

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»  
НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра металлургических технологий и оборудования

**Д.Р. Ганин**

# **ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**Учебно-методическое пособие**  
по выполнению домашнего задания/контрольной работы  
для студентов направления подготовки бакалавров  
15.03.02 Технологические машины и оборудование  
всех форм обучения

Новотроицк, 2020

УДК 621.01  
ББК 30.4-02  
Г 19

Рецензенты:

*Доцент кафедры металлургических технологий и оборудования Новотроицкого филиала ФГАОУ ВО «ННТУ «МИСиС», к.т.н.*

*М.В. Харченко*

*Ведущий специалист дирекции по персоналу АО «Уральская Сталь», к.т.н.*

*А.В. Заводяный*

Ганин Д.Р. Основы проектирования: учебно-методическое пособие по выполнению домашнего задания/контрольной работы для студентов направления подготовки бакалавров 15.03.02 Технологические машины и оборудование всех форм обучения. – Новотроицк: НФ ННТУ «МИСиС», 2020. – 103 с.

Пособие предназначено для самостоятельной работы студентов при выполнении домашнего задания/контрольной работы по дисциплине «Основы проектирования».

Рассмотрены требования к тематике, содержанию, организации, выполнению, оформлению домашнего задания/контрольной работы, предусмотренных учебными планами Новотроицкого филиала ННТУ «МИСиС».

Пособие составлено в соответствии с требованиями ОС ВО ННТУ «МИСиС» для бакалавров направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

*Рекомендовано Методическим советом НФ ННТУ «МИСиС»*

**ISBN 978-5-903472-33-8**

© Новотроицкий филиал  
ФГАОУ ВО «Национальный  
исследовательский технологический  
университет «МИСиС», 2020.

## Содержание

Введение.....	4
1 Цель выполнения, основные задачи и содержание домашнего задания/контрольной работы.....	7
2 Тематика домашних заданий/контрольных работ.....	8
3 Задание на домашнее задание/контрольную работу: состав, объем, руководство и организация выполнения.....	10
4 Основные понятия и определения, связанные с проектированием и конструированием машин и механизмов.....	12
5 Расчеты при проектировании.....	30
6 Назначение и состав привода.....	34
7 Сравнительные оценки приводов.....	57
8 Расчет электрического привода: кинематический и силовой. Выбор электродвигателя.....	65
9 Пример расчета ленточного конвейера с цилиндрическим косозубым редуктором и цепной передачей.....	71
10 Оформление домашнего задания/контрольной работы.....	74
11 Оценка выполнения домашнего задания/контрольной работы.....	94
12 Рекомендуемый перечень литературы для выполнения домашнего задания/контрольной работы.....	96
Список использованных источников.....	99
Приложение А. Образец бланка задания.....	101
Приложение Б. Образец титульного листа.....	102

## Введение

Процесс создания новой техники базируется на результатах фундаментальных и прикладных исследований и содержит этап умственной деятельности, называемый проектированием и (или) конструированием изделия.

Задачами данного этапа являются:

- 1) выявление потребности общества в том либо ином техническом изделии;
- 2) поиск идей и способов технических решений;
- 3) разработка конкретной конструкции изделия вместе с выпуском необходимой технической документации.

Согласно данной точке зрения проектирование и конструирование дополняют друг друга, выполняются инженерами-конструкторами, имеют общую цель – разработку нового изделия.

По другой точке зрения проектирование является основным видом инженерной деятельности [1], предшествует конструированию и заключается в выявлении общественной потребности в изделии, поиске идей, целесообразных методов и принципов действия, в синтезе функциональных структур, возможных вариантов. А под конструированием понимают разработку конкретной конструкции изделия на основе проектирования, где определяются: устройство, состав, взаимное расположение частей и элементов, способ их соединения и взаимодействия с учетом используемых материалов и т.п.

Во время конструирования выпускают чертежи сборочных единиц и деталей, разрабатывают другую необходимую для изготовления и эксплуатации изделия документацию.

Согласно третьей точке зрения конструирование включает в себя проектирование, а не наоборот, как в первом случае, так как под конструированием понимается создание технического объекта, а под проектированием – только поиск идей.

Проектирование и конструирование служат одной цели: разработке нового изделия, которым называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Под изделием подразумеваются все объекты материального производства и их составные части, машины, технологическое оборудование, механизмы, функциональные системы и др. Поэтому вытекает необходимость в получении студентами знаний и навыков конструкторов.

Перечисленные знания и указанные работы входят в компетенции и повседневные обязанности механиков металлургических предприятий, а изучение теоретических основ и методов проведения этих работ – необходимая ответст-

венная часть обучения бакалавров по профилю направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Изучение дисциплины «Основы проектирования» сопровождается выполнением домашнего задания/контрольной работы, являющихся самостоятельными работами студента, связанными с условиями, приближенными к тем, с которыми он столкнется после окончания обучения в высшем учебном заведении.

Качество выполнения домашнего задания/контрольной работы позволяет оценить способность студентов на основе приобретенных знаний технически грамотно решать практические задачи.

Настоящее пособие содержит требования к тематике, содержанию, организации, выполнению, оформлению домашнего задания/контрольной работы, предусмотренных учебными планами Новотроицкого филиала НИТУ «МИСиС» по дисциплине «Основы проектирования» направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование и предназначены для бакалавров, обучающихся по указанному направлению.

При выполнении домашнего задания/контрольной работы по дисциплине «Основы проектирования» обучающиеся приобретают знания, умения и навыки по следующим компетенциям: ПК-2.2 (знать принципы конструирования металлургических машин, содержание и стадии разработки конструкторской документации; уметь оформлять законченные проектно-конструкторские работы средствами автоматизированного проектирования; владеть навыками разработки рабочей проектной и технической документации на изделия металлургического машиностроения); ПК-3.1 (знать конструкции аппаратов и машин металлургического процесса, способы выполнения кинематических, силовых и прочностных расчетов механического оборудования; уметь конструировать узлы машин требуемого назначения с учетом обеспечения технологичности, экономичности, ремонтпригодности, стандартизации и унификации; владеть навыками конструирования типового оборудования и оформления проектно-конструкторской документации); ПК-3.3 (знать состояние и перспективы развития деталей узлов и машин и механизмов, основные критерии работоспособности деталей машин и виды их отказов); ПСК-1 (знать прогрессивные конструктивные и технические решения, используемые при проектировании металлургических машин и оборудования; уметь выявлять достоинства и недостатки конструкции, предлагать и обосновывать варианты совершенствования металлургических машин и оборудования, владеть навыками расчета и проектирования металлургических машин и оборудования различного технологического назначения); ПСК-3 (знать принцип работы, технические характеристики и особенности эксплуатации систем автоматизированного управления металлургиче-

ских машин и оборудования; уметь выполнять оценку технологической машины (агрегата) с позиций возможности реализации функции цели управления, обосновать необходимость и путь модернизации по соображениям эффективности управления; владеть навыками разработки функциональной схемы системы управления, методами оценки эффективности работы технологической машины с позиции достижения целей управления.

## **1 Цель выполнения, основные задачи и содержание домашнего задания/контрольной работы**

Целью курса «Основы проектирования» является освоение основ и особенностей проектно-конструкторской деятельности.

Основные задачи домашнего задания/контрольной работы:

- изучение основных стадий и этапов проектно-конструкторской деятельности;
- изучение методов конструирования базовых деталей;
- изучение методов кинематических и силовых расчетов;
- изучение требований единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Домашнее задание/контрольная работа по дисциплине «Основы проектирования» должны содержать:

- анализ технологической схемы, в которой участвует данное оборудование для определения его роли в обеспечении производства конечной продукции;
- анализ конструкции привода оборудования;
- кинематический расчет привода оборудования;
- выбор электродвигателя (мотор-редуктора) или гидравлического (пневматического привода);
- сборочный чертеж (чертеж общего вида) привода с необходимой спецификацией, а также гидравлическую (пневматическую) схему привода при необходимости.

## 2 Тематика домашних заданий/контрольных работ

Тематика домашних заданий/контрольных работ определяется кафедрой и должна соответствовать компетентностной модели выпускника по данному направлению, отвечать современному уровню развития науки и техники, иметь максимальную приближенность к реальным условиям производства.

Целесообразно чтобы тематика домашних заданий/контрольных работ соответствовала основным научным направлениям кафедры, основывалась на фактическом материале профильных учреждений и предприятий, в частности АО «Уральская Сталь». Количество утвержденных тем должно быть достаточным для выдачи в учебной группе индивидуального задания каждому студенту.

Тема домашнего задания/контрольной работы может быть предложена студентом при условии обоснования им ее целесообразности и соответствия вышеуказанным требованиям.

При выборе темы домашнего задания/контрольной работы рационально выбирать такую тему, которая затем может быть использована в рамках выполнения выпускной квалификационной работы, а домашнее задание/контрольная работа стать ее составной частью.

Некоторые темы домашних заданий/контрольных работ по дисциплине «Основы проектирования», выдававшиеся в прошлые годы:

- «Проектирование модернизированного привода самобалансного грохота доменного цеха АО «Уральская Сталь»;
- «Проектирование модернизированного привода мостового крана г/п 20 т плавильного цеха №1 АО «Актюбинский завод ферросплавов»;
- «Проектирование привода роликового конвейера обдувочной камеры линии ротопакера ООО «ЮУГПК»;
- «Проектирование модернизированного привода дробильно-фрезерной машины углеподготовительного цеха коксохимического производства АО «Уральская Сталь»;
- «Проектирование привода вращения барабана лабораторного магнитного сепаратора»;
- «Проектирование модернизированного привода щековой дробилки СМД-108А АО «Актюбинский завод ферросплавов»;
- «Проектирование привода механизма наклона лабораторной индукционной печи»;
- «Проектирование привода подборщика просыпи для Z-образного конвейера Актюбинского завода ферросплавов АО «ТНК «Казхром»;
- «Проектирование модернизированных приводов пластинчатых конвейеров БВ-1 и БВ-2»;



- «Проектирование модернизированного привода барабана загрузочного устройства агломерационной машины № 2 АО "Уральская Сталь»;
- «Проектирование привода устройства для оценки доли металлической части в скрапе методом водоизмещения»;
- «Проектирование привода механизма подъема модернизированной шахтной подъемной установки ШПМ Донского ГОКа АО "ТНК "Казхром»;
- «Проектирование привода дозирующего устройства лабораторного магнитного сепаратора НФ НИТУ "МИСиС»;
- «Проектирование модернизированного привода винтового конвейера для выгрузки пыли электросталеплавильного цеха АО "Уральская Сталь»;
- «Проектирование модернизированного привода барабанного смесителя агломерационного цеха АО "Уральская Сталь».

### **3 Задание на домашнее задание/контрольную работу: состав, объем, руководство и организация выполнения**

Задание на домашнее задание/контрольную работу по дисциплине «Основы проектирования» оформляется на специальном бланке (Приложение А), выдается индивидуально каждому студенту и при этом должно содержать конкретное название темы, необходимые для выполнения домашнего задания/контрольной работы исходные данные, перечень основных литературных источников, перечень подлежащих разработке вопросов, перечень графического материала, перечень разделов (глав) текстовой части домашнего задания/контрольной работы.

В задании на домашнее задание/контрольную работу указываются даты выдачи задания и представления их к защите. Задание выдается студенту под роспись, подписывается руководителем работы и утверждается заведующим кафедрой.

При необходимости руководитель в ходе выполнения домашнего задания/контрольной работы может изменить название темы и исходные данные, но эти изменения не должны приводить к значительному увеличению объема самостоятельной работы студента.

Каждое задание на выполнение домашнего задания/контрольной работы по дисциплине «Основы проектирования» должно отвечать времени, отведенному на их выполнение.

Домашнее задание/контрольная работа по дисциплине «Основы проектирования» включает в себя:

- пояснительную записку в объеме 20-25 печатных страниц формата А4;
- графическую часть в виде сборочного чертежа, на котором в объеме не менее одного листа формата А1 с необходимой спецификацией изображено проектируемое оборудование (привод машины).

Пояснительная записка является основным документом домашнего задания/контрольной работы и содержит информацию о выполненных разработках и обосновании принятых решений.

В графической части домашнего задания/контрольной работы лишь отображаются результаты, формируемые и обосновываемые в пояснительной записке.

Руководство домашним заданием/контрольной работой и контроль за ходом их выполнения осуществляет преподаватель дисциплины «Основы проектирования».

Перед началом выполнения домашнего задания/контрольной работы студентам разъясняются: цели, задачи и порядок выполнения домашнего задания/контрольной работы; требования, предъявляемые к пояснительной записке и чертежам; сообщаются сроки отчетности и выдаются задания. Поясняется сущность выданных заданий, выделяются основные вопросы, подлежащие разработке, определяется объем работ, рекомендуется основная техническая и справочная литература, конструкторская, технологическая и нормативная документация.

После выбора и утверждения темы студент приступает к выполнению домашнего задания/контрольной работы, срок завершения работы над которыми определен заданием.

Процесс выполнения домашнего задания/контрольной работы по дисциплине «Основы проектирования» состоит из трех основных этапов:

1) подготовительного, когда собираются необходимые данные по объекту исследования, разрабатывается план домашнего задания/контрольной работы;

2) исполнительного, во время которого детально прорабатывается методическая литература, анализируются данные по объекту проектирования, выбираются методы решения поставленных в домашнем задании/контрольной работе задач, осуществляется формирование разделов домашнего задания/контрольной работы;

3) оформительского, во время которого осуществляется написание текстовой части и оформляется графический материал для проверки и защиты домашнего задания/контрольной работы.

#### **4 Основные понятия и определения, связанные с проектированием и конструированием машин и механизмов**

Согласно ГОСТ 34.003-90 под проектированием понимается процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях еще несуществующего объекта. Таким образом, проектирование – это процесс создания модели оптимального качества несуществующего объекта.

Под проектом технического объекта понимается комплекс технической документации, на основании которого можно определить устройство этого объекта и все необходимые данные по разработке его конструкции, изготовлению, контролю, приемке, испытаниям, эксплуатации и ремонту.

Проектные процедуры выполняются во времени, поэтому в процессе проектирования выделяют стадии и этапы. Стадии разработки конструкторской документации и этапы работ установлены ГОСТ 2.103-68, который обобщает накопленный в передовых странах опыт по проектированию машин, приборов и аппаратов.

Первая стадия – *разработка технического задания.*

Это один из наиболее ответственных этапов проектирования, в значительной степени определяющий эффективность разработки, которая не является формальной процедурой, так как уточняется в процессе всего периода разработки изделия. Содержание, общий порядок разработки, согласования и утверждения технического задания устанавливает ГОСТ Р 15.201-2000. Перед началом разработки технического задания формулируют задачу и разрабатывают требования к изделию с ограничениями.

При любой постановке задачи необходимо ответить на три основных вопроса: 1) какой цели должно служить проектируемое изделие? 2) какие обстоятельства, требования и ограничения должны учитываться? 3) какая последовательность действий, приводящих к выполнению этих требований, и чем заканчивается разработка?

При разработке технических требований с ограничениями очень важно указать, является ли данный показатель требованием или пожеланием, которое можно не выполнять, а руководствоваться, например, при оценке вариантов.

Требования могут быть следующих типов: 1) жесткие, при которых значение параметра выдерживается жестко; 2) жесткие, ограниченные диапазоном, не допускающие выход за определенные границы; 3) целевые с ограничениями и без них (степень выполнения этих требований может служить мерой оценки варианта, то есть целевые требования можно выполнять в разной степени); 4) необязательные (пожелания), которые в состав требований можно включать или не включать.

Основные показатели должны охватывать все наиболее важные стороны изделия и быть, по возможности, независимыми один от другого. Они могут иерархически разделяться на несколько ступеней (различная значимость) и касаться различных сторон (экономических, технических и др.). Показатели желательно оценивать количественно, но можно и качественно (лучше, хуже), что важно при оценке вариантов.

В зависимости от назначения изделия в состав требований могут входить различные признаки (от размеров до способов утилизации):

- геометрия (размеры, число и др.);
- кинематика (вид и направление движения, скорость, ускорение);
- сила (значение и направление, частота нагружения, деформации, жесткость);
- энергия (мощность, КПД, трение, вентиляция, параметры состояния такие, как давление, температура, влажность, входящая энергия и др.);
- материал (физические и химические свойства основного, вспомогательного и рекомендуемого материала);
- сигнал (вид показателей, входные и выходные сигналы, форма сигнала, контролирующие и передающие приборы);
- безопасность (защитные системы, техника безопасности, окружающая среда);
- эргономика (отношение «человек-машина», учет физиологических возможностей человека, условия обслуживания);
- изготовление (условия изготовления, качество, ограниченность площадей);
- контроль (возможность контроля, особые предписания);
- монтаж (условия монтажа, сборка, фундамент);
- транспортирование (ограничение размеров, грузоподъемность транспортных и подъемных средств, условия доставки);
- использование (уровни шума, износ, условия эксплуатации);
- технический уход (наладка, покраска, смазка, инспекция);
- утилизация (вторичное использование, уничтожение, повторное применение);
- цена (допустимые издержки производства, стоимость инструмента, амортизация и инвестиции);
- срок (окончание разработки, сетевое планирование, срок поставки).

*Примерный состав технического задания изделия машиностроительного производства:*

- 1) Наименование и область применения.
- 2) Основание для разработки.

3) Цель и назначение разработки.

4) Источники разработки.

5) Технические требования:

- состав изделия;
- показатели назначения;
- требования к надежности;
- требования к технологичности;
- требования к уровню унификации и стандартизации;
- требования к безопасности;
- требования к эстетичности и эргономичности;
- требования к патентной чистоте;
- требования к составным частям изделия, сырью, исходным и эксплуатационным материалам;
- условия эксплуатации;
- требования к маркировке и упаковке;
- требования к транспортированию и хранению;
- дополнительные требования.

6) Экономические показатели.

7) Стадии и этапы разработки.

8) Порядок контроля и приемки.

Техническое задание в значительной степени охватывает постановку задачи и основные требования к разрабатываемому изделию.

Процедура разработки требований заключается в следующем:

- проводится основательный анализ конкурирующих изделий с выявлением слабых и сильных сторон;
- учитываются техническое задание заказчика, результаты обсуждений специалистов, данные, полученные из различных источников, здравый смысл;
- используется имеющийся опыт.

*Пример.* Для домкрата наиболее важные требования (это только часть технического задания, которое значительно шире) могут выглядеть так:

1. Должен обслуживаться человеком.
2. Работа при любых погодных условиях, кроме экстремальных.
3. Желательно обеспечить возможность использования и на песчаном грунте.
4. Масса не более 5 кг.
5. Источник энергии – человек.
6. Максимальная прилагаемая человеком сила менее 100 Н.
7. Развиваемая сила - более 5000 Н.
8. Расстояние между опорной и подъемной площадками не более 100 мм.

9. Наибольший размер в собранном состоянии - 500 мм.
10. Объем производства – 10 тысяч в год.
11. Цена на 10% ниже существующей.
12. Желательно использование коррозионностойкого материала для основных деталей.
13. Следует исключить повреждения шасси и защитного покрытия.
14. Желательный срок службы – 20 лет
15. Величина подъема при одном движении (один качок) - 1 мм.
16. Скорость опускания – 2 мм/с.
17. Использование при ремонте стандартных ключей от автомобиля.
18. Смазка консистентная (может быть указан тип смазочного материала) – один раз в год.

