{D_{ГЦ}} = \sin \frac{\varphi_{3АЗ}}{2}, \text{ откуда } \arcsin \frac{D_{П}}{D_{ГЦ}} = \arcsin \left( \sin \frac{\varphi_{3АЗ}}{2} \right);$$

$$\varphi_{3АЗ} = 2 \cdot \arcsin \frac{D_{П}}{D_{ГЦ}}, \text{ град.} \quad (\text{Б.16})$$

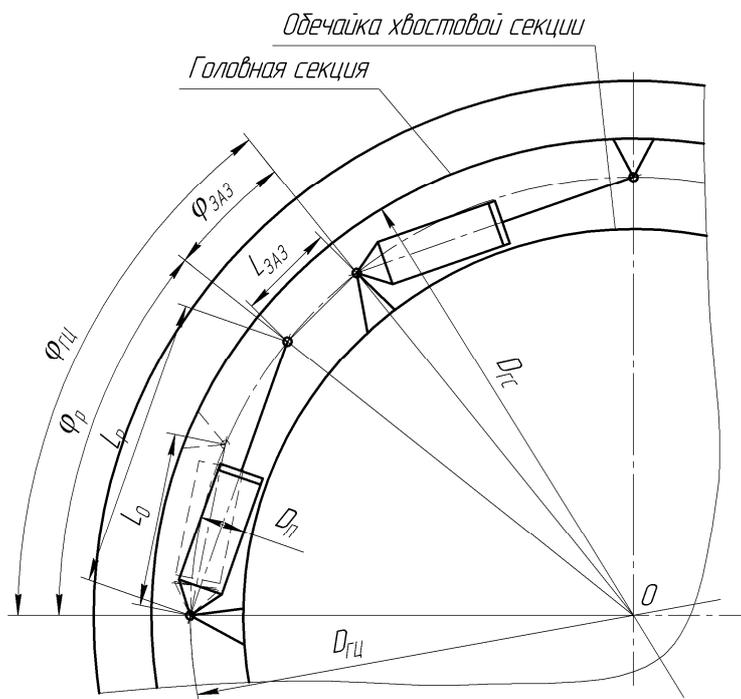


Рис. Б.4. Расчётная схема к определению  $L_p$

Центральный угол  $\varphi_p$  будет равен

$$\varphi_p = \varphi_{GC} - \varphi_{343}, \text{ град.} \quad (\text{Б.17})$$

Подставляя в формулу (Б.17) выражения (Б.13) и (Б.16), найдём:

$$\varphi_p = \frac{360^\circ}{n_{GC}} - 2 \cdot \arcsin \frac{D_{\Pi}}{D_{GC}}, \text{ град.} \quad (\text{Б.18})$$

Теперь, подставив выражение (Б.18) в (Б.14), найдем выражение для  $L_p$ :

$$L_p = D_{GC} \cdot \sin \left[ 0,5 \left( \frac{360^\circ}{n_{GC}} - 2 \cdot \arcsin \frac{D_{\Pi}}{D_{GC}} \right) \right] = D_{GC} \cdot \sin \left( \frac{180^\circ}{n_{GC}} - \arcsin \frac{D_{\Pi}}{D_{GC}} \right). \quad (\text{Б.19})$$

Подставив в выражение (Б.19) формулу (Б.9), найдём:

$$L_p = [D_{GC} - (3...4)D_{\Pi}] \cdot \sin \left( \frac{180^\circ}{n_{GC}} - \arcsin \frac{D_{\Pi}}{(D_{GC} - (3...4)D_{\Pi})} \right). \quad (\text{Б.20})$$

На рис. Б.5 приведены графики, отражающие зависимость максимально возможного расстояния между опорами гидроцилиндра  $L_p$  от количества гидроцилиндров  $n_{GC}$  и диаметра поршня  $D_{\Pi}$ , построенные для секции диаметром  $D_{GC} = 3,7$  м.

Другим ограничением расстояния  $L_p$  может стать продольная устойчивость сжимаемого штока. Максимально допустимое расстояние между опорами можно определить по формуле

$$L_{p\max} = \frac{356,8 \cdot d_{шт}^2}{D_{\Pi} \cdot k_3 \sqrt{p \cdot [n]}}, \quad (\text{Б.21})$$

где  $d_{шт}$  – диаметр штока гидроцилиндра, м;  $k_3$  – коэффициент закрепления, для шарнирного закрепления обоих концов гидроцилиндра,  $k_3=1$ ;  $[n]$  – коэффициент запаса (обычно  $[n] = 3,5...4$ );  $p$  – рабочее давление в гидроциindre, Па.

Диаметр штока обычно принимается, исходя из соотношения

$$d_{шт} = (0,3 \div 0,7) \cdot D_{п}. \quad (Б.22)$$

Для случая сжимающей нагрузки рекомендуется принимать большие значения выражения (Б.22).

При работе гидроцилиндров трансмиссии в разных фазах выдвижения необходимо обеспечить возврат поршня одного гидроцилиндра или группы гидроцилиндров за время выдвижения других поршней на величину разности хода между соседними фазами. Это обеспечивается тем, что скорость обратного хода  $v_{обр.х}$  должна быть больше скорости рабочего хода  $v_{р.х}$  в  $n_{фаз}$  раз, т. е.

$$v_{обр.х} \geq n_{фаз} \cdot v_{р.х}. \quad (Б.23)$$

Исходя из этого условия, диаметр штока  $d_{шт}$  при постоянном расходе рабочей жидкости в гидроцилиндрах  $Q_{pi}$  будет определяться по формуле

$$d_{шт} = D_{п} \sqrt{1 - \frac{1}{n_{фаз}}}. \quad (Б.24)$$

Подставляя выражение (Б.24) в (Б.21), получим:

$$L_{р\max} = \frac{356,8 \cdot \left( D_{п} \sqrt{1 - \frac{1}{n_{фаз}}} \right)^2}{D_{п} \cdot k_3 \sqrt{p \cdot [n]}} = \frac{356,8 \cdot D_{п} \cdot \left( 1 - \frac{1}{n_{фаз}} \right)}{k_3 \sqrt{p \cdot [n]}}. \quad (Б.25)$$

С учетом выражения (Б.3) при числе гидроцилиндров, совершающих обратный ход  $n_{обр} = 1$ , число промежуточных положений (фаз) будет

$$n_{фаз} = n_{гц}. \quad (Б.26)$$

Тогда выражение (Б.25) примет вид

$$L_{р\max} = \frac{356,8 \cdot D_{п} \cdot \left( 1 - \frac{1}{n_{гц}} \right)}{k_3 \sqrt{p \cdot [n]}}. \quad (Б.27)$$

На рис. Б.5 приведена зависимость допустимого по условию продольной устойчивости расстояния  $L_{р\max}$  от числа гидроцилиндров для ряда диаметров поршня  $D_{п}$ .