Также могут быть установлены ограничения размеров в рабочем состоянии, места хранения (гараж, автомашина) и др.

Разработка исходных основных требований к изделию является весьма важным этапом проектирования, так как служит для дальнейшего уяснения, уточнения и детализации поставленной задачи, используется и дополняется в течении всего процесса конструирования (на любом этапе) и может лежать в основе оптимизации конструкторских решений.

Этот документ содержит наименование и основное назначение объекта, его особенности, в зависимости от которых устанавливаются такие показатели, как производительность, надежность и долговечность, массогабаритные, энергетические, показатели качества, экономические показатели и специальные требования заказчика к изделию.

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

Вторая стадия – *разработка технического предложения.*

Техническое предложение - совокупность конструкторских документов, обосновывающих техническую и технико-экономическую целесообразность разработки изделий на основе предложений в техническом задании, рассмотрения вариантов возможных решений с учётом достижений науки и техники в стране и за рубежом, патентных материалов, возможностей машиностроительных заводов отрасли и смежных отраслей (выполняется в соответствии с ГОСТ 2.118-73).

На данном этапе проектирования возможны изготовление и исследование материальных и электронных макетов, требования к которым оговариваются

ГОСТ 2.002-72 и ГОСТ 2.052-2006. Техническое предложение утверждается заказчиком и генеральным подрядчиком.

Техническое предложение должно содержать указания и обоснования по принципиальному устройству объекта, целесообразности использования в его конструкции тех или иных технических решений, а также сравнительную оценку вариантов этих решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей [2].

В техническом предложении должны быть приведены сведения по технико-экономической оценке принятых решений, их надежности, необходимости полной или частичной экспериментальной проверки и т.д., а также объем и стадийность разработки проекта.

При разработке технического предложения рассматривается, как правило, ряд вариантов структурных схем конструкции. Выполнимость возможных структурных различных схем можно проанализировать исходя из опыта, с помощью моделирования и функционального анализа, лабораторного экспериментирования, создания макетов или сочетания указанных методов. В результате анализа выполняется отбор допустимых конструктивных решений, удовлетворяющих требованиям технического задания по показателям качества.

В техническом предложении отражаются результаты исследований по проверке патентной чистоты выбранного варианта технического решения, как в России, так и в странах предполагаемого экспорта.

В число обязательных документов технического предложения входят пояснительная записка и ведомость технического предложения. В зависимости от характера, назначения или условий производства объекта дополнительно могут быть выполнены: чертеж общего вида или габаритный чертеж, схемы, таблицы, расчеты, патентный формуляр, карта технического уровня и качества продукции.

Этап технического предложения носит наиболее творческий характер. Поиск технических решений – увлекательный и напряженный процесс. Чем больше идей, тем лучше для этапа разработки технического предложения. Начинать работу надо со сбора и изучения информации. Использование патентной информации при проектировании является необходимым условием.

Поиск новых решений осуществляется с помощью современных методов поиска решений проектной проблемы и поиска новых технических решений, в том числе с использованием компьютерных технологий.

Ниже приведен перечень наиболее распространенных методов проектирования:

- метод мозговой атаки;
- метод эвристических приемов;



- морфологический анализ и синтез;
- системотехнический подход;
- функционально-стоимостной анализ;
- проектирование систем человек-объект;
- поиск границ;
- кумулятивная стратегия Пейджа;
- исследование проектных ситуаций;
- исследование поведения потребителей;
- выбор шкал измерений;
- накопление и свертывание данных;
- матрица и сеть взаимодействий;
- трансформация системы;
- проектирование новых функций;
- контрольные перечни;
- ранжирование и взвешивание.

Считается, что на этапе технического предложения наиболее применимы первые три метода, хотя и остальные также не исключаются.

Технологи, участвуя вместе с проектантами и расчетчиками в выборе рационального варианта, заботятся о лучших предпосылках для использования стандартных и унифицированных узлов, типовых технологических процессов, сохранения номенклатуры конструкционных материалов.

Художник-конструктор (дизайнер) формирует требования технической эстетики и эргономики, разрабатывает варианты художественно-технического решения.

В техническом предложении приводятся сведения об оценке надежности, необходимости полной или частичной экспериментальной проверки рассматриваемых вариантов сложной системы.

Утверждение технического предложения определяет выбранный вариант решения системы. Затем осуществляется процесс проектирования по схеме:

эскизный проект → технический проект → рабочий проект.

Невыполнение работ, предусмотренных техническим предложением (техническое и технико-экономическое обоснование целесообразности проектирования, выбор различных вариантов возможных решений, сравнительная оценка решений), может привести к тому, что в основу разработки объекта ляжет не лучшее техническое решение.

Третья стадия – *разработка эскизного проекта*.

Эскизный проект – совокупность конструкторских документов, содержащих принципиальные конструкторские решения и разработки общих видов чертежей, дающих представление об устройстве разрабатываемого изделия,

принципе его действия, габаритах и основных параметрах, надежности и прочности. Сюда входит пояснительная записка с расчётами. На этой стадии начинается процесс конструирования объекта. Эскизный проект дает общее представление об устройстве, принципе работы, назначении, основных показателях, параметрах и габаритах технического объекта.

В состав технической документации на стадии эскизного проекта входят [2]:

- 1) чертеж общего вида объекта;
- 2) габаритный чертеж объекта;
- 3) теоретический чертеж объекта;
- 4) общие виды основных узлов;
- 5) пояснительная записка, имеющая следующие разделы:
  - а) выбор и обоснование предлагаемого технического решения;
  - б) техническая характеристика объекта (назначение, габариты, масса, потребляемая мощность, производительность, режим работы и т.д.);
  - в) описание конструкции объекта с указанием его особенностей;
  - г) расчет технико-экономических показателей работы объекта, достигнутыми на сегодняшний день;
  - д) результаты экспериментальных исследований, рекомендованных в техническом предложении;
  - б) расчеты (кинематические, динамические, прочностные и др.);
- 7) ведомость эскизного проекта.

Как правило, в состав эскизного проекта также входят: схемы (кинематические, гидравлические, электрические и др.), ведомость покупных изделий, ведомость согласования применения покупных изделий, программы и методики испытаний, расчеты, таблицы, патентный формуляр, карта технического уровня и качества продукции.

В состав эскизного проекта может входить также конструкторская документация макетов отдельных частей конструкции объекта для проверки принципов их работы, утвержденных в техническом предложении.

При эскизном проектировании в отличие от этапа технического предложения, расчеты выполняются по более уточненным данным и методикам. Если расчеты подтверждают экономический эффект, определенный на стадии разработки технического предложения, то принимается решение о продолжении разработки. В противном случае нужно внести в него изменения.

В ходе выполнения эскизного проекта совместно работают проектанты, технологи, материаловеды, специалисты по стандартизации и унификации, расчетчики, снабженцы, производственники, дизайнеры, экономисты. Так инже-

нер-технолог совместно с разработчиком проекта проводят отработку конструкции на технологичность, включающую в себя [2]:

- окончательный выбор рациональной конструктивной схемы;
- принципиальную оценку технологичности основных составных частей;
- выявление составных частей, которые могут быть стандартными или унифицированными;
- выявление составных частей, которые могут быть позаимствованы;
- выявление условий сборки изделия и составных частей;
- выявление номенклатуры используемых конструкционных материалов;
- выявление условий технического обслуживания изделия;
- выявление условий контроля, регулировки и подготовки изделия к функционированию;
- выявление условий подготовки производства и определение основных укрупненных данных для организации технологической подготовки производства;
- выявление новых технологических процессов, требующих технического оснащения и освоения.

Расчет показателей технологичности производится на основе базовых данных, установленных в техническом задании.

На стадии выполнения эскизного проекта продолжают работы по выявлению патентоспособных решений, которые могут появиться в ходе компоновки объекта. Оформляются заявки на изобретение как по устройству, так и по промышленному образцу. Выявляются страны или фирмы-потребители объекта, разрабатываются предложения о патентовании изобретений за границей.

Решаются задачи выбора принципиальных конструктивных решений, дающих общее представление об устройстве и принципе работы изделия.

На этапе эскизного проектирования выполняют приближенные расчеты тех элементов конструкции, которые не влияют существенно на конечные основные показатели проектируемого объекта, сформулированные в техническом задании. Отдельные элементы конструкции могут быть взяты без расчета, если имеются опробованные образцы, близкие к проектируемому. Но и при эскизном проектировании для технико-экономических расчетов, связанных с выбором оптимального варианта, нужна точная оценка параметров, влияющих на конечные результаты. Так, при проектировании механического привода для выбора типа передачи (зубчатой с неподвижными осями, планетарной, червячной и т.д.) необходимо иметь данные, которые позволяют найти размеры элементов, определяющих массу и габаритные размеры сравниваемых вариантов с погрешностью, не оказывающей существенного влияния на конечный резуль-

тат. Такой проект разрабатывают, если это предусмотрено техническим заданием или протоколом рассмотрения технического предложения.

Требования к выполнению эскизного проекта оговариваются ГОСТ 2.119-73.

Четвёртая стадия – *разработка технического проекта*.

Технический проект – совокупность конструкторских документов, содержащих окончательное решение и дающих полное представление об устройстве изделия. Такой проект выполняют, если он предусмотрен техническим заданием, протоколом рассмотрения технического предложения или эскизного проекта. При необходимости технический проект может отражать разработку вариантов отдельных составных частей изделия.

В соответствии с ГОСТ 2.120-73 при техническом проектировании предусматривают разработку общих видов и узлов проектируемого объекта, уточняют конструкцию деталей. При этом могут продолжаться и упомянутые выше исследования, в том числе изготовление и испытание опытных образцов, материальных и электронных макетов и их анализ.

В отличие от эскизного проекта на стадии технического проекта все конструктивные решения разрабатываются полностью. При этом техническая документация проекта должна давать не общее, а полное и окончательное представление об устройстве объекта, включая все необходимые данные для разработки рабочей документации и гарантийной прочности основных элементов конструкции при указанных в проекте размерах и сечениях деталей.

На этом этапе проводится всесторонняя теоретическая и экспериментальная проработка схемных и конструктивных решений разрабатываемого технического объекта на макетах или специальных установках.

Технический проект должен содержать расчетное подтверждение соответствия отдельно функциональных параметров и показателей качества заданным требованиям. После выбора элементов и определения режимов их использования проводится оптимизация показателей качества изделия.

Технологи, участвуя в разработке технического проекта, отрабатывают конструкцию на технологичность, добиваясь наилучших значений ее показателей.

На этапе технического проектирования должны решаться также вопросы обеспечения ремонтпригодности и качества пригодности, являющимися составляющими технологичности.

При отработке технологического объекта на ремонтпригодность следует обратить внимание на следующие требования:

- простота и удобство разработки и сборки;

- доступ к деталям и узлам, обладающим повышенными требованиями качества при замене;

- степень применения унифицированных деталей и узлов;

- наличие маркировки элементов.

Инженерно-психологической и художественной проработкой объекта определяются: окончательная компоновка и конструкция рабочих мест, средства обеспечения условий обитаемости, конкретные задачи и функции, выполняемые оператором, техническая форма объекта и его составных частей.

Патентными исследованиями обосновывается возможность использования технологических решений, защищенных патентами, проверяются на патентоспособность, вновь создаваемые конструкции, оформляются заявки на изобретения.

В состав технической документации на стадии технического проекта входят [2]:

1) теоретический чертеж;

2) габаритный чертеж;

3) чертеж общего вида объекта;

4) чертеж общих видов узлов объекта;

5) кинематические, электрические, гидравлические и другие схемы;

6) сборочный чертеж объекта;

7) пояснительная записка, имеющая следующие разделы:

- назначение и область применения разработанного объекта;

- обзор существующих образцов подобного назначения отечественного и зарубежного производства (прототипов) и сравнительная оценка их конструктивных особенностей и эксплуатационных показателей;

- краткое описание конструктивных особенностей нового объекта;

- решение вопросов техники безопасности и производственной санитарии;

- результаты экспериментальных исследований, рекомендованных в эскизном проекте;

- решение вопросов технологичности с точки зрения производственных условий завода-изготовителя;

- расчеты масштаба производства новых объектов и эффекта от внедрения их у потребителей;

- расчетная записка, включающая подробные кинематические, динамические, прочностные и другие расчеты;

- перечень комплектующих изделий;

- ведомость технического проекта.

Как правило, в состав технического проекта также входят:

- перечень специального инструмента и запасных частей;
- ведомость покупных изделий;
- ведомость согласования применения покупных изделий;
- технические условия, программа и методика испытаний;
- патентный формуляр;
- карта технического уровня и качества продукции.

По окончании этапа технического проекта составляется заключение о качестве технического объекта.

Пятая стадия – *разработка рабочей конструкторской документации.*

Рабочая конструкторская документация – совокупность конструкторских документов, содержащих чертежи общих видов, узлов и деталей, спецификации, технологическую документацию на изготовление и сборку, испытания и др.

Таким образом, в рабочем проекте осуществляется детализация документации путем разработки чертежей на каждый элемент технического объекта, и рабочий проект содержит все то, что требуется для воплощения в материальную форму технического задания с коррективами, необходимость которых возникла в процессе конструирования и проведения исследований. Рабочая документация является основной продукцией проектной организации.

Состав рабочего проекта и рабочей документации определен Единой системой конструкторской документации (ГОСТ 2.102-68).

В состав документации на стадии рабочего проекта входят [2]:

- чертежи общих видов;
- чертежи узлов и деталей;
- спецификация деталей;
- кинематическая, электрическая схемы, циклограммы и др.;
- пояснительная записка с технической характеристикой и проверочными расчетами узлов и деталей;
- проект технических условий на изготовление, приемку, упаковку и транспортировку (при необходимости включая чертежи тары, размещения и крепления на железнодорожном подвижном составе;
- ведомости ориентировочных норм расхода материалов, стандартных и нормализованных деталей и узлов, покупных деталей и изделий применение посадочных размеров, ребер, моделей и т.д.
- технический паспорт и инструкция по эксплуатации, уходу и монтажу (с пояснительными схемами и чертежами);
- ведомости согласования комплектующих изделий);
- проект программы испытаний.

Проводится разработка конструкторской документации опытного образца (опытной партии), изготовление, испытание опытных образцов, корректировка конструкторских документов по результатам испытаний. Специалисты по качеству и надежности обращают внимание на реализацию всех рекомендаций, разработанных на предыдущих этапах. При необходимости определяются режимы и продолжительность технологической приработки, направленной на выявление ранних отказов. В зависимости от специфики изделия на данном этапе проводятся испытания на надежность. На основании подробного анализа результатов испытаний проводится корректировка конструкторской документации, улучшающая качество проекта, и принимается решение о сдаче проекта государственной комиссии.

При формальном сопоставлении эскизной, технической и рабочей документации создается видимость несущественного повторения на последующих стадиях некоторых документов, разработанных на ранних стадиях. Однако такое повторение оправдывает себя, так как чертеж общего вида объекта на различных стадиях проектирования разрабатывается с нарастающей степенью технических подробностей. Аналогично обстоит дело и с другими повторяющимися на последующих стадиях техническими документами.

К технической документации относятся [2]:

- *теоретический чертеж* – документ, определяющий геометрическую форму (обводы) изделия и координаты расположения составных частей;

- *габаритный чертеж* – документ, содержащий натурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами;

- *чертеж общего вида* – документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его составных частей и поясняющий принципы работы изделия;

- *сборочный чертеж* – документ, содержащий изображение сборочной единицы (узла) или изделия в целом и другие данные, необходимые для ее (его) сборки (изготовления) и контроля (к сборочным чертежам также относят гидромонтажные, пневмомонтажные и электромонтажные чертежи);

- *монтажный чертеж* – документ, содержащий контурное (упрощенное) изображение изделия, а также сведения, необходимые для его установки;

- *схема* – документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними;

- *чертежи деталей* – документы, содержащие изображения деталей и сведения, необходимые для их изготовления и контроля;

- *спецификация* – документ, определяющий состав сборочной единицы (узла), комплекса (изделия) или комплекта;

- *ведомость ссылочных документов* – документ, содержащий перечень документов, на которые имеются ссылки в конструкторских документах изделия;

- *ведомость спецификации* – документ, содержащий перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их числа;

- *ведомость покупных изделий* – документ, содержащий перечень покупных изделий, применяемых в разрабатываемом изделии;

- *ведомость согласования применения изделия* – документ, подтверждающий согласование с соответствующими организациями применения покупных изделий в разрабатываемом изделии, например, ведомость согласования применения подшипников;

- *ведомость держателей подлинников* – документ, содержащий перечень предприятий, на которых хранятся подлинники документов, разработанных для данного изделия;

- *ведомость технического предложения* – документ, содержащий перечень документов, вошедших в техническое предложение.

- *ведомость эскизного проекта* – документ, содержащий перечень документов, вошедших в эскизный проект.

- *ведомость технического проекта* – документ, содержащий перечень документов, вошедших в технический проект.

- *пояснительная записка* – документ, содержащий описание устройства и принципа действия разрабатываемого изделия, а также обоснование принятых при его разработке технических и технико-экономических решений;

- *технические условия* – документ, содержащий потребительские (эксплуатационные) показатели объекта и методы контроля его качества;

- *программа и методика испытаний* – документ, содержащий технические данные, подлежащие проверке при испытании объекта, а также порядок и методы контроля;

- *расчеты* – документы, содержащие расчеты параметров и величин, например, расчет размерных цепей, расчет на прочность и др.;

- *эксплуатационные документы* – документы, предназначенные для использования при эксплуатации, обслуживании и ремонте объекта в процессе эксплуатации;

- *ремонтные документы* – документы, содержащие данные для проведения ремонтных работ на специализированных предприятиях.

Таким образом, *проект* – это, по существу, совокупность графической и текстовой документации, позволяющей с высокой степенью достоверности судить о технической и экономической целесообразности или нецелесообразности воплощения разрабатываемого объекта [2].



Виды обязательных конструкторских документов в зависимости от стадий разработки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Виды обязательных конструкторских документов (обозначены знаком «+»)

Код документа	Наименование документа	Техническое предложение	Эскизный проект	Технический проект	Рабочая документация на		
					детали	сборочные единицы	комплекс (изделие)
-	Чертеж (рабочий) детали				+		
СБ	Сборочный чертеж					+	
ВО	Чертеж общего вида			+			
-	Спецификация					+	+
ТП	Ведомость технического проекта			+			
ПЗ	Пояснительная записка	+	+	+			

На изделия, которые предназначены для самостоятельной поставки потребителю, кроме указанных в таблице конструкторских документов разрабатывают технические условия. Могут также выпускаться программы и методики испытаний, расчеты, инструкции и др.

На стадии технического проекта или на более ранней стадии (на стадии эскизного проекта или еще раньше – на стадии технического предложения) разрабатывают чертеж общего вида машины. На стадии разработки рабочей документации выполняют ее сборочный чертеж. По сборочному чертежу составляют спецификацию и разрабатывают рабочие чертежи. Если изготовить все оригинальные узлы и детали, перечисленные в спецификации, закупить все стандартные изделия, а также материалы, указанные там же, и выполнить сборку, то должна получиться работоспособная машина.

*Чертеж общего вида* обычно содержит:

- изображение изделия (виды, разрезы, сечения) с текстовой частью и надписями, необходимыми для понимания конструктивного устройства изделия, взаимодействия его составных частей и принципа работы;
- наименования, а также обозначения (если они имеются) составных частей изделия, для которых приводятся технические характеристики;

- размеры с их предельными отклонениями и посадки, технические требования к изделию и его техническую характеристику (эти данные должны в последующем учитываться при разработке рабочей документации и, в частности, при разработке рабочих чертежей).

*Сборочный чертеж* должен содержать: изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи соединяемых составных частей и обеспечивающих возможность сборки и контроля сборочной единицы; размеры, предельные отклонения и другие параметры, которые необходимо выполнить или проконтролировать по данному чертежу; номера позиций составных частей; габаритные и присоединительные размеры. Желательно также на чертеже приводить техническую характеристику сборочной единицы. Сборочный чертеж является документом, по которому разрабатываются чертежи (рабочие) входящих в него деталей.

Сборочный чертеж как правило разрабатывает один исполнитель, а разработку чертежей деталей - несколько исполнителей и иногда без личного общения с разработчиком сборочного чертежа. Чтобы добиться однозначной ответственности за брак при конструировании, на сборочном чертеже должна присутствовать вся необходимая для разработки всех рабочих чертежей информация. Если рабочий чертеж признан недоброкачественным из-за недостатка информации или ошибки на сборочном чертеже, виновен разработчик сборочного чертежа, в остальных случаях — вина того, кто выполнял чертеж детали. Следует отметить, как при разработке рабочего чертежа, так и при изготовлении детали следует пользоваться размерами, проставленными соответственно на сборочном и рабочем чертежах (не измерять деталь на чертеже!).

На сборочном чертеже допускается изображать перемещающиеся части изделия в крайнем или промежуточном положении (обычно штрихпунктирной линией с двумя точками) с нанесением на чертеж соответствующих размеров. Также можно помещать сплошными тонкими линиями изображение пограничных (соседних) изделий — обстановки. Составные части изделия, расположенные за обстановкой, изображают как видимые (обстановка как бы выполнена прозрачной, например, из стекла). На разрезах допускается изображать нерасеченными составные части, на которые оформлены самостоятельные сборочные чертежи. Покупные изделия показывают упрощенно, но соблюдая их габаритные и присоединительные размеры. Сварное, паяное, клееное соединения из одинаковых материалов в сборе с другими изделиями в разрезах штрихуют в одну сторону, изображая границы между деталями изделия сплошными основными линиями. Номера позиций на чертеже наносят один раз. Если для некоторых деталей не предполагается выпуск рабочих чертежей, то на изображениях сборочного чертежа или в его технических требованиях приводят дополнитель-

ные данные к сведениям, указанным в спецификации, необходимые для изготовления деталей: шероховатость поверхности, отклонение формы и т.п. Допускается помещать на сборочном чертеже отдельные изображения нескольких деталей.

В обоснованных случаях (например, при изменении размеров на чертеже в процессе его доработки) допускается отступление от масштаба изображения, если это отступление не снижает наглядности и не затрудняет чтение чертежа в производстве.

Спецификация на машину состоит обычно из следующих разделов: документация; сборочные единицы; детали; стандартные изделия; материалы. Ее оформляют на листах формата А4.

Графы спецификаций заполняют следующим образом. В графе «Формат» указывают формат листов документов, обозначение которых записывается в графе «Обозначение»; для документов, записываемых в разделах «Стандартные изделия» и «Материалы», графу «Формат» не заполняют; для деталей, на которые не будут выпущены чертежи, в графе указывают «БЧ».

Графу «Зона» заполняют только в случае разбивки поля чертежа на зоны, что практикуется для сложных сборочных чертежей. В этом случае указывают обозначение зоны, в которой находится номер позиции записываемой составной части.

В графе «Поз.» указывают порядковые номера составных частей; для раздела «Документация» эту графу не заполняют.

В графе «Обозначение» записывают обозначения конструкторских документов; в разделах «Стандартные изделия» и «Материалы» эту графу не заполняют.

В графе «Наименование» указывают наименования документа и изделия в соответствии с основной надписью на документе; для раздела «Стандартные изделия» в этой графе помещают наименование и обозначение изделия в соответствии со стандартами на это изделие, а для раздела «Материалы» — обозначения материалов по стандартам или техническим условиям на них.

В графе «Кол.» указывают, в каком количестве рассматриваемая составная часть входит в сборочный чертеж; для раздела «Документация» эту графу не заполняют.

В графе «Примечания» указывают дополнительные сведения, например, для деталей, на которые не предполагается выпуск чертежей, указывают массу деталей.

Наименование каждого раздела указывают в виде заголовка в графе «Наименование» и подчеркивают. После каждого раздела необходимо оставлять

несколько свободных строк для дополнительных записей в будущем. Допускается для этой же цели резервировать номера позиций.

Чертежи (рабочие) деталей — это чертежи, передаваемые в производство рабочим, изготавливающим детали. Чертежи разрабатывают, как правило, на все детали, входящие в состав изделия.

Допускается не выполнять чертежи на следующие детали: изготавливаемые из фасонного или сортового материала отрезкой под прямым углом; из листового материала отрезкой по окружности или по периметру прямоугольника без последующей обработки; являющиеся составными частями изделий единичного производства, если конструкция такой детали проста и для ее изготовления достаточно нескольких размеров на сборочном чертеже или одного изображения на свободном поле этого чертежа.

На рабочих чертежах можно указывать способы изготовления и контроля или определенный технологический прием, если они являются единственными, гарантирующими требуемое качество изделия, например, совместная обработка, совместная гибка, вакуумная пропитка и т.д.

Деталь изображают в положении, в котором ее устанавливают на станке для обработки. Тела вращения располагают вправо стороной, более трудоемкой для токарной обработки, что облегчает простановку размеров детали и прочтение чертежа.

Основные надписи в чертежах и в спецификации делают в рамке, расположенной в правом нижнем углу документа.

В графах основной надписи указывают:

- 1) наименование изделия, а также наименование документа, если этому документу присвоен код, например, «Коробка передач. Сборочный чертеж»;
- 2) обозначение документа;
- 3) обозначение материала детали (графу заполняют только для чертежей деталей);
- 4) литеру, присвоенную документу (эскизному проекту присваивают литеру «Э», техническому — «Т», рабочей конструкторской документации — «О», «А», или «Б» в зависимости от степени обработанности документации);
- 5) массу изделия, кг;
- 6) масштаб;
- 7) порядковый номер листа рассматриваемого документа;
- 8) общее число листов рассматриваемого документа;
- 9) наименование или различительный индекс предприятия, выпускающего документ;
- 10) характер работы, выполняемой лицом, подписывающим документ;
- 11) фамилии лиц, подписывающих документ;

- 12) подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 11;
- 13) дату подписания документа;
- 14...18) изменения документа при его доработке.

Обозначение материала в графе 3 (а также в спецификации) должно содержать наименование материала, марку, если она для данного материала установлена, и номер стандарта или технических условий, например, Сталь 45 ГОСТ 1050-2013.

Если в условное обозначение материала входит его сокращенное наименование «Ст», «СЧ», «КЧ», «Бр» и другие, то полное наименование «Сталь», «Серый чугун», «Ковкий чугун» «Бронза» и другие не указывают, например, Ст3 ГОСТ 380-2005.

## 5 Расчеты при проектировании

Проектирование машин невозможно без использования расчетов. С помощью расчетов устанавливается техническая характеристика, размеры, форма сечений нагруженных деталей, запас прочности и долговечности во всех условиях и при всех нагрузках, при которых конструкция должна работать. Расчеты и конструирование связаны между собой, дополняя и корректируя друг друга. Расчеты указывают путь, по которому следует идти, чтобы получить наилучший технический результат. Так как конструирование неразрывно связано с экономикой, то любой результат конструкторского расчета проверяется с точки зрения экономической целесообразности. В связи с этим все расчеты, применяемые в проектировании, относятся к технико-экономическим. Расчеты должны ответить на вопросы, по которым конструктор не имеет опытных данных, чтобы обеспечить надежность, работоспособность и эффективность конструкции.

В большинстве случаев отдельные параметры и размеры сечений конструктор выбирает опытным путем или, исходя из конструктивных соображений, так как расчет дает слишком малые сечения, которые невозможно применить в конструкции. Но в тех случаях, когда должна достигаться высокая точность или разрабатывается ответственная конструкция, проведение расчетов – единственный способ достижения оптимального результата.

В проектировании используются следующие виды расчетов [3]:

- геометрические (расчет размерных цепей, координат, зазоров и натягов и т. п.);
- кинематические (расчет передаточных отношений кинематических цепей, расчет траектории и т. п.);
- динамические (расчет сил, скоростей, ускорений и т. п.);
- аэродинамических свойств (расчет формы наименьшего сопротивления для движущихся тел и т. п.);
- технологические (расчет режимов обработки, производительности, ритма, такта и т. п.);
- прочностные (расчет нагрузок, напряжений, прочности, деформаций и т. п.);
- жесткости и виброустойчивости (расчет жесткости, колебаний, вибраций и т. п.);
- надежности (расчет работоспособности, долговечности, безотказности, срока службы и т. п.);
- энергетические (расчет двигателей, приводов, нагревателей, охладителей, энергоносителей и т. п.)

- экономические (расчет трудоемкости, массы, стоимости, эффективности и т. п.).

Кинематические и геометрические расчеты, расчеты ответственных элементов конструкции выполняются с большой точностью. Остальные расчеты при проектировании являются более или менее условными. Для того, чтобы расчет не был сложным и трудоемким, неприемлемым для практического применения во время проектирования используют упрощенные расчеты. Это объясняется тем, что в процессе проектирования, используемые в расчете данные, являются предварительными и постоянно уточняются в дальнейшей разработке. Упрощенные расчеты используют упрощенные зависимости физического состояния в узлах и деталях и только в основном отражают действительность. При этом факторы и воздействия, существенно не влияющие на результат расчета, просто не учитываются. В формулах, используемых в упрощенных расчетах, применяются такие эмпирические коэффициенты, которые учитывают определенные воздействия сложных факторов.

Методика расчета (выбор схемы сил или параметров, схематизация конструкции и определение величин сил и моментов, действующих на конструкции) влияет на точность расчетов. Применение методики более точных расчетов позволяет значительно уменьшить массу изделия, уменьшая коэффициент запаса для ответственных деталей до 1,5-1,3.

Определение схемы нагрузки и основных параметров часто бывает затруднительным. Перед проведением динамических и прочностных расчетов осуществляется изучение и анализ источников сил, точки приложения и направления их действия, например, гравитационная сила; сила инерции; сила, вызванная ускорением; сила внешнего воздействия; сила резания; сила, вызванная температурными расширениями, и т. д.

Для упрощения расчетов в практике принимают упрощенную схему нагрузок, которая является идеализацией реальной схемы. При этом отбрасываются силы и параметры, действие которых на результат расчета незначительное. Расчетные схемы сложных пространственных систем условно рассматриваются в определенных плоскостях, где используется результирующая сила, а равномерно распределенная нагрузка принимается как концентрированная и т. п.

Определение действующих сил и параметров, которые входят в расчеты и определяют их точность, являются не менее затруднительным. Действующие силы могут быть статическими (I категория), пульсирующими (II категория), знакопеременными (III категория) и ударными. Динамика сил затрудняет определение их численного значения.

Использование методики расчетов, не соответствующей действующим условиям, равно как и неправильное определение сил и параметров и их численных значений, приводит к ошибке. В результате ошибки весь расчет теряет свое значение.

Для того, чтобы создать легкую и прочную конструкцию с высокими механическими показателями, конструктор обязан начинать расчеты на первых стадиях проектирования. В начале проектирования сложных расчетов большой точности производить не следует. На начальных стадиях известные величины и параметры недостаточно точны и могут изменяться в процессе дальнейшего проектирования. Здесь используются приблизительные, предварительные расчеты по упрощенной методике.

Расчеты в зависимости от их места в процессе проектирования делятся на проектные и проверочные.

Проектные расчеты применяются для определения исходных данных для установления размеров узлов и деталей несложной конфигурации, причем эти расчеты ведутся по упрощенной методике. Основные этапы проведения проектного расчета:

- составляют упрощенную расчетную схему сил и моментов;
- определяют расчетом их численные значения;
- выбирают материалы по механическим и технологическим свойствам с учетом их стоимости и дефицитности;
- определяют размеры деталей и согласовывают их с данными стандартов;
- вырисовывают детали в сборе и проверяют их на соответствие выбранной конструкции. Если необходимо, то конфигурацию детали меняют и расчет повторяют.

Иногда выгоднее выбирать конструкцию и форму изделия, руководствуясь накопленным опытом по выбору формы и размеров подобных изделий. Затем следует провести проверочный расчет по основным критериям работоспособности, т. е. определить запасы прочности в расчетных сечениях и сопоставить их с допустимыми.

Основные этапы проведения проверочного расчета таковы:

- выбор материала по технологическим и прочностным соображениям;
- выбор конструкции, формы и размеров по имеющемуся опыту или согласно простым, приближенным расчетам;
- определение напряжения в расчетных сечениях;
- принятие решения о соответствии выбранной конструкции детали.

Если сечение детали не соответствует критериям прочности, меняют ее размер или конфигурацию и повторяют расчет. Расчетные размеры в опасном



сечении увеличивают в тех случаях, когда аналитически невозможно подсчитать технологические напряжения, действующие в этих сечениях (литейные и сварочные напряжения, вызванные термообработкой сложной пространственной конструкции, монтажные напряжения и др.).

Если деталь имеет высокую степень ответственности, то запас прочности увеличивают. Для ответственных деталей иногда проводят экспериментальную проверку расчетов. Имеется ряд конструктивных приемов, которые позволяют увеличить прочность изделий: применение рациональной силовой схемы; замена изгиба и кручения растяжением-сжатием; уменьшение консолей и рациональное размещение опор; уменьшение массы деталей; придание расчетным сечениям рациональной формы; введение конструктивных связей между элементами конструкции; выполнение рационального оребрения; применение предохранительных механизмов; введение регуляторов или ограничителей частоты вращения либо скоростей; введение предельных муфт, демпферов; повышение точности изготовления быстроходных деталей и механизмов; тщательное уравновешивание вращающихся деталей; уменьшение нагрузки в пусковом режиме и в режиме торможения.

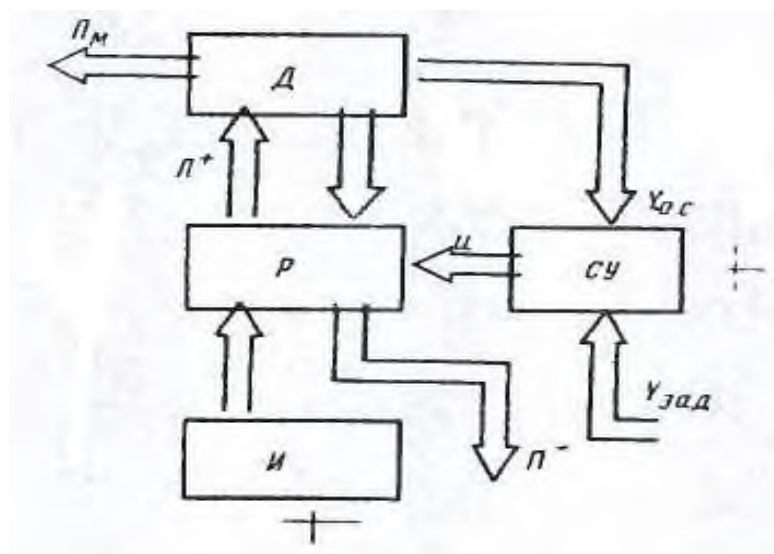
К технологическим приемам увеличения прочности можно отнести закалку, поверхностное пластическое деформирование и др.

## 6 Назначение и состав привода

Приводом машины называют устройство, предназначенное для преобразования подводимой первичной энергии в механическую работу, выполняемую исполнительными органами машины, связанными с выходными звеньями привода. Обычно привод включает в себя:

- источник энергии (двигатель);
- управляющий (распределительный орган или распределитель);
- систему управления.

Схема привода представлена на рисунке 1.



- Д – двигатель; Р – распределитель; СУ – система управления;  
И – источник первичной энергии;  $P^+$  - энергия, подводимая к двигателю;  
П - энергия, отводимая от двигателя;  
 $P_M$  - механическая энергия, получаемая от двигателя;  $Y_{зад}$  - задающий сигнал;  
 $Y_{oc}$  - сигнал обратной связи;  $u$  - управляющий сигнал

Рисунок 1 – Схема привода [4]

По виду первичной энергии различают приводы:

- электрические;
- гидравлические;
- пневматические;
- паровые;
- ветряные;
- водяные и др.

В общем машиностроении в основном применяют электрические, гидравлические и пневматические приводы.

По способу распределения потоков вторичной (механической) энергии приводы можно разделить на три основных вида:

- групповой;
- индивидуальный;
- взаимосвязанный.

Групповой привод обеспечивает движение от одного двигательного устройства целой группы исполнительных органов одной или нескольких рабочих машин через передаточные механизмы – трансмиссии.

В индивидуальном приводе каждое рабочее движение обслуживается своим двигательным устройством.

Взаимосвязанный привод состоит из двух и более связанных двигательных устройств, обеспечивающих выполнение одного движения.

При наличии механической связи между двигательными устройствами привод называют многодвигательным. Его применяют в цепных конвейерах, в мощных поворотных механизмах, где устанавливают два и более электродвигателей для равномерного распределения статических и динамических нагрузок, уменьшения мощности двигательного устройства. В случае, когда при использовании взаимосвязанного привода возникает необходимость поддерживать постоянные соотношения между скоростями отдельных рабочих органов, механически не связанных друг с другом, применяют специальные схемы связи двигательных устройств по потокам первичной энергии.

По способу передачи движения от двигательного устройства к исполнительному органу машины различают:

- приводы прямого действия (безредукторные);
- приводы с передаточными механизмами.

По степени управляемости выделяют следующие приводы:

- нерегулируемые, предназначенные для приведения в действие рабочих органов машин, работающих на одной рабочей скорости;

- регулируемые, предназначенные для реализации движений на различных скоростях;

- программно-управляемые, отрабатывающие заданные программы изменения скорости;

- следящие, предназначенные для автоматической отработки перемещений рабочих органов машин с определенной точностью в соответствии с произвольно меняющимся задающим сигналом;

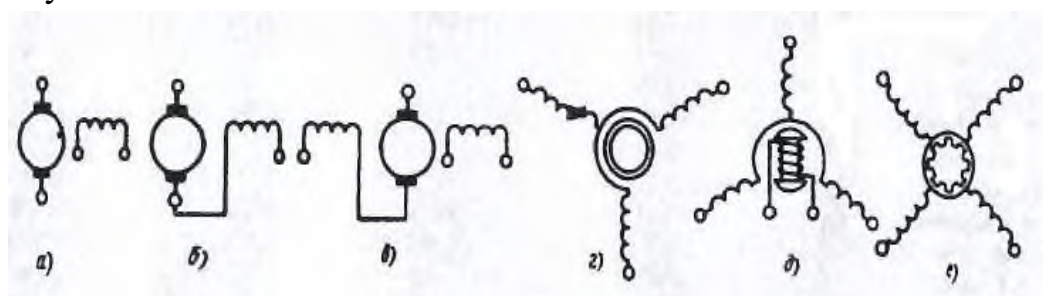
- адаптивные – автоматически изменяющие свои структуры и (или) параметры системы управления в целях поддержания оптимального режима при изменяющихся непредсказуемым образом условиях работы машины.