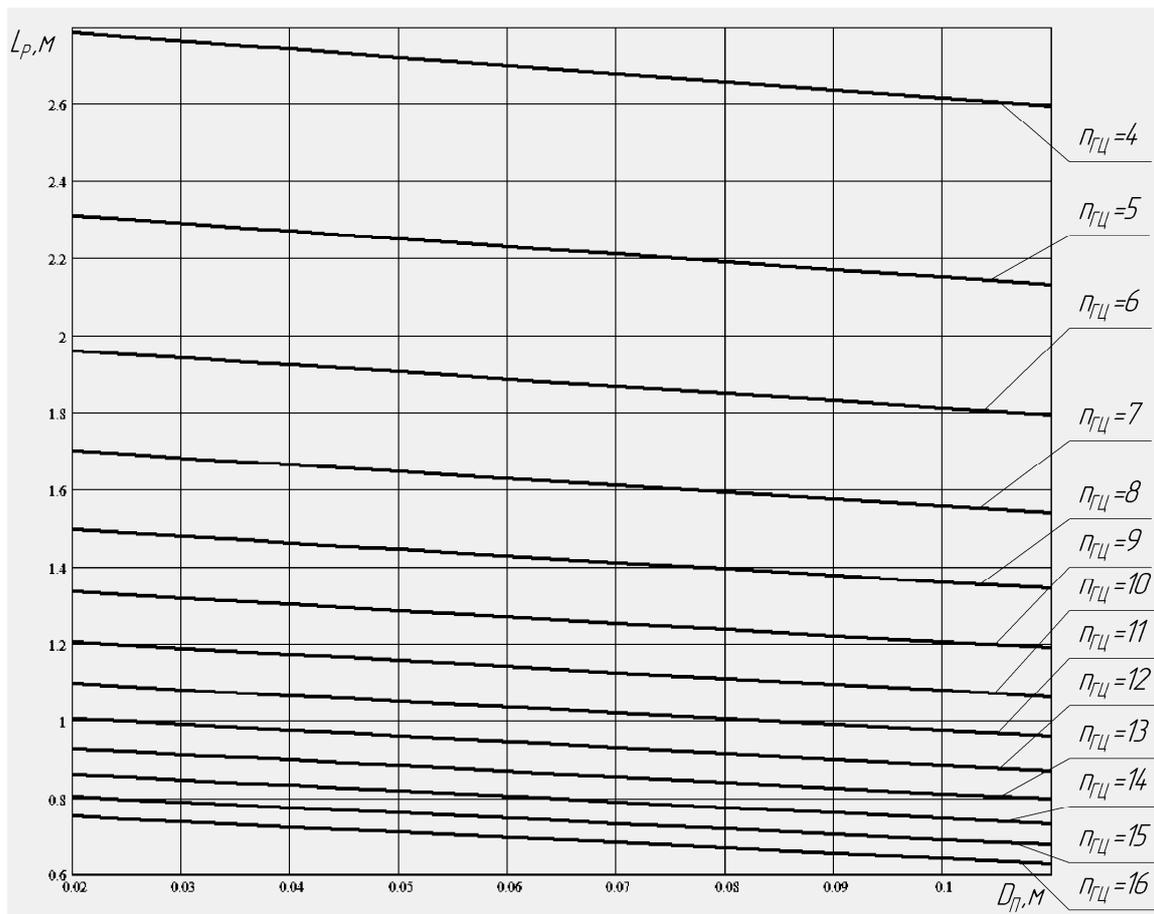


Рис. Б.5. Зависимость максимального расстояния  $L_p$  по конструктивному условию

Как видно из графиков на рис. Б.5, при малых диаметрах поршня допустимое расстояние  $L_{p_{\max}}$  между опорами гидроцилиндра по условию устойчивости значительно меньше максимально допустимого расстояния  $L_p$  по конструктивному условию размещения. На рис. Б.6, Б.7 показан график зависимости  $L_p$ , построенный с учётом обоих условий для различного числа гидроцилиндров.