По уровню автоматизации управления различают приводы:

- неавтоматизированные;
- автоматизированные (с автоматическим выбором управляющего воздействия).

Двигатель является преобразователем энергии, в котором первичная (электрическая, гидравлическая, пневматическая или другого вида) энергия преобразуется в механическую энергию движения и работу исполнительных органов машины.

Схемы основных типов электродвигателей постоянного и переменного тока, широко используемых в различных отраслях промышленности, приведены на рисунке 2.



а – постоянного тока с независимым возбуждением; б – постоянного тока последовательного возбуждения; в – постоянного тока смешанного возбуждения; д – асинхронного; е – синхронного; ж – шагового

Рисунок 2 – Схемы электроприводов [4]

В нерегулируемых приводах используют обычно асинхронные и синхронные двигатели переменного тока. Синхронные двигатели обеспечивают более высокий коэффициент мощности (меньший сдвиг фаз между током и напряжением сети и меньшую реактивную мощность), поэтому в последнее время они все более распространены.

Оба типа двигателей переменного тока требуют принятия специальных мер для организации пусковых режимов. В асинхронном двигателе это связано с необходимостью снизить пусковой ток. Для этого уменьшают напряжение питания переключением обмоток статора с треугольника на звезду, используют трансформаторы и др. Эти способы одновременно со снижением напряжения питания и пускового тока приводят к уменьшению пускового момента. Поэтому запуск асинхронного двигателя должен проводиться на холостом ходу или на пониженной нагрузке.

Синхронный двигатель вообще самостоятельно не запускается (не выходит в режим синхронизма). Для его запуска в роторе, кроме рабочей обмотки, питаемой постоянным током, предусматривается еще пусковая короткозамкнутая обмотка. С ее помощью синхронный двигатель запускается в режиме асинхронного двигателя. Что касается рабочих режимов, то в отличие от асинхрон-

ного синхронный двигатель поддерживает стабильную частоту вращения независимо от нагрузочного момента, в том числе и на низких частотах вращения.

Двигатели постоянного тока долгое время являлись единственным типом двигателя, применяемым в регулируемых приводах. Причина этого в том, что он имеет широкие возможности с точки зрения изменения его частоты вращения, причем различными способами. Играло роль также то, что регулирующие устройства могли быть построены на имеющейся технической базе (на схеме генератор-двигатель на основе ионных приборов и др.).

Большое влияние на развитие регулируемого электропривода оказали полупроводниковые приборы, быстро вытеснившие ранее применявшуюся технику управления. Тиристорные и транзисторные преобразователи отличаются высоким КПД, практически безынерционны, требуют незначительной мощности для управления (обладают высоким коэффициентом усиления). На их основе могут быть созданы электроприводы, обладающие широкими возможностями по регулированию частоты вращения и движущего момента. Благодаря значительному увеличению выпуска и снижению стоимости тиристорных преобразователей их оказалось целесообразным использовать для управления сначала двигателями постоянного тока, а затем и асинхронными и синхронными двигателями переменного тока (частотное управление).

В последнее время предпочтение все больше отдается вентильному приводу, состоящему из электродвигателя переменного тока, по конструкции аналогичного синхронному, и вентильного коммутатора-преобразователя частоты, управляемого в функции положения ротора или магнитного потока двигателя. Вентильный коммутатор функционально заменяет щетки и вращающийся коллектор, характерные для двигателя постоянного тока. На статоре двигателя располагается трехфазная обмотка переменного тока, а ротор является возбудителем (возбуждение может быть получено либо от обмотки возбуждения, размещенной на роторе, либо с помощью постоянных магнитов, расположенных в пазах ротора). Последовательность переключения тока статора и очередность включения тиристорных вентильного коммутатора определяются сигналами от датчика углового положения ротора.

Находят применение и асинхронные двигатели с частотным регулированием, а также двигателя постоянного тока, в которых коллекторное распределение токов заменено бесконтактным электронным, а для управления используют тиристорный или транзисторный преобразователь напряжения.

Шаговый двигатель, который можно рассматривать как многополюсную разновидность синхронного (вентильного) двигателя, имеет ограниченную мощность, и в силовых приводах его не используют, но он весьма удобен как задатчик движения.

Электродвигатели линейного перемещения по принципу действия аналогичны вращательным двигателям, но выполняют их с развернутыми на плоскости статорами, поступательно движущимися якорями, для которых делают специальные направляющие, заменяющие подшипники вращения обычных электродвигателей. Известны также электродвигатели линейного перемещения, реализуемые в виде блока, в который входят вращательный электродвигатель и механизм преобразования движения, например, шарико-винтовая передача. Пока их применяют относительно редко из-за высокой стоимости и неблагоприятных значений некоторых других показателей.

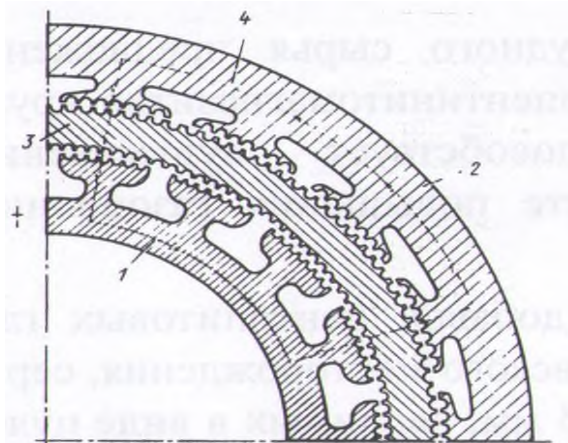
Электродвигатели прямого действия были созданы для исключения промежуточных передающих механизмов, главным образом редукторов. Для машин, работающих на постоянных оборотах, такие недостатки редукторов, как зазоры, неточности в изготовлении, потери на трение, изнашивание и т.п., не имеют большого значения. Эти факторы отрицательно сказываются в полной мере, если привод – управляемый и в особенности, если он работает в позиционном или контурном режиме. В этих условиях при необходимости существенного понижения частоты вращения используют редукторы с большим передаточным отношением, например, редукторы типа «волновая передача», главный недостаток которой – высокая податливость или малая механическая жесткость – служит основной причиной возникающих при работе привода значительных колебаний вращающего момента на выходном валу. При применении в качестве редукторов многоступенчатых зубчатых передач на первый план выступает проблема зазоров. Обычный подход к устранению зазоров состоит в создании предварительного натяжения в передаче, но это приводит к увеличению сил трения, уменьшению точности привода, повышенному изнашиванию, необходимости устанавливать двигатель большей мощности.

Податливость и зазоры в передаточном механизме - одни из основных причин, затрудняющих использование всех возможностей современной управляющей техники. Отсюда стремление создать специальные двигатели, способные работать на нагрузку напрямую. При разработке таких двигателей используют два подхода:

- переход на новые магнитные материалы, обладающие более высокими магнитными свойствами (их использование позволяет создать низкооборотные высокомоментные электродвигатели постоянного тока, у которых отношение массы двигателя к развиваемому моменту в 2 раза меньше по сравнению с электродвигателями обычного типа);

- создание специальных конструкций электродвигателей, например, вентильных с электронной коммутацией, с кольцеобразным ротором и большим числом зубцов-полюсов.

Примером вентильного высокомоментного низкооборотного электродвигателя, построенного на безмагнитной основе, может служить электродвигатель фирмы «Motornetics» (США). Его тонкий кольцевой ротор (рисунок 3) располагается между внешним и внутренним статорами, несущими обмотки. При последовательном возбуждении полюсов зубцы ротора взаимодействуют друг с другом, создавая движущий момент. Тонкий ротор имеет минимальную массу и минимальный момент инерции. Также здесь мало магнитное сопротивление потоку, что повышает эффективность использования электрической мощности в создании движущего момента. Так как ротор не несет обмоток, в нем нет выделения теплоты, что важно, если двигатель работает в режиме малых скоростей с частыми остановками (выстоями), в том числе и под нагрузкой. Теплота от неподвижных обмоток отводится прямой теплопередачей, что более эффективно по сравнению с конвективным или радиационным теплообменом.



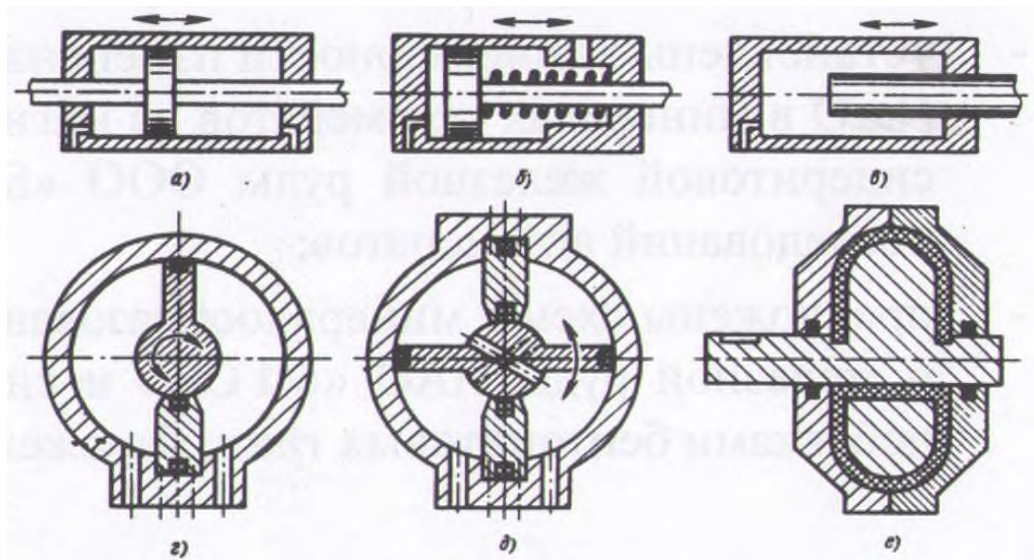
1 - внутренний статор, 2 - внешний статор, 3 - ротор, 4 - магнитная цепь

Рисунок 3 - Вентильный электродвигатель прямого действия [4]

Наличие зубцов на роторе и статоре равнозначно увеличению числа полюсов. При наличии лишь 18 обмоток на статоре удастся реализовать 150 электрических циклов за один оборот ротора. Двигатель обычного типа должен был бы иметь для этого 300 обмоток на каждую фазу, т.е. в общей сложности 900 обмоток вместо имеющихся 18.

Отсутствие постоянных магнитов исключает опасность размагничивания, что позволяет использовать режим полного магнитного насыщения железа. Кроме того, интенсивность тепловыделения в обмотках снижается за счет выбора провода достаточно большого сечения, поскольку имеется много свободного места на статоре.

Основные виды двигателей, построенных на основе гидравлических или пневматических цилиндров с линейным и поворотным движениями выходного звена, показаны на рисунке 4.



а — с двусторонним штоком двойного действия;  
 б — одностороннего действия с возвратной пружиной;  
 в — односторонний плунжерный, г — поворотный с одним шибером;  
 д — поворотный с двумя шиберами;  
 е — поворотный с одним шибером полукруглой формы  
 Рисунок 4 - Гидро- или пневмоцилиндры [4]

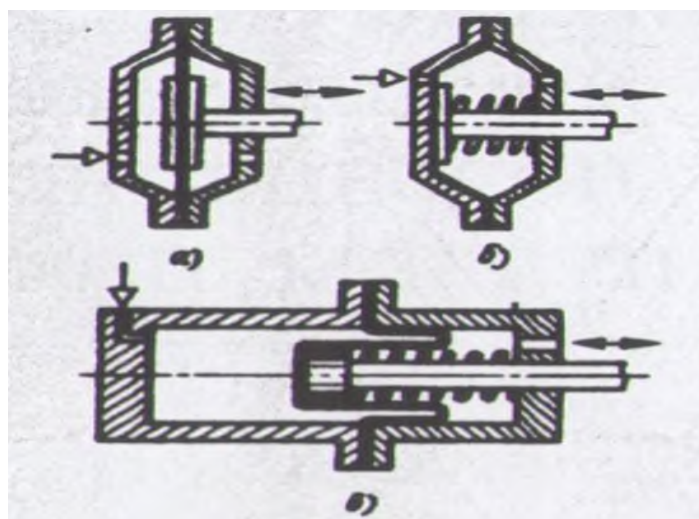
В схеме на рисунке 4 г-е роль поршня выполняет поворотная заслонка (шибер), перемещающаяся в кольцевом канале с одновременным поворотом выходного вала, с которым она жестко связана. Шиберные двигатели, работающие на сжатом воздухе, давление которого относительно невелико, характеризуются относительно большими потерями. Их применяют сравнительно редко. Гидравлические шиберные двигатели выпускают серийно.

При изготовлении корпусных деталей литьем из высокопрочных пластмасс, намоткой из композитных материалов и др. способами снимаются технологические ограничения на выбор формы сечения кольцевого канала и шибера. Появляется возможность избежать острых углов, например, выполнить эти сечения круглыми (рисунок 4 е), что упрощает решение проблемы уплотнений.

Поворотные гидро- или пневмодвигатели при реализации вращательных движений имеют те же преимущества, что и гидро- или пневмоцилиндры при реализации линейных; и в том и в другом случае получаем привод прямого действия, не содержащий передаточных механизмов.

Показанные на рисунке 5 схемы двигателей мембранного типа полностью герметичны, а потери на трение в них минимальны, так как поршни с уплотнительными кольцами отсутствуют. Недостаток мембранных двигателей - относительно небольшой ход исполнительного органа.

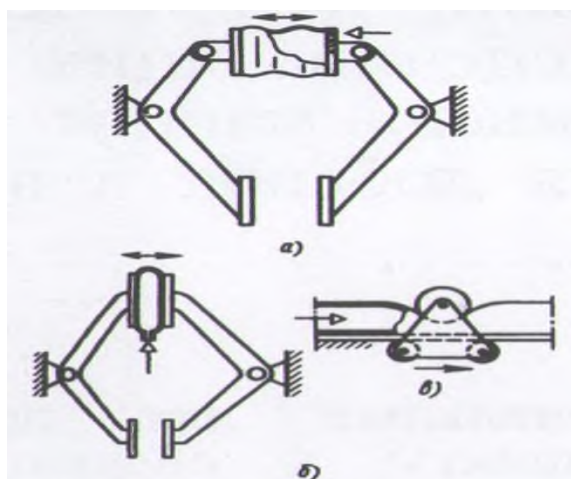




а — с плоской мембраной; б — с тарельчатой мембраной;  
 в — с мембраной с глубоким гофром  
 Рисунок 5 - Мембранные цилиндры [4]

Для плоской мембраны (рисунок 5 а) он составляет не более 0,2-0,3 ее наружного диаметра, для тарельчатой (рисунок 5 б) — несколько больше половины. При этом по мере движения жесткого центра мембраны передаваемая им рабочая сила падает, так как все большая часть силы, развиваемой мембраной, затрачивается на деформирование ее самой. И только в устройствах, где применяют мембраны с глубоким перекатывающимся гофром (рисунок 5 в), можно получить длину хода, превышающую наружный диаметр мембраны, причем на всем участке хода передаваемая жестким центром сила остается постоянной. Однако надежность таких мембран сравнительно невысока, скорость срабатывания ограничена, а двигатель с мембраной с глубоким гофром может быть выполнен только одностороннего действия (с возвратной пружиной или с использованием силы тяжести для обратного хода при вертикальном расположении).

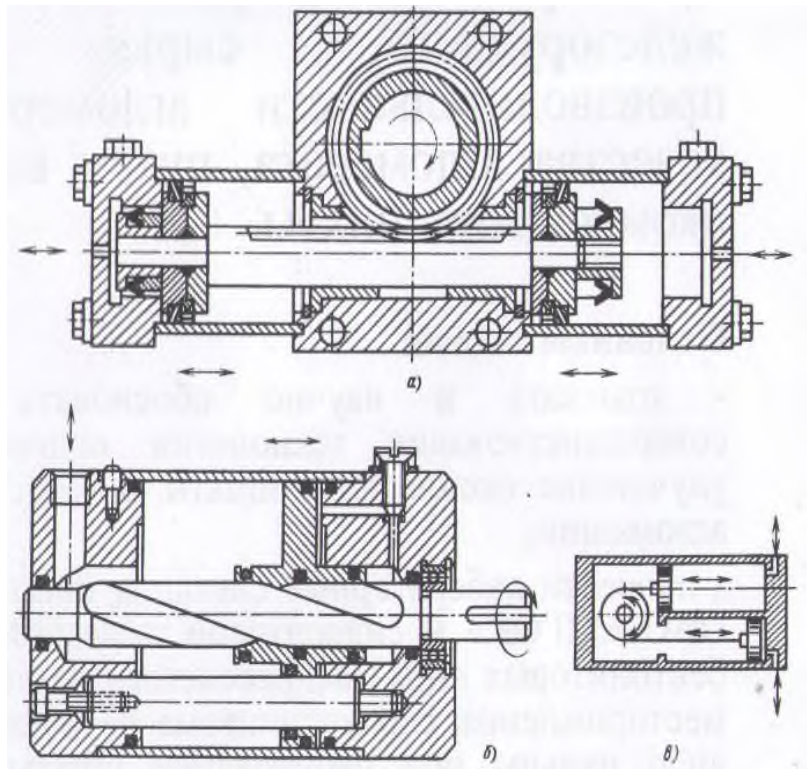
На рисунке 6 показана схема сифонного, камерного и шлангового двигателей.



сифонный (а), камерный (б) и шланговый (в)  
 Рисунок 6 - Двигатели [4]

Сильфонный и камерный двигатели являются полностью герметичными, имеют ограниченный рабочий ход, так как движение исполнительного органа сопровождается деформированием эластичного элемента. Шланговый двигатель, будучи полностью герметичным, такого ограничения не имеет. Его можно использовать для перемещения объектов не только на большие расстояния, но и по любой траектории (в пределах гибкости шланга). Недостаток этого типа двигателя состоит в том, что шланг полностью пережимается между двумя катящимися вдоль него роликами. Кроме того, в шланговом двигателе велики внутренние потери из-за необходимости создать достаточную силу для перекачивания роликов с пережатием шланга.

Схемы поворотных двигателей (рисунок 7) построены на основе гидро- или пневмоцилиндров и механизмов преобразования поступательного движения поршня во вращательное (с ограничением углового поворота) выходного вала.

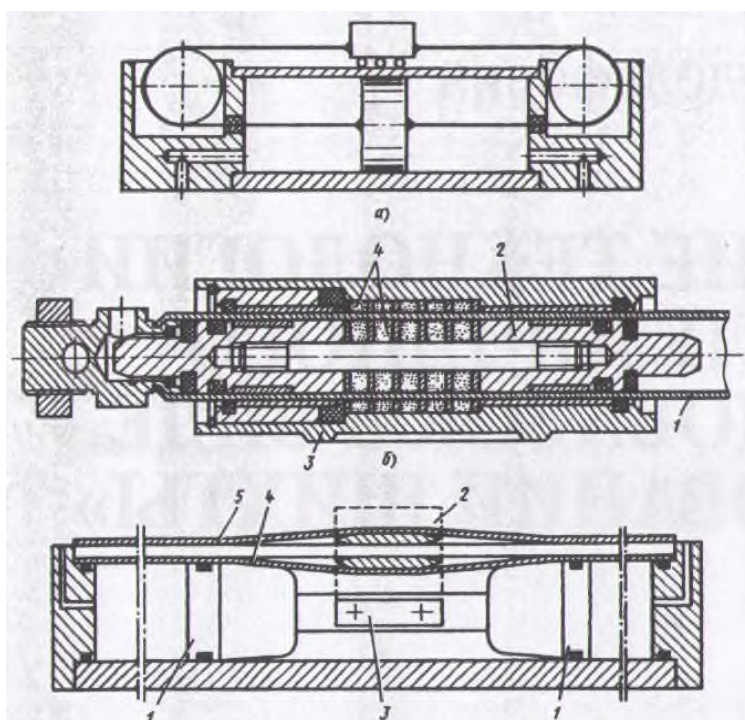


а - зубчато-реечный, б - винтовой; в – тросовый)

Рисунок 7 - Поворотные двигатели с механизмами преобразования движения [4]

Наиболее часто используют двигатели, выполненные по схеме с зубчато-реечным передаточным механизмом, основной недостаток которых – наличие поперечной составляющей силы, возникающей в зубчатом зацеплении рейки и шестерни. Эта составляющая прижимает рейку и поршень со штоком вместе с ней к одной стороне гильзы цилиндра, вызывая дополнительные потери на трение, а также ускоренное изнашивание. Схема с винтовым механизмом при тех-

нической реализации требует решения проблем уплотнения винтовой пары, а также стопорения поршня от поворота. Схема с тросовым механизмом конструктивно проста, но сложно выбрать диаметр троса и шкива. Вместо тросов используют также гибкие ленты. Кроме того, схема с тросовым механизмом имеет то преимущество, что работа цилиндра не сопровождается выдвиганием штоков, как в гидро- или пневмоцилиндрах обычной конструкции, и, следовательно, габаритные размеры двигателя как бы уменьшаются практически в 2 раза. Известны и другие конструкции бесштоковых цилиндров (рисунок 8), в которых движение от поршня передается на расположенные снаружи салазки.



а - с тросовым или ленточным механизмом передачи движения  
 б - с передачей движения через магнитное поле;  
 в - со щелью в гильзе и прямой связью поршня с кареткой  
 Рисунок 8 - Бесштоковые пневмоцилиндры [4]

В цилиндре с тросовым или ленточным передаточным механизмом (рисунок 8 а) одна из сложных проблем - уплотнение троса или ленты в месте выхода наружу через крышку цилиндра. В схеме, показанной на рисунке 8 б, поршень связан с наружными салазками через магнитное поле. Для этого гильзу цилиндра выполняют из немагнитного материала, а поршень 2 и салазки 3 несут кольцевые постоянные магниты 4. Опыт применения таких цилиндров (их выпускают серийно некоторые фирмы) показал, что при изготовлении магнитов из улучшенных магнитных материалов бесштоковый пневмоцилиндр с диаметром поршня 40 мм способен развивать рабочую силу на салазки до 500

Н. Такие пневмоцилиндры могут иметь длину в несколько метров. они полностью герметичны, но стоимость их высока.

Еще один тип бесштокового пневмоцилиндра представлен на рисунке 8 в. В нем поршень 1 связан с салазками 2 механически с помощью гребня 3, пропущенного через продольную щель, выполненную по всей длине гильзы. Для уплотнения щели используют внутреннюю 4 и внешнюю 5 ленты, изготовленные из металла, который обладает также магнитными свойствами. Это необходимо для удержания лент при неработающем двигателе (при отсутствии давления внутри). Наружная лента служит для защиты от попадания грязи внутрь гильзы через щель и удерживается только магнитными силами. Обе ленты проходят через продольные пазы, выполненные в поршне, и при движении поршня они отводятся от щели, пропуская гребень на участке между уплотнениями поршня, то есть герметичность полостей при этом не нарушается.

Телескопический гидро- или пневмоцилиндр, объединяющий в общем корпусе три цилиндра (соотношение между длинами ходов их поршней составляет 1:2:4) показан на рисунке 9. Телескопический цилиндр с таким соотношением между длинами ходов называют также цифровым цилиндром, так как он способен отработать  $2^n$  позиций (где  $n$  — число цилиндров) с дискретностью, равной ходу самого малого цилиндра, по командам, имеющим двоичный код: каждый разряд отражает состояние соответствующего цилиндра и, например, ноль может соответствовать состоянию с выдвинутым штоком, а единица — с втянутым штоком или наоборот.

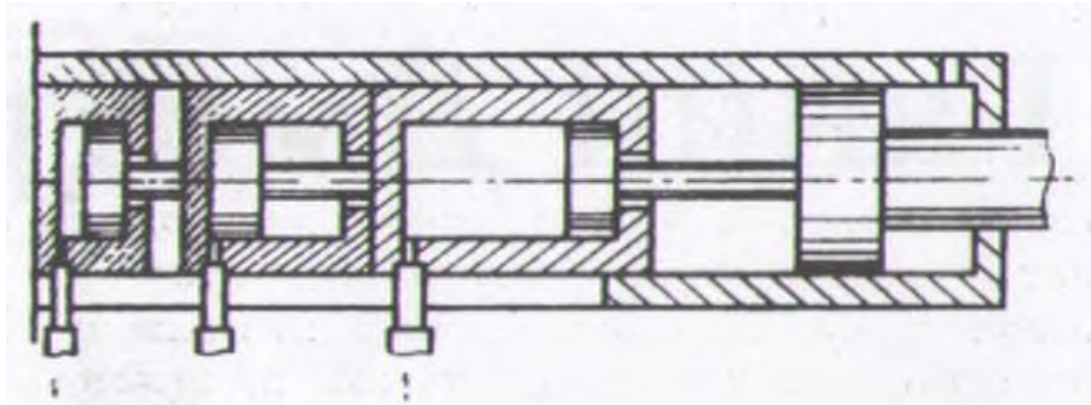
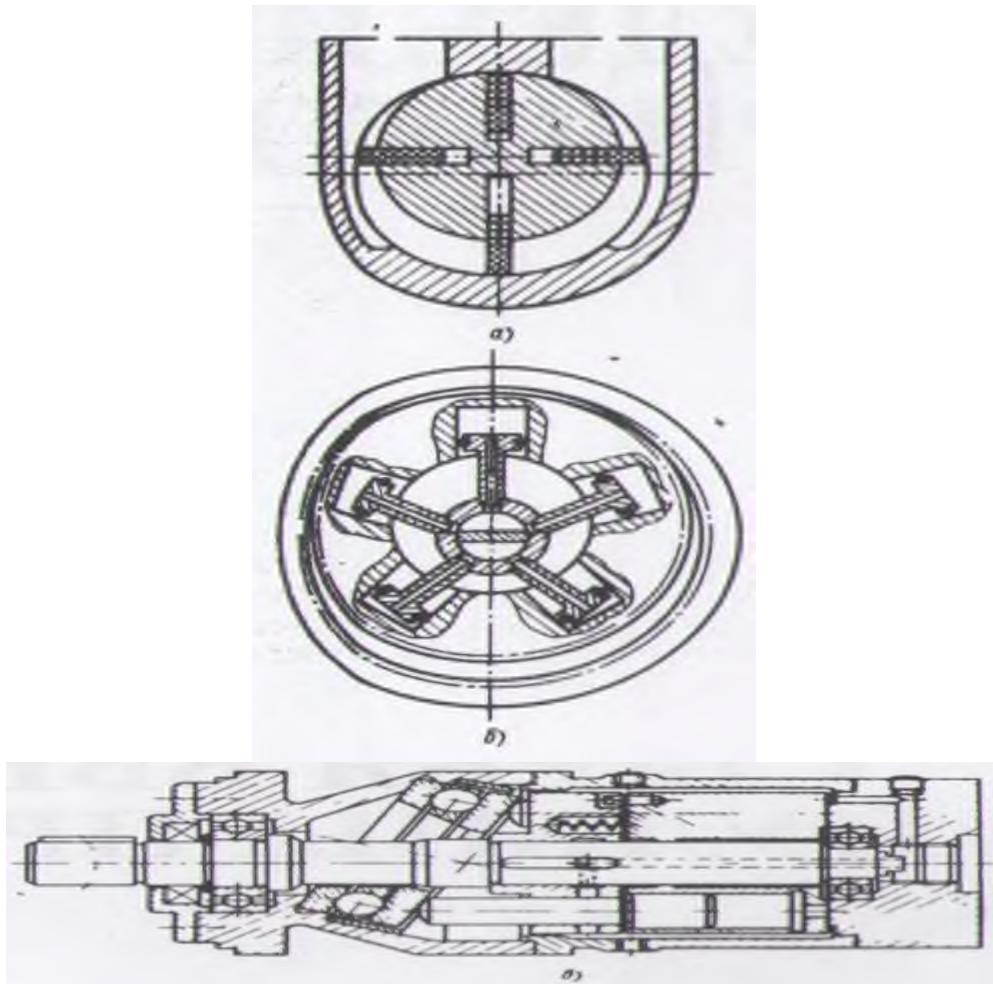


Рисунок 9 - Телескопический цилиндр [4]

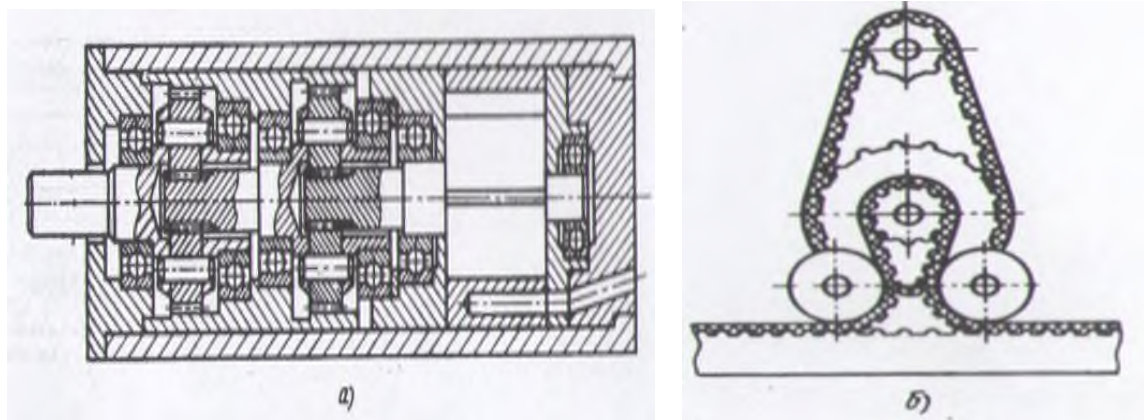
Примеры гидравлических и пневматических двигателей вращательного движения показаны на рисунке 10. Каждый двигатель имеет рабочие камеры, сообщающиеся попеременно с источником питания или выхлопом (сливом) в определенной последовательности. В результате на выходном валу возникает движущий момент. Для управления потоками жидкости или воздуха здесь используют встроенные распределители специальной конструкции. Роль распределителя могут выполнять подвижные элементы самого двигателя.

На рисунке 11 представлены компоновочные схемы вращательного пневматического двигателя с передаточными механизмами. Двигатель с двухступенчатым планетарным редуктором наиболее часто используют в ручных пневмоинструментах, а двигатель с двухступенчатым зубчато-ременным механизмом используют при необходимости преобразования вращательного движения в поступательное.



а — пластинчатый; б — радиально-поршневой (пневматический);  
в — аксиально-поршневой (гидравлический)

Рисунок 10 - Гидравлические и пневматические двигатели вращательного движения [4]



а — двухступенчатый планетарным редуктором;  
 б — двухступенчатый зубчато-ременным механизмом  
 Рисунок 11 - Схема пневматических вращательных двигателей с передаточными механизмами [4]

Потоками первичной энергии, подводимой к двигателю и отводимой от него, управляет распределитель. Он же является связующим звеном между управляющей и силовой частями привода, служит для усиления слабых сигналов, генерируемых системой управления, с преобразованием их в управляющие воздействия, направленные на изменение силы, момента скорости или других параметров движения двигателя.

Значение управляющего воздействия измеряется полезно используемой частью первичной энергии, которая представляет собой разность  $\Delta П = П^+ - П^-$ , где  $П^+$  - энергия, подводимая к двигателю;  $П^-$  - энергия, отводимая от него. Изменить  $\Delta П$  можно за счет изменения  $П^+$  и за счет изменения  $П^-$  или обеих составляющих одновременно. Наиболее экономичным способом управления двигателем будет такой, при котором меняется только составляющая  $П^+$ , а  $П^-$  сохраняется постоянной минимальном уровне. В этом случае создается наиболее благоприятная ситуация, когда от источника питания отбирается ровно столько энергии, сколько необходимо для поддержания заданного режима работы двигателя. На практике по различным причинам используют и другие, менее экономичные способы управления  $\Delta П$ . Для управления двигателем постоянного тока используют способы, основанные на изменении: тока возбуждения (магнитного потока); сопротивления цепи якоря; напряжения питания, подводимого к якорю. Из них первый и третий более экономичны, так как в обоих случаях значение  $\Delta П$  изменяется за счет изменения  $П^+$ . Наоборот, при использовании второго способа для уменьшения  $\Delta П$  увеличивают тепловые потери (то есть  $П^-$ ) в реостате. Наиболее экономичным способом управления приводом с двигателем переменного тока является частотное управление. В этом случае значение  $\Delta П$  изменяется главным образом за счет изменения  $П^+$ .

В гидроприводе с дроссельным управлением поток энергии, поступающий к двигателю, значительно превышает потребности двигателя. Чтобы привести количество поступающей энергии в соответствие с потребностями, часть ее переводится в теплоту дросселированием потока жидкости в каналах устройств управления. Результатом является уменьшение перепада давлений на рабочем органе двигателя (по сравнению с максимально располагаемым) в той мере, в какой это необходимо для реализации заданной движущей силы (момента) и заданной скорости двигателя.

В гидроприводах с объемным управлением заданный режим работы двигателя получается в результате регулирования потока энергии, подводимой к двигателю, то есть объемное управление экономически выгоднее дроссельного. Однако динамические свойства гидропривода с объемным управлением хуже из-за большой инерционности управляющих устройств. В результате часто идут на повышенные потери и используют приводы с дроссельным управлением для того, чтобы обеспечить лучшие динамические характеристики.

Эффективные способы управления электроприводами реализуются с помощью специальных распределительных устройств, которые одновременно являются преобразователями энергии, поскольку электрическая энергия генерируется и передается главным образом в виде тока промышленной частоты. Для питания электродвигателей постоянного тока необходим регулятор напряжения, если используют экономичный способ управления (изменением напряжения питания), который может выполнять одновременно функции преобразователя переменного напряжения питания  $U_1$  в постоянное. В современной технике для этой цели наиболее часто используют устройства, называемые управляемыми вентильными преобразователями. Независимо от типа управляемых вентилях (тиристорные, транзисторные и др.) принцип действия преобразователя заключается в том, что вентили работают как электрические ключи, пропускающие ток при малом падении напряжения в проводящую часть периода и не пропускающие его в непроводящую часть периода. Напряжение на выходе преобразователя (управляемого выпрямителя) регулируется по командам  $U$  путем изменения длительности работы вентиля в проводящую часть периода, причем за счет задержки момента открывания вентилях, характеризуемого углом запаздывания открывания  $\alpha$ .

На рисунке 12 показана схема, иллюстрирующая принцип регулирования напряжения на примере переключения тиристоров  $T1$  и  $T2$  по однофазной двухполупериодной схеме выпрямления.

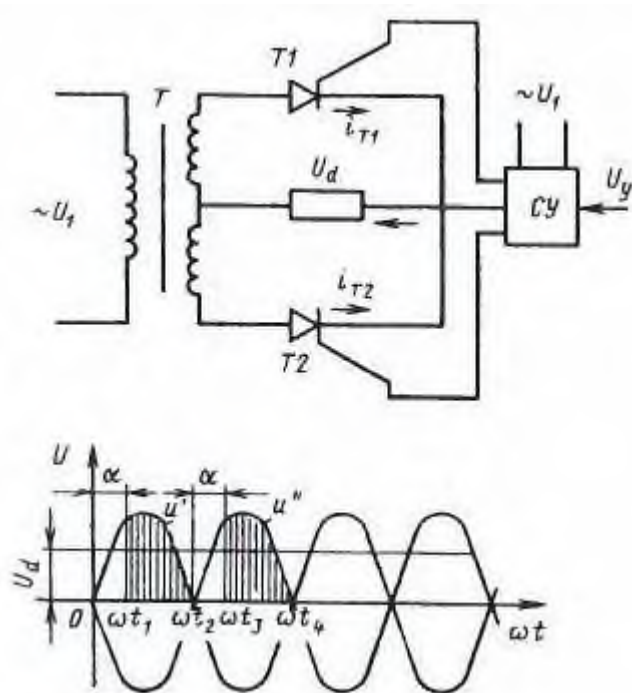


Рисунок 12 – Схема управляемого тиристорного преобразователя [4]

Если в момент времени  $t_1$ , соответствующий углу  $\alpha$ , на электрод Т1 подается от системы управления СУ отрицательный импульс, то он вызывает скачок напряжения в этот же момент. Напряжение далее меняется по первой полуволне  $u'$ . В момент времени  $t_2$ , когда напряжение становится равным нулю, Т1 закрывается. На интервале времени от  $t_2$  до  $t_3$  оба транзистора закрыты и сила тока равна нулю. В момент времени  $t_3$  включается транзистор Т2 и остается открытым до момента времени  $t_4$  (напряжение меняется по полуволне  $u''$ ) и т. д.

Если нагрузка на выпрямителе чисто активная, то кривая силы тока повторяет кривую выходного напряжения. Меняя угол  $\alpha$ , можно получить различные средние значения выпрямленного напряжения  $U_d$ , подаваемого на двигатель.

Для борьбы с пульсацией выпрямленного напряжения используют индуктивный фильтр или переходят к многофазным выпрямительным схемам, которые работают по такому же принципу. Если пульсация напряжения на выходе выпрямителя невелика, то его значение

$$U = U_{\max} \cos \alpha, \quad (1)$$

где  $U_{\max}$  - максимальное значение напряжения при  $\alpha=0$ .

Если необходимо обеспечить реверс двигателя, изменяют полярность на выходах якоря при неизменном направлении тока возбуждения. Для этого используют специальные реверсивные выпрямители, составленные из двух сек-



ций. Они отличаются высоким быстродействием, и с их помощью могут быть реализованы рекуперативные режимы торможения с возвратом энергии обратно в сеть.

КПД тиристорного выпрямителя достаточно высок и находится на уровне не ниже 0,9. Но коэффициент мощности выпрямителя падает с увеличением угла  $\alpha$ , что является его существенным недостатком.

При регулировании частоты вращения асинхронного двигателя изменением сопротивления в цепи статора или индуктивного сопротивления в цепи ротора проявляются одни и те же недостатки. Во всех указанных случаях имеет место уменьшение частоты вращения ротора по отношению к частоте вращения электрического поля, т.е. увеличение скольжения, что сопровождается уменьшением, как КПД двигателя, так и его коэффициента мощности. С падением напряжения питания, кроме того, уменьшается модуль жесткости статических характеристик привода, максимально допустимый движущий момент и пусковой момент двигателя.