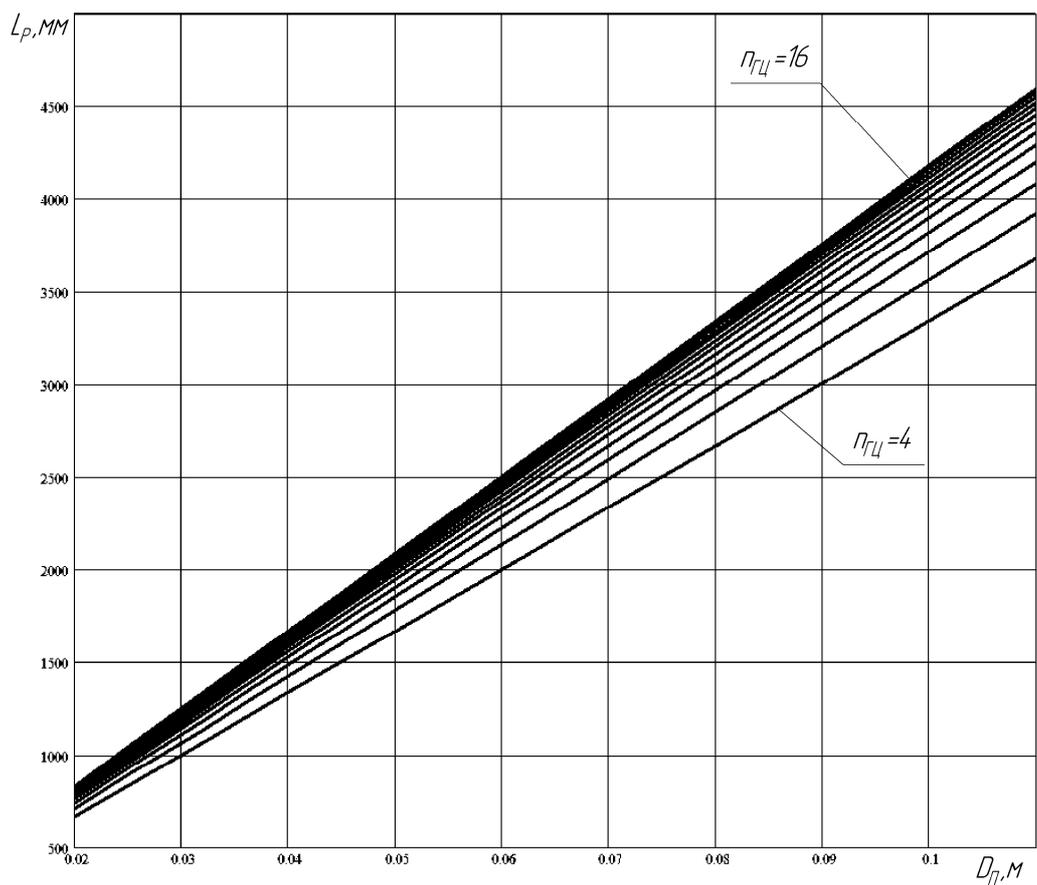


Рис. Б.6. Зависимость допустимого расстояния  $L_{P_{max}}$  по условию устойчивости

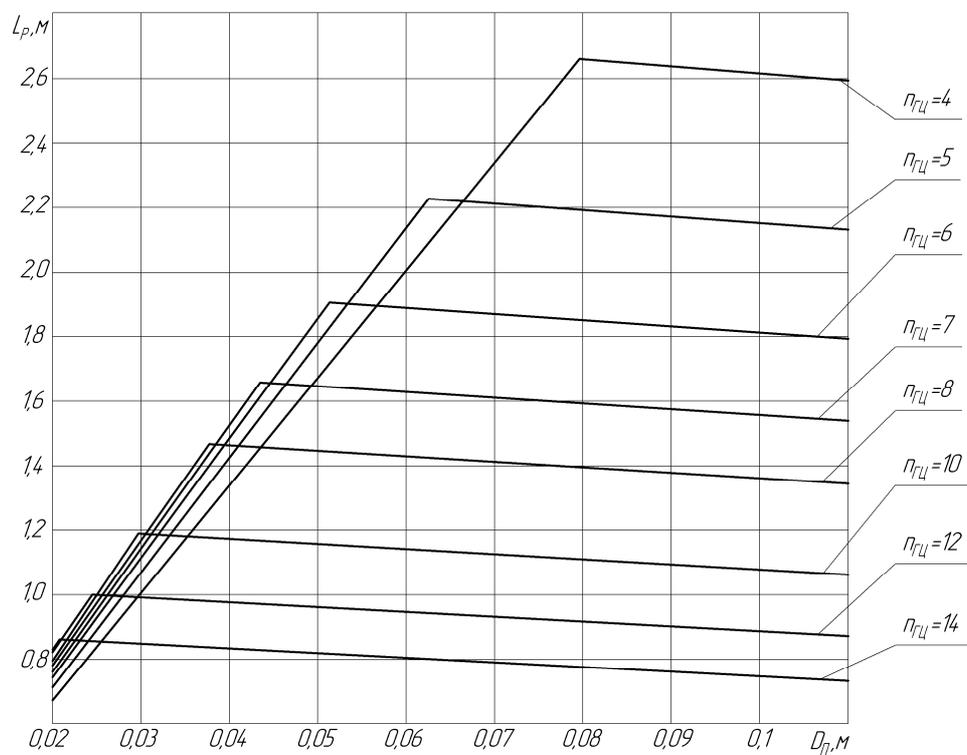


Рис. Б.7. Зависимость расстояния  $L_p$  по конструктивному условию и условию устойчивости

Помимо рассмотренных ограничений длины  $L_p$  по конструктивному условию и условию устойчивости, также ограничением величины  $L_p$  может выступать и требуемый габарит пространства внутри геохода. С целью его увеличения необходимо уменьшать величину расстояния между опорами  $L_p$  и, соответственно, длину рабочего хода  $L_X$ .