Поэтому наиболее прогрессивным является частотный способ регулирования частоты вращения асинхронного двигателя - изменением частоты переменного тока, подводимого к статору. При использовании этого способа значительно расширяются возможности асинхронного двигателя. В первую очередь это относится к системам, где необходимо одновременно изменять частоты вращения нескольких двигателей, приводящих в движение группу текстильных машин, конвейеров, рольгангов и т.п. Частотное регулирование асинхронного двигателя применяют также в приводах центрифуг, шлифовальных и других машин, где возникают потребности в высоких частотах вращения.

Наибольшее применение в промышленности нашел статический преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока (рисунок 13).

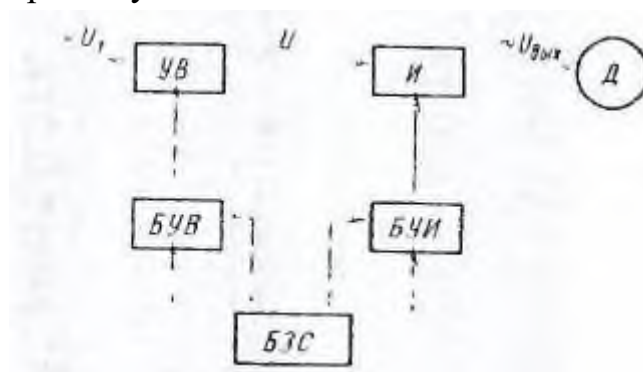


Рисунок 13 – Структурная схема статического преобразователя частоты (БЗС – блок задания скорости) [4]

Он состоит из двух силовых узлов управляемого выпрямителя УВ и инвертора И. На вход УВ подается нерегулируемое напряжение  $U_1$  переменного

тока промышленной частоты. С выхода УВ получают постоянное регулируемое напряжение  $U$ , которое подается на вход И, преобразующего постоянное напряжение в переменное  $U_{\max}$  регулируемой амплитуды и частоты, подаваемое на двигатель Д.

Кроме двух силовых узлов преобразователь содержит еще систему управления, состоящую из блока управления выпрямителем БУВ и блока управления инвертором БУИ, на которые поступают сигналы от блока задания скорости БЗС. Выходная частота регулируется в широких пределах и определяется частотой коммутации тиристоров И, которая задается блоком БУИ.

Преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока позволяет регулировать частоту вращения двигателя, как повышая, так и понижая ее относительно частоты питающей сети. Он отличается высоким КПД (до 0,96), значительным быстродействием, малыми габаритными размерами, сравнительно высокой надежностью и бесшумностью в работе.

Частотное регулирование, являясь практически единственным способом регулирования частоты вращения синхронных двигателей, характеризуется в основном теми же показателями, что и частотное регулирование асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Однако здесь проявляются следующие положительные свойства синхронного двигателя достаточно большого диапазона регулирования в сторону понижения, высокая устойчивость частоты вращения по отношению к колебаниям нагрузки, в том числе и на малых оборотах, и др. Некоторые трудности при использовании регулируемых синхронных двигателей вызваны их основным недостатком: склонностью к качаниям ротора.

Привод переменного тока с вентильным двигателем, являясь функционально аналогичным двигателю постоянного тока, управляется с помощью преобразователя частоты (вентильного коммутатора) в зависимости от положения ротора или магнитного потока двигателя. Этот коммутатор в данном случае выполняет роль щеток и коллектора. В вентильных двигателях частоту вращения можно регулировать изменением подводимого к статору напряжения, тока возбуждения (при наличии обмотки возбуждения) и углу опережения включения вентилей относительно фазных ЭДС двигателя (преобразователем частоты).

В промышленности чаще других находят применение два вида преобразователей частоты с промежуточным звеном постоянного тока и с непосредственной связью. В обоих случаях такой преобразователь включает в себя выпрямитель (управляемый или неуправляемый), инвертор и блоки управления этими узлами. Отличие состоит в способе управления коммутацией вентилей, которая может быть естественной и искусственной.

При естественной коммутации преобразователь постоянного тока в переменный (инвертор) отдает энергию нагрузке, которая уже содержит источник ЭДС той же частоты, что и выходное напряжение преобразователя. Коммутация вентилей осуществляется благодаря действию этой ЭДС. Частота вращения регулируется изменением выпрямленного напряжения или тока возбуждения.

При искусственной коммутации вентилей инвертором управляют в функции положения ротора двигателя по сигналам от датчика, поступающим в блок управления инвертором. В такой схеме частоту вращения двигателя можно регулировать тремя способами: изменением выпрямленного напряжения, тока возбуждения и угла опережения при подаче отпирающих вентили импульсов относительно ЭДС двигателя. Эта схема выпрямителя является более сложной, но обеспечивает пуск двигателя без введения каких-либо дополнительных средств, что необходимо для схемы с естественной коммутацией.

В гидравлических и пневматических распределителях потоками жидкости или воздуха управляет, как правило, подвижный механический элемент, (называемый затвором), от положения которого зависят проходные сечения рабочих каналов, связывающих полости двигателя с источником питания, сливом (атмосферой) или другими элементами схемы. Известны и другие способы управления потоками рабочего тела путем взаимодействия струй (управляющей и основной), использования магнитно-реологического эффекта в жидкости (введением специальных добавок жидкость делают чувствительной к действию магнитного поля, под воздействием которого она изменяет свою вязкость, а, следовательно, и текучесть через проходное сечение постоянного проходного сечения) и другие, однако все эти способы применяют достаточно редко.

Затвор распределителя перемещается или непосредственно от электромагнита, если мощность последнего для этого достаточна, или под воздействием перепада давлений жидкости или воздуха на торцах затвора. При этом перепад давлений создается с помощью вспомогательного распределителя, управляемого непосредственно электромагнитом. Распределители первого типа называют однокаскадными, второго двухкаскадными.

В настоящее время системы управления приводами строят главным образом на базе электронной техники. Поскольку генерируемые управляющие сигналы имеют небольшую мощность (менее 2 Вт), которой обычно недостаточно для питания обмоток электромагнита, то в схему управления обязательно вводят электронный усилитель. Последнее время этот усилитель часто встраивают непосредственно в корпус распределителя, причем вместе с регулятором.

По принципу действия затвора различают распределители:

- типа сопло-заслонка – простые (рисунок 14 а), дифференциальные (рисунок 14 б), с заслонкой в виде пластины (рисунок 14 а и б) или эксцентрика

(рисунок 14 в);

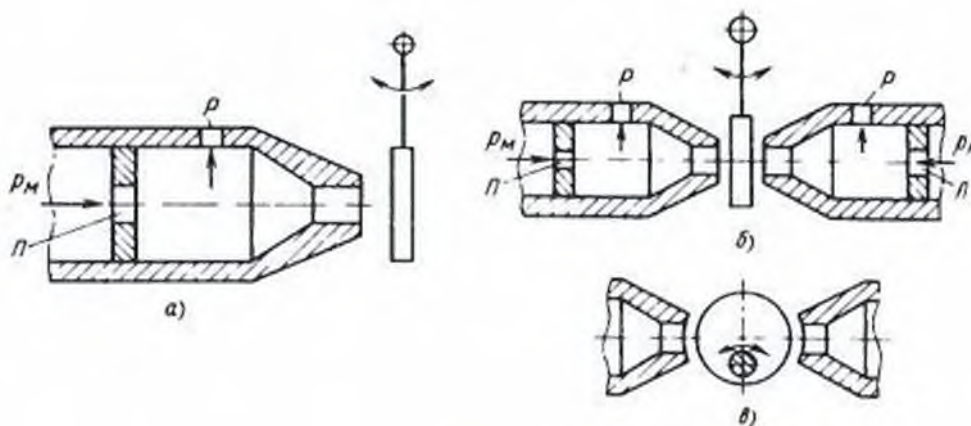


Рисунок 14 – Распределители типа «сопло-заслонка» [4]

- типа струйная трубка (рисунок 15), которая, поворачиваясь, направляет большую или меньшую часть вытекающей из трубки струи в приемные каналы, золотниковые с цилиндрическим (рисунок 15 а) или плоским (рисунок 15 б и в) золотником.

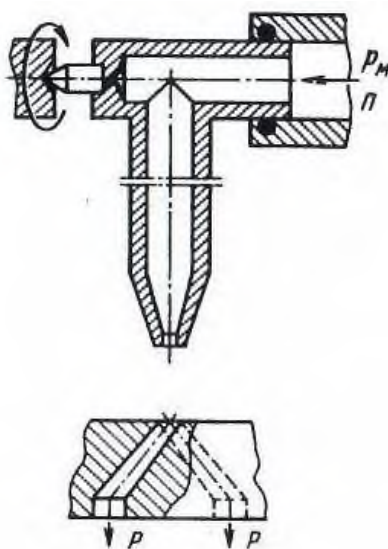


Рисунок 15 – Распределитель типа «струйная трубка» [4]

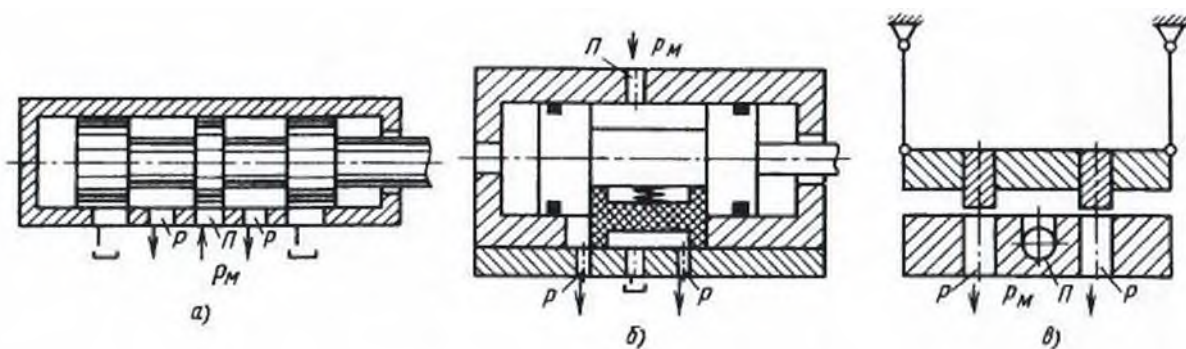


Рисунок 16 – Распределители с золотниками [4]

На рисунках здесь и далее приняты следующие обозначения: П - канал питания, Р - рабочий канал,  $p_m$  - давление магистрали.

Схема двухкаскадного золотникового распределителя с дифференциальным элементом сопло-заслонка в первом каскаде показана на рисунке 17. Заслонка перемещается между торцами сопел моментным электродвигателем, повышая давление перед одним из сопел и понижая перед вторым. Создаваемый таким образом перепад давлений на торцах золотника заставляет последний перемещаться в соответствующую сторону. Смещение золотника от центрального положения зависит от жесткости центрирующих пружин и силы, создаваемой перепадом давлений, который, в свою очередь, зависит от смещения из центрального положения заслонки, а смещение заслонки - от силы моментного двигателя, пропорциональной силе тока в его обмотках, то есть управляющему сигналу.

По такой же схеме работают и распределители релейного действия, затворы которых перемещаются только из одного определенного положения в другое. Например, распределитель, показанный на рисунке 17 при релейном исполнении будет являться трехпозиционным.

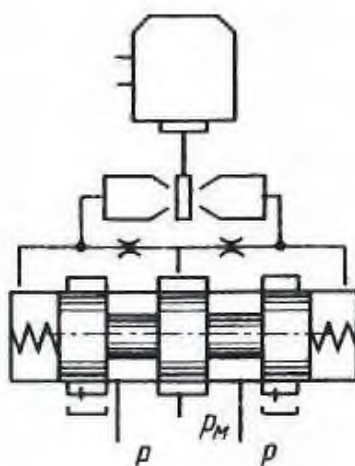


Рисунок 17 – Двухкаскадный золотниковый распределитель с дифференциальным элементом сопло-заслонка в первом каскаде [4]

При отсутствии электрических управляющих сигналов его затвор занимает среднее положение, в котором удерживается центрирующими пружинами; при подаче на обмотки электромагнитного сигнала одного знака затвор сместится, например, влево до упора, а при команде другого знака - вправо до упора.

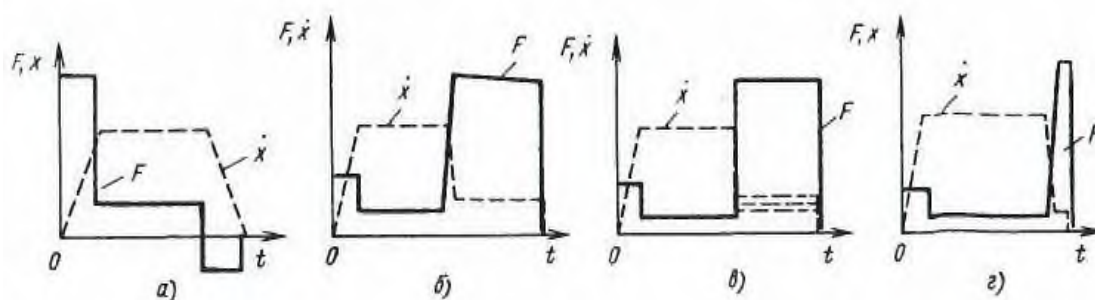
Система управления приводом генерирует управляющие сигналы в соответствии с заложенными в ней алгоритмами и результатами анализа информации, поступающей, во-первых, от датчиков текущего состояния привода и, во-

вторых, от задающего устройства, которое формирует закон движения привода согласно требованиям технологического процесса.

Если технологический цикл состоит из нескольких этапов, причем на каждом из них рабочий орган движется по своему закону, то систему дополняют более высоким уровнем, управляющим переходами от одного этапа к другому. На этом же уровне может быть организовано управление последовательностью работы многих рабочих органов (и соответственно приводов) в сложном техническом оборудовании.

Система верхнего уровня является обычно по принципу действия дискретной, поскольку решение о переходе к каждому следующему этапу, включении или выключении очередного привода принимается на основании логического анализа всего объема информации о ходе выполнения цикла, состоянии рабочих органов, инструмента, дополнительных условиях и ограничениях и т.д. Для реализации алгоритмов верхнего уровня в современном производстве обычно используют управляющие ЭВМ различного уровня сложности. При относительно небольшом числе этапов, простой структуре цикла и простых средствах контроля за состоянием оборудования (например, с помощью сигналов от конечных переключателей) для этой же цели могут быть применены перепрограммируемые электронные командоаппараты. Известны также и еще более простые специальные управляющие устройства, например, контроллеры для обеспечения процессов пуска, регулирования скорости и динамического торможения двигателя постоянного тока.

Ниже в качестве примера приведено несколько типовых, достаточно распространенных технологических циклов: транспортный, силовой, подачи и прижима (рисунок 18).



а – транспортный, б – силовой, в – подачи, г – прижима

Рисунок 18 – Типовые технологические циклы [4]

Транспортный цикл складывается из этапов разгона, движения с постоянной скоростью и торможения (рисунок 18 а). Максимум движущей силы  $F$  привода приходится здесь на первый этап, поскольку при разгоне одновременно преодолеваются и силы трения. Скорость  $x$  транспортирования объекта на вто-

ром этапе может быть достаточно большой, но нет особой необходимости поддерживать ее строго на постоянном уровне.

В силовом цикле (рисунок 18 б) после этапа разгона следует сравнительно короткий этап быстрого подвода, завершающийся основным этапом - создания значительной рабочей силы. В этом случае также нет жестких требований к характеру изменения скорости. В цикле подачи (рисунок 18 в) присутствуют те же этапы, что и в цикле транспортирования, но предъявляются жесткие требования к равномерности движения, а также должна быть предусмотрена возможность задания различных скоростей подачи.

В цикле прижима (рисунок 18 г) рабочая сила появляется только в самом конце движения, ее значение обычно является определяющим выбор привода. На этапе подвода скорость может быть достаточно большой, а на этапе создания силы малой.

В реальных машинах нередко наблюдаются комбинированные циклы, например, движение быстрого подвода одновременно является и транспортным движением.

Система управления нижнего уровня поддерживает заданную скорость, рабочую силу или другие параметры, реализует заданный закон движения, обеспечивает остановку рабочего органа в заданной позиции и выполняет многие другие задачи, вытекающие из технологических требований каждого этапа выполняемого цикла. Например, в транспортном цикле на первом этапе может возникнуть необходимость контролировать ускорение при разгоне привода или его замедление на последнем этапе, чтобы избежать недопустимых рывков. В этом же цикле или цикле подачи система управления может обеспечить останов рабочего органа в заданной точке, в силовом цикле не исключена необходимость контроля развиваемой приводом рабочей силы и т.д.

Для решения указанных задач используют системы с различными способами управления потоками первичной энергии непрерывным (или аналоговым), импульсным и релейным.

При непрерывном управлении имеет место непрерывное изменение сигналов, поступающих от системы управления на распределитель, в течение всего времени работы привода. Соответственно меняется непрерывно и состояние распределителя. В таком режиме работает гидрораспределитель, показанный на рисунке 17.

В приводах с импульсным управлением сигнал управления подается в виде последовательности импульсов, модулируемых (преобразуемых) по ширине, амплитуде или частоте. Рассмотренный ранее управляемый тиристорный преобразователь работает в режиме широтно-импульсной модуляции, каждый из тиристоров Т1 и Т2 определенную часть периода находится в открытом, а ос-

тальную в закрытом состоянии. Моменты открытия и закрытия определяют подачей соответствующих импульсов от системы управления, причем, чем больше угол  $\alpha$ , тем меньшую часть периода тиристор находится во включенном состоянии и тем, следовательно, оказывается меньшим среднее значение выпрямленного напряжения  $U$ . Для борьбы с пульсацией последнего применен индуктивный фильтр. Однако фильтрующими свойствами обладает и сам двигатель (с нагрузкой), так как ввиду его инерционности он не способен реагировать заметным образом в отдельности на каждый импульс, поступающий со стороны распределителя, если частота импульсов намного превышает собственную частоту двигателя. Реакция двигателя на всю последовательность модулированных импульсов будет в этом случае аналогична той, которая имела бы место при получении от распределителя некоторого непрерывного усредненного сигнала, эквивалентного импульсному.

При релейном управлении сигналы управления, как и состояние распределителя изменяются скачком (принимают, например, единичное или нулевое значение) всякий раз, когда рассогласование между требуемым и действительным законами движения достигают определенного порогового значения. Как и в случае импульсного управления,



## 7 Сравнительные оценки приводов

В таблице 2 представлены сравнительные качественные оценки электрического, гидравлического и пневматических приводов.

Таблица 2 – Качественные сравнительные оценки приводов различных типов [4]

Показатель	Тип привода		
	электрический	гидравлический	пневматический
Удельная мощность	-	+	x
Эффективность	+	x	-
Первоначальная стоимость	-	x	+
Быстродействие	-	x	+
Надежность	x	-	+
Точность	+	x	-
Пожаро- и взрывобезопасность	x	-	+
Удобство обслуживания и ремонта	x	-	+
Тепловой режим	-	x	+
Воздействие на окружающую среду	+	x	-
Примечание: + -; высшая приоритетная оценка; x - средняя приоритетная оценка; - - худшая приоритетная оценка. Сравнение проводят по каждому из сопоставленных показателей отдельно.			