Для определения вращающего момента подставим в формулу (Б.6) значение  $\delta_i = \frac{L_X}{n_{\phi_{A3}} - 1}$ , т. е. для конечного положения каждой фазы выдвигения штоков

$$M_{BP} = n_{ГР} \sum_{i=1}^{n_{РАБ}} p_{ГР} \cdot D_{ГЦ} \cdot \frac{\pi \cdot D_{П}^2}{8} \sqrt{1 - \left( \frac{L_0 + \frac{L_X}{n_{\phi_{A3}} - 1} \cdot i}{D_{ГЦ}} \right)^2}. \quad (\text{Б.28})$$

После преобразований с учетом формул (Б.10)–(Б.12) получим

$$M_{BP} = n_{ГР} \sum_{i=1}^{n_{РАБ}} p_{ГР} \cdot (D_{ГЦ} - 4D_{П}) \cdot \frac{\pi \cdot D_{П}^2}{8} \sqrt{1 - \left( \frac{\frac{L_p}{1,8} + \frac{L_p}{\left(1 + \frac{1}{0,8}\right)(n_{\phi_{A3}} - 1)} \cdot i}{D_{ГЦ} - 4D_{П}} \right)^2}. \quad (\text{Б.29})$$

На рис. Б.8 приведены графики развиваемого трансмиссией вращающего момента  $M_{BP}$  с различным числом гидроцилиндров, построенные по формуле (Б.29) для следующих параметров:  $n_{ГР} = 1$ ;  $D_{ГЦ} = 3,7$  м. Значения  $L_p$  взяты с рис. Б.6. Давление  $p_{ГР} = 10$  МПа принято на основе рекомендаций.

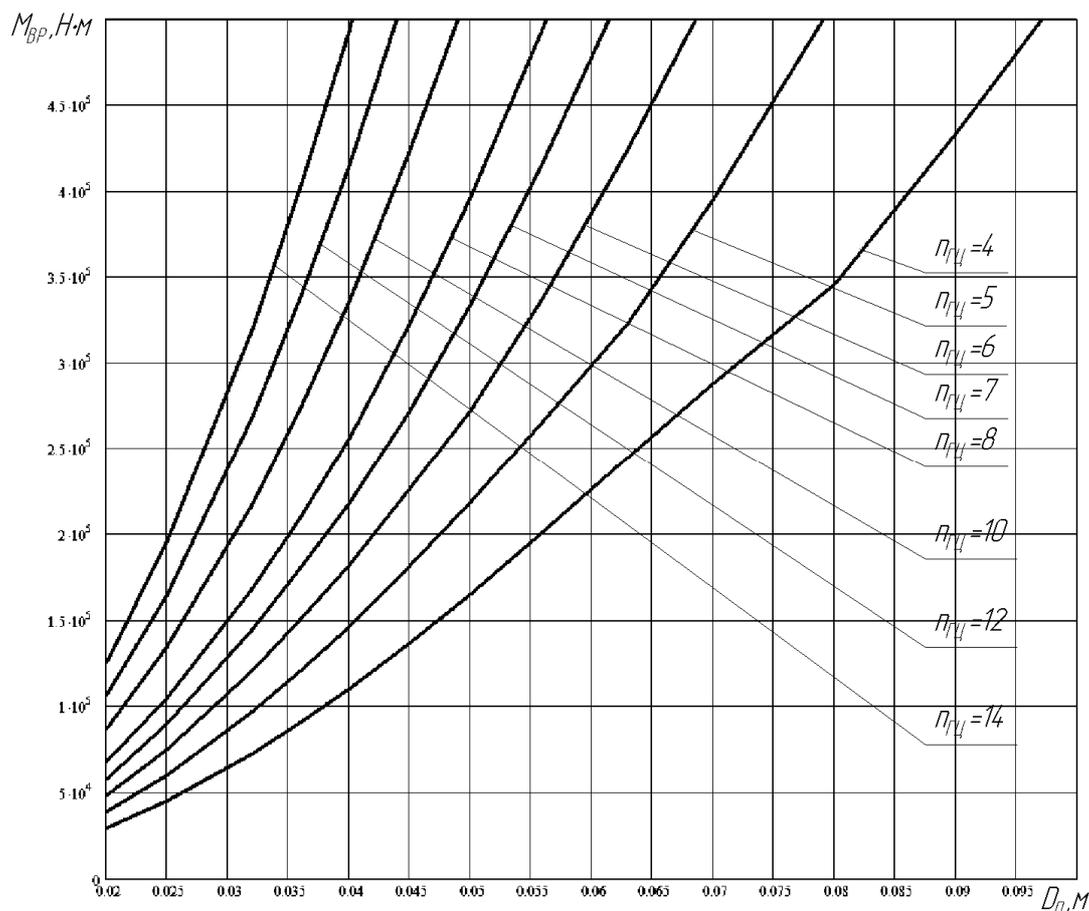


Рис. Б.8. Зависимость развиваемого трансмиссией вращающего момента  $M_{BR}$   
 Определение параметров гидроцилиндров ( $D_{II}$ ,  $d_{шт}$ ,  $L_X$ ,  $F$ ,  $p$ ,  $Q$ )

При выборе параметров гидроцилиндров рекомендуется первоначально определить главный параметр, определяющий важнейшие конструктивные и эксплуатационные качества машины. В качестве главного параметра рекомендуется принимать внутренний диаметр гидроцилиндра (диаметр поршня) –  $D_{II}$ . Основными параметрами гидроцилиндров являются:

- диаметр штока –  $d_{шт}$ ,
- ход поршня –  $L_X$ ,
- рабочее давление –  $p$ .

Как видно из графика (рис. Б.8), для четырёх гидроцилиндров одной группы ( $n_{гц} = 4$ ), находящихся в уникальных фазах выдвигения ( $n_{РАБ} = 3$ )

при требуемом моменте  $\frac{M_{тр}}{n_{гц}} = \frac{3,5 \cdot 10^6}{4} = 0,875 \cdot 10^6$  Н·м, диаметр поршня дол-

жен составлять не менее 0,08 м. С учетом двукратного запаса и в соответствии с ГОСТ 6540–68 примем диаметр поршня равным  $D_{II} = 0,08$  м.

Диаметр штока принимаем по формуле (Б.22)

$$d_{шт} = 0,7 \cdot D_{II} = 0,7 \cdot 0,08 = 0,056 \text{ м.}$$

По ГОСТ 6540–68 стандартное значение диаметра штока  $d_{шт} = 0,056$  м.

Ход поршня (со штоком) определим по выражению (Б.20), предварительно определив допустимое значение  $L_p$  по графику на рис. Б.5–Б.7.

Так как гидроцилиндры соседних групп будут располагаться в одной плоскости с поворотом на  $90^\circ$  вокруг продольной оси секции, то  $L_p$  необходимо определять для числа гидроцилиндров в одной плоскости, равного  $n_{гц} = 8$

$$L_x = \frac{L_p}{1 + \frac{1}{(0,3 \div 0,8)}} = \frac{1,4}{1 + \frac{1}{0,6}} = 0,576 \text{ м.}$$

По ГОСТ 6540–68 стандартное значение длины хода  $L_x = 0,5$  м.