В таблице 3 приведены количественные значения двух показателей приводов удельной (то есть приходящей на 1 кг массы) мощности привода ( $W$ ) и эффективности (КПД): данные этой таблицы относятся к приводам с двигателем вращательного движения.

Таблица 3 – Оценка двигателей вращательного движения по удельной мощности и эффективности [4]

Показатель	Тип привода		
	электрический	гидравлический	пневматический
Мощность удельная $W$ , кВт/кг	0,02-0,2	0,5-1,0	0,3-0,4
КПД	0,7-0,9	0,7-0,8	0,05-0,2

Предел повышения  $W$  ограничивается физическими возможностями привода данного типа по созданию силы (момента) в единице занимаемого им объема или на единицу активной площади рабочих органов, конструктивными способностями двигателя и параметрами материала, из которого изготовлены его

элементы. Для гидро- и пневмоприводов первый фактор определяется уровнем давления рабочего тела. В гидросистемах давление 15 МПа считается обычным, а в специальных устройствах оно может достигать до 100 МПа и выше. Давление в пневмосистемах (заводской сети сжатого воздуха) не превышает 1 МПа, в реальных же условиях оно поддерживается на уровне 0,4–0,7 МПа.

В гидро- и пневмосистемах первичная энергия поступает в удобном для использования виде, требуется лишь рабочая камера с подвижным элементом, имеющим определенную активную площадь, с помощью которого энергия жидкости или воздуха преобразуется в механическую работу. Масса двигателя определяется только геометрическими факторами и прочностью материала.

Движущий момент в электродвигателе возникает в результате взаимодействия магнитных и электрических полей, создание которых требует применения специальных конструкций элементов двигателя, а также специальных материалов, обладающих определенными магнитными, токопроводящими, изоляционными и другими свойствами. При использовании обычных магнитных материалов удается получить силу на единицу активной площади взаимодействующих элементов, эквивалентную приблизительно давлению в пневмосистеме, то есть нескольким десятым мегапаскалей. Новые магнитные материалы, основу которых составляют редкоземельные металлы, позволяют значительно улучшить этот показатель. По некоторым данным, при переходе на самарий-кобальтовые магниты можно построить электродвигатель, имеющий значение  $W$  такого же порядка, как гидромотор, работающий на давлении 16–28 МПа. В еще более далекой перспективе можно, в принципе, ожидать, появления особо легких электродвигателей, использующих эффект сверхпроводимости. Однако на сегодняшний день значения  $W$  для двигателей вращательного движения соответствуют данным, приведенным в таблице 3.

При сопоставлении приводов с двигателями линейного перемещения преимущества гидро- и пневмоприводов представляются более очевидными, поскольку с их помощью линейное движение можно получить непосредственно без использования промежуточных механизмов преобразования. Вместе с тем прогнозируется в будущем широкое применение так называемых электрогидроцилиндров, под которыми понимают устройства двух видов: модули, объединяющие в общем корпусе электродвигатель вращательного движения с механизмом преобразования, например, шарико-винтовой передачей; специальные линейные электродвигатели, представляющие собой развернутые на плоскости электродвигатели различных принципов действия. В пользу такого прогноза в определенной мере свидетельствует факт постепенного вытеснения за последние годы гидроприводы из механизмов подачи станков и замена его электроприводом. Если еще в 1970 г. около 96% годового потребления приводов подач

были гидравлическими, то в 1988 г. около 93% годового потребления приводов в станкостроении составили электроприводы (по зарубежным данным).

Причинами такой замены послужили преимущества электропривода: более высокая надежность, точность, лучший КПД, простота и удобство в обслуживании, а также недостатки гидропривода, большая податливость под воздействием внешних нагрузок, чувствительность к изменениям температуры рабочей жидкости, высокий уровень шума. Электроцилиндры двух указанных выше типов выпускает, например, фирма Setvotex GmbH серийно уже в течение длительного времени специально для механизмов подачи станков. Они имеют рабочую силу 100-50000 Н. рабочий ход до 5 м, достигаемая с их помощью точность отработки позиции составляет 0,01-0,002 мм при скорости перемещения от 1 мм/с до 1 м/с. Широкое применение электроцилиндров в общем машиностроении сдерживается пока их относительно высокой стоимостью и низкими значениями показателя  $W$ .

При сравнении вращательных двигателей различных типов по показателю  $W$  следует иметь в виду, что в реальных условиях эти двигатели используют в сочетании с редукторами или другими передаточными механизмами. Если комплекс двигатель-редуктор рассматривать как общий узел (исполнительный механизм), то можно заметить следующее. Чем более высокооборотным является двигатель, тем больше должно быть передаточное отношение редуктора, если на выходе исполнительного механизма необходимо получить определенную (заданную) частоту вращения. С ростом номинальной частоты вращения двигателя его габаритные размеры уменьшаются, показатель  $W$  улучшается. Но одновременно возрастает передаточное отношение редуктора что, очевидно, должно привести к увеличению габаритных размеров и массы последнего. Существует некоторое оптимальное значение номинальной частоты вращения двигателя, при которой исполнительный механизм характеризуется наилучшим значением показателя  $W$ . Для исполнительных механизмов с двигателями мощностью до нескольких киловатт можно принять для электрических двигателей  $W=0,003-0,06$  кВт/кг, гидравлических  $W=0,05-0,6$  кВт/кг и для пневматических  $W=0,03-0,1$  кВт/кг.

Если учесть, кроме исполнительного механизма, также и другие элементы приводов, то можно сделать следующие выводы. Что касается системы управления, то в большинстве случаев ее параметры примерно одинаковы для приводов всех типов, поскольку они зависят главным образом от алгоритма и структурной схемы системы. Очевидно, электропривод уступает как гидравлическому, так и пневматическому приводам при сопоставлении их распределительных устройств. Тиристорные или транзисторные преобразователи, используемые в качестве распределителей в электроприводах, обладают большой массой, явля-

ются более сложными и стоят дороже гидро- или пневмораспределителей. С другой стороны, эти же силовые преобразователи выполняют роль источников питания. В гидроприводе источником питания является отдельный агрегат (насосная станция), куда входят гидробак, насос с электродвигателем, аккумулятор, охладитель рабочей жидкости и другое оборудование. Если учесть параметры насосной станции, то сравнение в целом может оказаться в пользу электропривода, хотя такой анализ нужно проводить в каждом конкретном случае особо, учитывая и перспективы развития привода каждого типа.

Например, в последнее время наметилась тенденция перехода на централизованное питание гидроприводов группы технологического оборудования от общей насосной станции, вынесенной в изолированное помещение. Таким путем достигается существенная (в несколько раз) экономия установленной мощности насосов даже с учетом резервирования, устраняется шум в производственном помещении, повышается общая эффективность системы гидроприводов, все это вместе взятое повышает конкурентоспособность гидропривода.

Источником питания пневмопривода служит заводская сеть сжатого воздуха с общей компрессорной станцией. При сопоставлении пневмопривода с приводами других типов параметры компрессорной станции, а также пневматической сети обычно учитывают косвенным образом через КПД пневмопривода, через стоимость пневматической энергии в сопоставлении ее, например, со стоимостью электрической энергии.

Самым эффективным (экономичным), как видно и данных таблицы 3, является электропривод. Более низкое значение КПД гидропривода есть результат, во-первых, двойного преобразования энергии в источнике питания (в системе электродвигатель - насос), что неминуемо связано с дополнительными потерями, во-вторых, это результат использования дроссельного принципа управления, когда определённая часть гидравлической энергии переводится в теплоту в процессе создания требуемых перепадов давления на рабочем органе двигателя ценой потерь давления в каналах распределителя.

Данные по эффективности, приведенные в таблице 3 относятся к установившимся режимам работы приводов. В условиях же обработки сложных законов движения, когда привод практически совсем не работает в установившихся режимах, КПД гидроприводов понижается еще более, поскольку интенсивность управляющих воздействий прямо зависит от степени дросселирования потоков в каналах распределителя.

КПД электропривода при работе в переходных режимах также оказывается ниже значения, указанного в таблице 3, но это уменьшение не столь велико, если применяют прогрессивные способы управления интенсивностью подвода энергии к двигателю. Кроме того, в электроприводе проще решается проблема

возврата части энергии обратно в сеть, например, на этапах торможения двигателя.

Конкурентоспособность гидропривода по эффективности можно повысить путем совершенствования источника питания и перехода от дроссельного управления к объемному, основанному на дозировании потока энергии, отбираемой от источника питания. Это требует, однако, решения некоторых технических проблем, в частности создания более быстродействующих устройств управления источниками питания переменной производительности.

На эффективность пневмопривода существенно влияет двойное преобразование энергии в источнике питания (электродвигатель — компрессор), причем вследствие сжимаемости воздуха потери здесь больше, чем в насосной станции гидропривода. Сказываются также потери в пневмосети (утечки, потери давления). Кроме потерь на дросселирование в распределительных устройствах (а другие способы управления пневмоприводом практически не применяют) большое влияние на общий КПД пневмопривода оказывает эффективность процесса, протекающего в собственно двигателе, его КПД тем выше, чем больше расширение воздуха в его полостях и чем меньше давление подпора в полости противодействия.

В качестве интегральной оценки эффективности пневмопривода удобно использовать данные о стоимости пневматической энергии. Обычно принимают, что она стоит примерно в 4 раза дороже электрической. Однако этот показатель не может быть единственным. При решении вопроса о целесообразности применения пневмопривода учитывают также и стоимость самого пневмопривода, удобство применения, ремонт и т.п. в сопоставлении с приводами других типов.

Когда отмечают высокое быстродействие пневмопривода (таблица 2), то под этим подразумевают верхний уровень скорости, который, в принципе, может быть достигнут исполнительным органом пневмопривода при его линейном перемещении (пнеumoцилиндром). Действительно, в этом случае вполне достижимы скорости 5 м/с и даже более, хотя следует учитывать ограничения, которые, например, накладываются уплотнениями (значениями возникающих в них сил трения, ресурсом работы, износостойкостью). Электроцилиндры, рассчитанные на такой же диапазон рабочих скоростей, значительно дороже пневмоцилиндров, и применяют их лишь в особо ответственных системах, в которых требуется, кроме быстродействия, обеспечить точное соблюдение заданного закона движения.

Сложнее сравнивать по быстродействию приводы с двигателями вращательного движения, тем более что их обычно используют вместе с редукторами или другими передаточными механизмами. Можно только отметить, что пнев-

матический турбинный двигатель или двигатель типа «сегнерово колесо» способен достичь частоты вращения  $100000 \text{ мин}^{-1}$  и более.

В общем случае быстродействие привода зависит не только от достигаемых им предельных скоростей, но и постоянных времени, показывающих, насколько могут быть велики темпы изменения скорости и движущей силы. Чем эти постоянные времени меньше, тем привод быстрее реагирует на управляющие сигналы, тем выше его динамические качества. Первая из указанных постоянных времени  $\tau_m$ , из всех типов приводов меньше всего для гидропривода; у него наиболее благоприятное отношение движущей силы к массе подвижных частей или движущего момента к моменту инерции. Пневмопривод и электропривод характеризуются приблизительно одинаковыми значениями  $\tau_m$ .

Вторая постоянная времени  $\tau_m$  характеризует предельный темп изменения движущей силы двигателя. Ее значения минимальны для электропривода, далее следует гидропривод; хуже других в этом отношении пневмопривод.

Принято считать, что наиболее надежным является пневмопривод. Этот вывод в значительной мере является следствием относительно простых задач, которые решают с его помощью, отсюда и простота конструкции

Обычно пневмопривод работает в цикловом режиме, то есть его рабочий орган совершает практически нерегулируемое движение от одного жесткого упора до другого, распределителем служит простейшее устройство дискретного действия, система управления определяет только последовательность работы отдельных двигателей.

Естественно, что положение может измениться, если пневмопривод применить для решения более сложных задач, требующих активного управления движением (отработки заданных позиций, траекторий, слежения за задающим сигналом и т.п.) Тогда возникнет необходимость в более сложных распределительных устройствах и это может сказаться на надежности пневмопривода. Поскольку в настоящее время позиционные и контурные пневматические приводы только начинают применять, информация о их надежности пока отсутствует.

При сопоставлении приводов различных типов по надежности следует исходить из того, что выполняемые ими задачи идентичны. При этих условиях должны быть примерно одинаковы и их системы управления, как отрабатывающие один и тот же алгоритм (хотя, например, система управления пневмопривода может оказаться несколько сложнее из-за необходимости компенсации податливости сжатого воздуха). При реализации систем управления на одной и той же технической базе можно ожидать и одинаковых их показателей по надежности.

Распределительные устройства гидро- и пневмоприводов более просты по конструкции, чем распределительные устройства электроприводов. Но с точки

зрения надежности вторые могут и не уступать первым, поскольку в конструкцию гидро- или пневмораспределителя входят подвижные элементы, трущиеся пары, уплотнения, подверженные механическому изнашиванию. Могут встречаться отверстия и каналы малого проходного сечения, которые могут засоряться примесями, содержащимися в рабочем теле, что особенно сильно влияет на работу гидро- и пневмоприводов с аналоговыми системами управления.

Распределительные устройства электроприводов (тиристорные или транзисторные преобразователи) не имеют подвижных частей и поэтому механически не изнашиваются. Но они чувствительны к перегреву, который может вызвать отказ в работе.

Отказы источников питания электроприводов достаточно редки и чаще всего устранимы простыми средствами. Также относительно редки отказы и в пневмосетях. В источнике питания гидродвигателя, который является достаточно сложным узлом, отказы более вероятны, также ограничен и ресурс работы. С этой точки зрения источники централизованного питания, о которых говорилось выше, значительно лучше, первую очередь благодаря наличию в них резервирования.

Из двигателей наиболее надежными являются, видимо, электродвигатели, особенно новых конструкций, в которых исключены щеточные контакты. Недостаток электродвигателя - чувствительность к перегрузкам и перегревам, вызываемым перегрузками. С этой точки зрения преимуществом обладают гидро- и пневмоприводы, которые способны длительное время находиться в покое при полной нагрузке. Пневмопривод может длительное время работать при высокой температуре окружающей среды, поскольку он охлаждается воздухом. Важным свойством пневмопривода является пожаро- и взрывобезопасность. Перегрев жидкости в гидроприводе (за счет тепловыделений при дросселировании потока или воздействия окружающей среды) может нарушить его нормальную работу, поскольку при изменении температуры жидкости меняется ее вязкость. Обычный гидропривод не способен работать в пожароопасных условиях, поскольку жидкости являются горючими.

Уже длительное время пытаются создать пожаробезопасный гидропривод путем перехода на рабочие жидкости, в составе которых основную часть занимает вода. Это выгодно и с экономической точки зрения (экономятся натуральные или синтетические масла) Однако до сих пор проблема полностью не решена. Из-за плохих смазывающих свойств водяных жидкостей имеет место интенсивное изнашивание трущихся частей, а из-за малой вязкости возрастают утечки.

В результате после всех принятых конструктивных и технологических мер существующие элементы гидропривода, ориентированные на применение

водяных жидкостей, характеризуются пониженным номинальным давлением, ресурсом и КПД.

С точки зрения воздействия на окружающую среду наименее вредное влияние оказывает электропривод. Оно выражается главным образом в виде шума, причем в большинстве случаев главными источниками шумов являются передаточные механизмы. В отличие от электропривода гидропривод не только шумит (основной источник шума - насосная станция), но и загрязняет окружающую среду маслом. так как, во-первых, невозможно полностью исключить утечки рабочей жидкости через уплотнения и, во-вторых, всегда имеется опасность аварий в коммуникационных линиях.

Шум, создаваемый пневматическим приводом, возникает в основном от выхлопа воздуха даже при наличии глушителей. В некоторых случаях снижения шума достигают при выхлопе воздуха не в окружающую среду, а в специальную выхлопную линию, выведенную наружу из помещения в обслуживаемую группу пневматических приводов. Таким путем не только уменьшается шум в помещении, но исключается загрязнение воздуха окружающей среды частицами масла и других веществ, которые могут содержаться в рабочем воздухе. В ряде развитых стран мира уже введены в действие специальные законодательные акты, лимитирующие содержание частиц масла в помещении, где работают люди. Как показали исследования, капли и пары масла оказывают вредное влияние на бронхи и легкие человека.



## 8 Расчет электрического привода: кинематический и силовой. Выбор электродвигателя

Исходными данными для расчета привода могут быть необходимая скорость движения исполнительного механизма – ленты для ленточного конвейера или цепи для цепного конвейера  $v$ , м/с, необходимое усилие на ведущем барабане или звездочки конвейера  $F$ , Н, диаметр приводного барабана  $D_{\text{бар}}$ , м, или число зубьев  $z$  или шаг цепи  $P_{\text{ц}}$ , м и др. Также исходными данными могут быть значения крутящего момента  $T$ , Н·м, и угловой скорости  $\omega$ , с<sup>-1</sup>, или частоты вращения  $n$ , мин<sup>-1</sup>.

Расчет передаточных механизмов ведется в следующем порядке:

1. Определяется требуемая мощность электродвигателя (мотор-редуктора). Требуемую мощность электродвигателя определяют по расчетной номинальной нагрузке (например, для конвейеров и транспортеров – по тяговому усилию и скорости ленты) с учетом коэффициента полезного действия всего привода, равного произведению частных коэффициентов полезного привода передач, входящих в привод. По найденной мощности электродвигателя (мотор-редуктора) по соответствующим каталогам выбирают его тип, наиболее подходящий для данных конкретных условий работы.

2. Определяется частота вращения приводного вала.

3. Определяется общее передаточное число привода.

4. Производится разбивка общего передаточного числа привода по ступеням передачи.

5. Определяются вращающие моменты на валах привода.

В подавляющем большинстве приводов применяют редукторы или мультипликаторы. Редукторами называют агрегаты, состоящие из передач зацеплением (цилиндрических, конических, червячных и др.) с передаточным числом, предназначенные для понижения угловой скорости и повышения крутящего момента. Подобные агрегаты, но используемые для повышения угловой скорости и понижения момента, называют мультипликаторами. Расширяющееся пространство получают мотор-редукторы – агрегаты, состоящие из зубчатого редуктора (с подвижными осями зубчатых колес или планетарного) и электродвигателя. При этом корпус редуктора скрепляется с корпусом фланцевого электродвигателя. Масса и габаритные размеры мотор-редуктора значительно меньше, чем предназначенные для той же цели установки, составленной из редуктора и электродвигателя, представляющих собой самостоятельные агрегаты с муфтой для передачи крутящего момента.

В приводах, которые состоят из редукторов и открытых передач гибкой связью (цепных, ременных), наиболее часто применяют трехфазные асинхрон-

ные электродвигатели с короткозамкнутым ротором серии АИР переменного тока, имеющие синхронные частоты вращения вала (то есть без нагрузки на валу) 750, 1000, 1500, 3000 мин<sup>-1</sup>.

Асинхронная частота вращения  $n_э$ , мин<sup>-1</sup> (частота вращения вала электродвигателя под нагрузкой) у таких двигателей всегда меньше, чем у синхронных, она приводится в каталогах на электродвигатели.