Фактические значения расстояний  $L_p$  и  $L_x$  могут иметь меньшие значения, которые уточнятся в результате прорисовок конструкции и размещения остальных элементов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альтшуллер Г. С.* Найти идею / Г. С. Альтшуллер. – Новосибирск : 1986. – 209 с.
2. *Альтшуллер Г. С.* Творчество как точная наука / Г. С. Альтшуллер. – М. : Сов. радио, 1979. – 184 с.
3. *Анализ процесса и оборудования для десублимации гексафторида урана и других летучих фторидов / Б. П. Белозеров, И. Ю. Русаков, Г. Г. Андреев и др. // Цветные металлы. – 2012. – № 1. – С. 58-61.*
4. *Анурьев В. И.* Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. Т. 2 / В. И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 1992. – 783 с.
5. *Башта Т. М.* Объёмные гидравлические приводы / Т. М. Башта, И. З. Зайченко, В. В. Ермаков. – М. : Машиностроение, 1969. – 504 с.
6. *Белозеров Б. П.* Дизайн машин / Б. П. Белозеров, В. Л. Бирик, В. В. Седнев. – Томск : Изд-во НИ ТПУ, 2012. – 120 с.
7. *Белозеров Б. П.* Инновационный менеджмент / Б. П. Белозеров, Н. В. Брит. – Северск : Изд-во СГТА, 2007. – 93 с.
8. *Белозеров Б. П.* Курсовое проектирование по технологии машиностроения / Б. П. Белозеров, А. Б. Ефременков. – Томск : Изд-во ТПУ, 2008. – 164 с.
9. *Белозеров Б. П.* Основы создания машин / Б. П. Белозеров, Н. Л. Логвинова, С. Г. Фисоченко. – Юрга : Изд-во ЮТИ ТПУ, 2007. – 82 с.
10. *Белозеров Б. П.* Основы создания машиностроительных изделий / Б. П. Белозеров, Н. Л. Логвинова. – Томск : Изд-во Юти ТПУ, 2011. – 115 с.
11. *Белозеров Б. П.* Свойства, технологии переработки и применения полимеров, пластических масс и композиционных материалов / Б. П. Белозеров, В. В. Гузеев, К. Е. Перепелкин. – Северск : Изд-во СГТА, 2010. – 242 с.
12. *Белозеров Б. П.* Свойства, технология переработки и применения пластмасс и композиционных материалов / Б. П. Белозеров, В. В. Гузеев, К. Е. Перепелкин. – Томск : Изд-во НТЛ, 2004. – 224 с.
13. *Борисов В. И.* Общая методология конструирования / В. И. Борисов. – М. : Машиностроение, 1978. – 210 с.
14. *ГОСТ Р15.000–94.* Система разработки и постановки продукции на производство. Основные положения.
15. *ГОСТ 15.001–88.* Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения.
16. *ГОСТ 2.051–2006. ЕСКД.* Электронные документы. Общие положения.
17. *ГОСТ 2.052–2006. ЕСКД.* Электронная модель изделия. Общие положения.
18. *ГОСТ 2.102–68. ЕСКД.* Виды и комплектность конструкторских документов (с изм. № 8 от 01.09.2006 г.).

19. *ГОСТ 2.125–2008. ЕСКД. Правила выполнения эскизных конструкторских документов. Общие положения.*
20. *Детали машин. Атлас конструкций / под ред. Д. Н. Решетова. – М. : Машиностроение, 1992. – 250 с.*
21. *Долодаренко А. Г. Методика курсового проектирования металлорежущих станков / А. Г. Долодаренко. – Тюмень : Изд-во Тюменского индустриального института, 1971. – 73 с.*
22. *Дунаев П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин : учебное пособие для студентов технических специальностей вузов / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М. : Академия, 2003. – 456 с.*
23. *Ерёмин А. Н. Методы кинематического расчёта привода подач металлорежущих станков / А. Н. Ерёмин. – Томск : Изд-во ТПИ, 1969. – 42 с.*
24. *Зиневич В. Д. Пневматические двигатели горных машин / В. Д. Зиневич, Г. З. Ярмоленко, Е. Г. Калита. – М. : Недра, 1975. – 344 с. : ил.*
25. *Иосилевич Г. Б. Детали машин / Г. Б. Иосилевич. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.*
26. *Кацман М. М. Электрические машины / М. М. Кацман. – М. : Высшая школа, 1990. – 463 с. : ил.*
27. *Ким В. С. Теория и практика экструзии полимеров / В. С. Ким. – М. : Колос, 2005. – 568 с.*
28. *Кисаримов Р. А. Электропривод : справочник / Р. А. Кисаримов. – М. : ИП РадиоСофт, 2008. – 352 с.*
29. *Конструирование машин : справочно-методическое пособие : в 2 т. / под общ. ред. К. В. Фролова. – М. : Машиностроение, 1994. – 528 с.*
30. *Кочергин А. И. Конструирование и расчёт металлорежущих станков и станочных комплексов / А. И. Кочергин. – Минск : Высшая школа, 1991. – 382 с.*
31. *Кравчик А. Э. Выбор и применение асинхронных двигателей / А. Э. Кравчик, Э. К. Стрельбицкий, М. М. Шлаф. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 96 с.*
32. *Кункву Ли. Основы САПР (CAD / CAM / CAE) / Ли Кункву. – СПб. : Питер, 2004. – 560 с.*
33. *Лащинский А. А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры : справочник для вузов / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – 3-е изд., стереотипное ; перепечатка с третьего издания 1970 г. – М. : ИД Альянс, 2008. – 752 с.*
34. *Методология конструирования / под ред. Б. П. Белозерова. – Томск : Изд-во НИ ТПУ, 2012. – 196 с.*
35. *Микаэли В. Экструзионные головки для пластмасс и резины. Конструкции и технические расчеты / В. Микаэли. – СПб. : Профессия, 2007. – 472 с.*
36. *Москаленко В. В. Электрический привод / В. В. Москаленко. – М. : Мастерство, 2000. – 310 с.*

37. Орлов П. И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие : в 2 кн. Кн. 1 / П. И. Орлов ; под ред. П. Н. Учаева. – Изд. 3-е, испр. – М. : Машиностроение, 1988. – 560 с.

38. Петров В. П. Асинхронные электродвигатели общего назначения / В. П. Петров, А. Э. Кравчик. – М. : Энергия, 1988. – 96 с.

39. Підйомно-транспортні машини: розрахунки підймальних і транспортних машин : підручник / В. С. Бондарев, О. І. Дубінець, М. П. Колесник та ін. – К. : Вища шк., 2009. – 734 с.

40. Проников А. С. Расчёт и конструирование металлорежущих станков / А. С. Проников. – М. : Высшая школа, 1967. – 200 с.

41. Разработка и внедрение на Сибирском химическом комбинате производства для переработки оружейного урана в энергетический / В. С. Акишин, Б. П. Белозеров, А. М. Гушин, В. М. Короткевич, Г. П. Хандорин // Цветные металлы. – 2012. – № 1. – С. 43–45.

42. Решетов Д. Н. Детали машин / Д. Н. Решетов. – М. : Машиностроение, 1989. – 496 с.

43. Рунге В. Ф. История дизайна, науки и техники : учеб. пособие : в 2 кн. Кн. 1 / В. Ф. Рунге. – М. : Архитектура-С, 2006. – 368 с.

44. Рябинин Д. Д. Исследование течения расплавов полимеров в формирующих каналах плоскощелевых экструзионных головок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.04.09 / Д. Д. Рябинин. – Днепропетровск, 1974. – 27 с.

45. Сокольський О. Л. Розроблення плоскощільних головок для екструзійного формування листових та плівкових виробів із полімерних композицій : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.05.13 / О. Л. Сокольський. – К., 2005. – 173 с.

46. Справочник конструктора / под ред. И. И. Матюшева. – СПб. : Политехника, 2006. – 1027 с.

47. Справочник конструктора : справочно-методическое пособие / под ред. И. И. Матюшева. – СПб. : Политехника, 2006. – 1027 с.

48. Справочник по электрическим машинам : в 2 т. Т. 1 / под общ. ред. И. Л. Копылова и Б. К. Клокова. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.

49. Торнер Р. В. Переработка полимеров / Р. В. Торнер. – М. : Химия, 1976. – 404 с.

50. Чередніченко П. І. Плоскощільні головки для ламінування матеріалів. Конструкція, розрахунок, проектування / П. І. Чередніченко, В. Г. Бакалов, О. В. Бакалов. – Чернігів : ЧДТУ, 2009. – 141 с.

51. Шаповал В. М. Механика эленгационного течения полимеров / В. М. Шаповал. – М. : Физматлит, 2007. – 176 с.



НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**Бєлoзьoрoв** Борис Павлович  
**Бібік** Владислав Леонідович  
**Єфременков** Андрій Борисович  
**Бакалов** Валерій Григорович

# **МЕТОДОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ І КОНСТРУЮВАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ ВИРОБІВ**

**МОНОГРАФІЯ**  
(Російською мовою)

Літературний редактор  
Коректор  
Комп'ютерна верстка і макетування

Л.М. Сила  
О.С. Смєлова  
В.М. Олєфіренко  
Т.В. Коваленко

Підписано до друку 12.12.2014. Формат 60×84/16.  
Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 12,6.  
Тираж 300 пр. Замовлення № 247/14.

---

Редакційно-видавничий відділ  
Чернігівського національного технологічного університету  
14027, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.