Общее передаточное число привода определяют, как:

$$u_{\text{общ}} = n_э / n_{\text{вых}}, \quad (2)$$

где  $n_{\text{вых}}$  - частота вращения приводного (выходного) вала, мин<sup>-1</sup>.

Частоту вращения приводного (выходного) вала, мин<sup>-1</sup>, в случае установки на нем приводного барабана выполняют по формуле:

$$n_{\text{вых}} = 60v / (\pi \cdot D_{\text{бар}}), \quad (3)$$

а в случае установки на нем тяговых звездочек вычисляют по формуле:

$$n_{\text{вых}} = 60v / (\pi \cdot D), \quad (4)$$

где  $v$  – скорость движения ленты (цепи), м/с;

$D_{\text{бар}}$  – диаметр барабана, м;

$D$  - диаметр делительной окружности тяговой звездочки (звездочек), м;

Диаметр делительной окружности тяговой звездочки (звездочек) определяют по формуле:

$$D = P_{\text{ц}} / \sin(180^\circ / z). \quad (5)$$

Общее передаточное число привода определяют как:

$$u_{\text{общ}} = u_1 u_2 \dots u_n, \quad (6)$$

где  $u_1, u_2, \dots, u_n$  – передаточные числа кинематических пар привода.

Значения передаточных чисел зубчатых цилиндрических и конических передач, червячных передач, цепных и ременных передач приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Передаточные числа одноступенчатых механических передач [5]

Вид передачи	Передаточное число $u$	Максимальное передаточное число $u_{\max}$
Зубчатая цилиндрическая закрытая (редуктор)	3...6	8
Зубчатая коническая закрытая (редуктор)	2...5	6,3
Червячная закрытая (редуктор)	10...50	80
Ременная	2...4	6
Цепная	2...5	8
Примечания: 1 Стандартные значения передаточных чисел: 2; 2,24; 2,5; 2,8; 3,15; 3,55; 4; 4,5; 5; 5,6; 6,3; 7,1; 8...		
2 Допускаемое отклонение значений $\pm 4\%$ .		

Электродвигатель выбирают исходя из заданного окружного усилия  $F$  и окружной скорости  $v$  на приводном валу. По этим данным вычисляют потребляемую мощность привода, то есть мощность на выходе, кВт:

$$P_{\text{потр}} = F \cdot v / 1000, \quad (7)$$

после чего определяют потребляемую мощность электродвигателя, кВт:

$$P_{\text{потр. э}} = P_{\text{потр}} / \eta_{\text{общ}}, \quad (8)$$

где  $\eta_{\text{общ}}$  – общий коэффициент полезного действия (КПД) привода.

Общий КПД привода определяется как произведение КПД отдельных элементов (передач), входящих в привод, - цепных  $\eta_{\text{ц}}$ , ременных  $\eta_{\text{р}}$ , червячных  $\eta_{\text{ч}}$ , зубчатых  $\eta_{\text{з}}$ , передач, пар подшипников качения  $\eta_{\text{п}}$ , и муфт  $\eta_{\text{м}}$ :

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{ц}}^a \cdot \eta_{\text{р}}^b \cdot \eta_{\text{ч}}^c \cdot \eta_{\text{з}}^d \cdot \eta_{\text{п}}^e \cdot \eta_{\text{м}}^f, \quad (9)$$

где  $a, b, c, d, e, f$  – соответственно количество цепных, ременных, червячных и зубчатых передач, пар подшипников качения и муфт в приводе.

Формула (8) приведена в общем виде. В случае отсутствия каких-либо элементов в приводе они в формуле (8) не учитываются.

Значения КПД для различных передач приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения КПД для различных элементов привода [5]

Тип передачи	$\eta$
Зубчатая (с опорами, закрытая):	
цилиндрическая	0,96...0,98
коническая	0,95...0,97
Планетарная (закрытая):	
одноступенчатая	0,95...0,97
двухступенчатая	0,92...0,96
Волновая (закрытая)	0,72...0,82
Червячная (закрытая) при передаточном числе:	
св. 30	0,70...0,80
св. 14 до 30	0,75...0,85
св. 8 до 14	0,80...0,90
Ременная (все типы)	0,94...0,96
Цепная	0,92...0,95
Муфта соединительная	0,98
Подшипники качения (одна пара)	0,99

По найденной мощности  $P_{\text{потр. эл. дв}}$  выбирают электродвигатель с ближайшим большим значением мощности, т.е.  $P_{\text{эл. дв}} \geq P_{\text{потр. эл. дв}}$ . Допускаемая нагрузка не более 5 %.

Затем следует выписать все значения асинхронных частот вращения валов электродвигателей для дальнейшего окончательного выбора. Например, для электродвигателей АИР мощностью 5,5 кВт асинхронная частота вращения может быть 2850, 1432, 960 и 712 мин<sup>-1</sup>. Необходимо определить четыре возможных значения  $n_{\text{общ}}$  по формуле (6) и выбрать наиболее рациональное значение.

Частоты вращения валов редуктора, мин<sup>-1</sup>, определяются следующим образом:

- частота вращения быстроходного вала  $n_1$ :

при соединении с валом электродвигателя, имеющего частоту вращения  $n_{\text{эл. дв}}$ , с помощью муфты:

$$n_1 = n_{\text{эл. дв}}; \quad (10)$$

при соединении с валом электродвигателя с помощью ременной передачи:

$$n_1 = n_{\text{эл. дв}}/u_p; \quad (11)$$

- частота вращения тихоходного вала  $n_2$ :

$$n_2 = n_1 / u_{ред.} \quad (12)$$

Мощность  $P$ , кВт, на валах редуктора рассчитывается следующим образом:

- на быстроходном валу:

при соединении вала с валом электродвигателя с помощью муфты:

$$P_1 = P_{потр. \text{ эл. дв.}} \cdot \eta_M \cdot \eta_{п}; \quad (13)$$

при соединении с валом электродвигателя с помощью ременной передачи:

$$P_1 = P_{потр. \text{ эл. дв.}} \cdot \eta_r \cdot \eta_{п}; \quad (14)$$

- на тихоходном валу:

при соединении быстроходного вала с валом электродвигателя с помощью муфты:

при наличии в приводе зубчатого редуктора:

$$P_2 = P_{потр. \text{ эл. дв.}} \cdot \eta_M \cdot \eta_{п}^2 \cdot \eta_z; \quad (15)$$

при наличии в приводе червячного редуктора:

$$P_2 = P_{потр. \text{ эл. дв.}} \cdot \eta_M \cdot \eta_{п}^2 \cdot \eta_{ч}; \quad (16)$$

- при соединении быстроходного вала с валом электродвигателя с помощью ременной передачи:

при наличии в приводе зубчатого редуктора:

$$P_2 = P_{потр. \text{ эл. дв.}} \cdot \eta_r \cdot \eta_{п}^2 \cdot \eta_z; \quad (17)$$

при наличии в приводе червячного редуктора:

$$P_2 = P_{потр. \text{ эл. дв.}} \cdot \eta_r \cdot \eta_{п}^2 \cdot \eta_{ч}. \quad (18)$$

Крутящий момент  $T$ , Н·м:

на быстроходном валу:

$$T_1 = 9550(P_1/n_1); \quad (19)$$

на тихоходном валу:

$$T_2 = 9550(P_2/n_2). \quad (20)$$

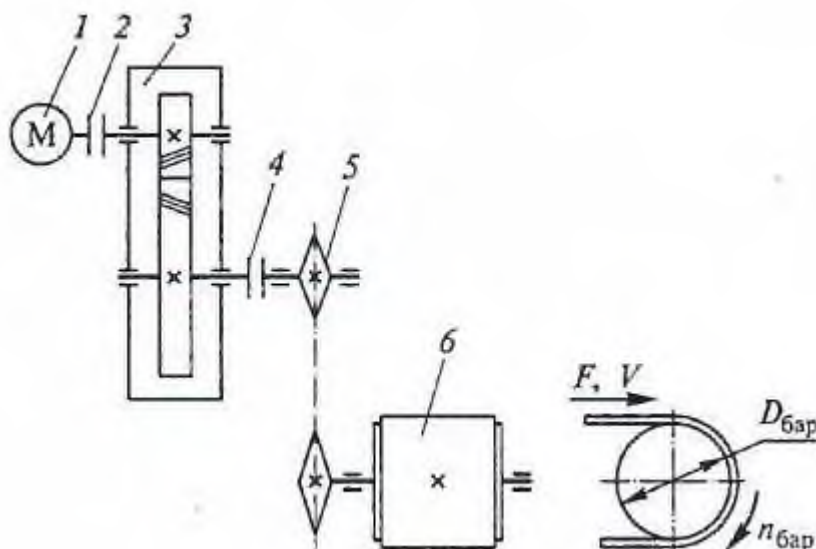
## 9 Пример расчета привода ленточного конвейера с цилиндрическим косозубым редуктором и цепной передачей

Рассчитать привод ленточного конвейера (рисунок 19) с цилиндрическим косозубым редуктором. Исходные данные: окружное усилие на ведущем барабане конвейера  $F=10000$  Н; скорость движения ленты конвейера  $V=1,2$  м/с; диаметр барабана  $D_{\text{бар}}=0,3$  м; редуктор должен работать 8 часов в сутки ( $t_{\text{сут}}=8$  ч), 260 дней в году ( $g=260$ ) в течение 5 лет ( $L=5$ );  $t=6$  ч; отношение  $T'/T=0,8$ ;  $T_{\text{пик}}=2,2$  Т; передача неререверсивная [5].

*Решение:*

1 Частота вращения приводного вала, на котором установлен барабан конвейера:

$$n_{\text{вых}} = 60V/(\pi D_{\text{бар}}) = 60 \cdot 1,2 / (3,14 \cdot 0,3) = 76,4 \text{ мин}^{-1}.$$



1 – электродвигатель асинхронный; 2 – муфта упругая;  
 3 – редуктор горизонтальный цилиндрический косозубый;  
 4 – муфта комбинированная; 5 – передача цепная; 6 – барабан приводной  
 Рисунок 19 – Схема привода ленточного конвейера с горизонтальным цилиндрическим косозубым редуктором и цепной передачей [5]

Мощность на приводном валу конвейера:

$$P_{\text{потр}} = FV/1000 = 10000 \cdot 1,2 / 1000 = 12 \text{ кВт}.$$

Далее по таблице 5 выбираются значения КПД отдельных передач, входящих в привод, и определяется общий КПД привода:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{ц}} \eta_{\text{з}} \eta_{\text{п}}^4 \eta_{\text{м}}^2 = 0,93 \cdot 0,97 \cdot 0,99^4 \cdot 0,99^2 = 0,85.$$

Мощность на валу электродвигателя:

$$P_{\text{потр. эл.дв.}} = P_{\text{потр}} / \eta_{\text{общ}} = 12 / 0,85 = 14,1 \text{ кВт.}$$

Выбираем по каталогу электродвигатели, удовлетворяющие условию по мощности, т.е. с мощностью  $P_{\text{эл.дв.}} = 15 \text{ кВт}$ : это электродвигатели АИР160S2, АИР160S4, АИР160M5 и АИР180M8, имеющие соответственно асинхронную частоту вращения 2910, 1455, 970 731 мин<sup>-1</sup>.

Исходя из этого получаем четыре возможных варианта значения общего передаточного числа привода:

$$u_{\text{общ1}} = n_{\text{эл.дв.}} / n_{\text{вых}} = 2910 / 76,4 = 38,0;$$

$$u_{\text{общ2}} = n_{\text{эл.дв.}} / n_{\text{вых}} = 1455 / 76,4 = 19,0$$

$$u_{\text{общ3}} = n_{\text{эл.дв.}} / n_{\text{вых}} = 970 / 76,4 = 12,7;$$

$$u_{\text{общ4}} = n_{\text{эл.дв.}} / n_{\text{вых}} = 731 / 76,4 = 9,6.$$

Далее по таблице 4 предварительно принимаем в соответствии с рекомендациями стандартное значение передаточного числа редуктора  $u_{\text{ред}} = 4,5$  и вычисляем возможные значения передаточного числа цепной передачи:

$$u_1 = u_{\text{общ1}} / u_{\text{ред}} = 38,0 / 4,5 = 8,4;$$

$$u_2 = u_{\text{общ2}} / u_{\text{ред}} = 19,0 / 4,5 = 4,2;$$

$$u_3 = u_{\text{общ3}} / u_{\text{ред}} = 12,7 / 4,5 = 2,8;$$

$$u_4 = u_{\text{общ4}} / u_{\text{ред}} = 9,6 / 4,5 = 2,1.$$

В соответствии с рекомендациями таблицы 4 оптимальное значение передаточного числа для цепных передач находится в пределах  $u_{\text{ц}} = 2 \dots 5$ , поэтому окончательно принимаем  $u_{\text{ред}} = 4,5$ ;  $u_{\text{ц}} = 2,8$ .

Таким образом, в приводе конвейера используем электродвигатель АИР160M6 ТУ 16-525.564-84.

Частота вращения быстроходного вала редуктора:

$$n_1 = n_{\text{эл.дв.}} = 970 \text{ мин}^{-1},$$

так как он соединен с валом электродвигателя муфтой.

Частота вращения тихоходного вала:

$$n_2 = n_1 / u_{\text{ред}} = 970 / 4,5 = 215,6 \text{ мин}^{-1}.$$

Мощность на валах редуктора:

на быстроходном валу:

$$P_1 = P_{\text{потр. эл.дв.}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{п}} = 14,1 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 13,82 \text{ кВт};$$

на тихоходном валу:



$$P_2 = P_{\text{потр. эл. дв}} \cdot \eta_m \cdot \eta_{\text{п}}^2 \cdot \eta_z = 14,1 \cdot 0,99 \cdot 0,99^2 \cdot 0,97 = 13,27 \text{ кВт.}$$

Крутящий момент на валах редуктора:  
на быстроходном валу:

$$T_1 = 9550(P_1/n_1) = 9550(13,82/970) = 136,06 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

на тихоходном валу:

$$T_2 = 9550(P_2/n_2) = 9550(13,27/215,6) = 587,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

## 10 Оформление домашнего задания/контрольной работы

Общими требованиями к пояснительной записке являются: четкость и логическая последовательность изложения материала, убедительность аргументации, краткость и точность формулировок, поясняющих возможность неоднозначности толкования, конкретность изложения результатов, обоснованность рекомендаций и предложений.

Пояснительная записка к домашнему заданию/контрольной работе должна быть напечатана на листах формата А4 210×297 мм, на одной стороне листа белой бумаги. При этом каждая страница должна иметь поля следующих размеров: размер левого поля – 20 мм, правого поля – 10 мм, верхнего и нижнего полей – по 20 мм. Текст должен быть набран шрифтом Times New Roman, кеглем 14 с межстрочным интервалом – 1,5. Кроме того текст должен быть форматирован по ширине страницы с применением автоматического переноса слов и абзацным отступом первой строки 12,5 мм.

Все страницы текста, в том числе иллюстрации и приложения должны иметь сквозную нумерацию. Номера страниц проставляются арабскими цифрами посередине внизу страницы. Титульный лист, задание на курсовую работу, аннотация и содержание включаются в общую нумерацию страниц курсовой работы, но номер страницы на них не проставляется.

Пояснительная записка должна содержать:

- титульный лист;
- задание на домашнее задание/контрольную работу;
- аннотацию;
- содержание;
- введение;
- основную часть (разделы, подразделы);
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Титульный лист – первая страница пояснительной записки, служащая источником информации о домашнем задании/контрольной работе.

Титульный лист содержит:

- наименование учебного заведения и кафедры;
- название дисциплины;
- наименование темы домашнего задания/контрольной работы;
- фамилии и инициалы студента и руководителя домашнего задания/контрольной работы;
- сведения об индексе группы, в которой обучается студент.

Перенос слов на титульном листе не допускается.

Пример оформления титульного листа пояснительной записки приведен в Приложении Б.

Титульный лист окончательно оформленной пояснительной записки подписывает студент - автор домашнего задания/контрольной работы, а после ее проверки – руководитель работы.

На бланке задания указана тема домашнего задания/контрольной работы, помещены указания, определяющие последовательность выполнения домашнего задания/контрольной работы, разделы основной части пояснительной записки.

Аннотация домашнего задания/контрольной работы должна отражать основное содержание и результаты разработок.

В ней указывают:

- сведения об объеме рукописи, количестве иллюстраций, таблиц, использованных источников и приложений;
- перечень ключевых слов;
- текст аннотации.

Ключевые слова (словосочетания) из текста рукописи в количестве 5-15 в наибольшей мере характеризуют ее содержание, а также обеспечивают возможность информационного поиска. При этом ключевые слова (словосочетания) приводятся в именительном падеже, печатаются строчными буквами через запятую.

Текст аннотации должен отражать характер и цель домашнего задания/контрольной работы; методику проведения и результаты работы; выводы, рекомендации, оценки, предложения. Объем аннотации должен составлять не более одной страницы.

Содержание, оформляемое многоуровневым списком перечисления, включает наименование всех разделов, подразделов, пунктов пояснительной записки, заключение, список использованных источников и наименование приложений с указанием страниц, с которых начинаются эти элементы домашнего задания/контрольной работы. Слово «Содержание» записывается в виде заголовка с прописной буквы, по центру, без абзацного отступа, полужирным шрифтом.

Наименования разделов записываются с прописной буквы, без абзацного отступа.

Наименования подразделов, пунктов записываются с абзацного отступа (0,63 см), с прописной буквы.

Главное требование к содержанию заключается в том, чтобы нумерация страниц совпадала с расположением заголовков в тексте.

Во введении (объемом 1-2 страницы) кратко оценивают состояние решаемой в домашнем задании/контрольной работе научно-технической задачи, пока-

зывают актуальность темы, приводят исходные данные для решения поставленной проблемы. Слово «Введение» записывается в виде заголовка с прописной буквы, по центру, без абзацного отступа, полужирным шрифтом.

Разделы пояснительной записки могут содержать подразделы, параграфы. Они должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Каждый раздел пояснительной записки следует начинать с новой страницы.

Если раздел (подраздел) состоит из одного подраздела (пункта), то подраздел (пункт) не выделяется в отдельный структурный элемент.

Заголовки (подзаголовки) оформляются полужирным шрифтом (Times New Roman, цвет – черный, размер – 14 пт) с абзацного отступа, без переноса и отделяются от основного текста (а также друг от друга) пустой строкой.

Заключение должно содержать выводы о результатах выполненных домашнего задания/контрольной работы.

Выводы в заключении необходимо выполнить в той же последовательности, в какой сформулированы задачи домашнего задания/контрольной работы. В выводах необходимо отразить степень и результаты решения задач. При этом целесообразно оформлять выводы перечислением для их визуального сходства с формулировками задач.

Список использованных источников должен содержать сведения об информационных источниках, использованных при выполнении домашнего задания/контрольной работы. При этом библиографическое описание источников должно соответствовать ГОСТ Р 7.0.100-2018 СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления [6].

Вспомогательные материалы, дополняющие содержание основной части пояснительной записки, следует выносить в обозначенные заглавными буквами русского алфавита приложения. В основной части записки на приложения необходимо делать ссылки.

В тексте пояснительной записки должны быть четкие линии, буквы, цифры и знаки, выполненные одинаковым черным цветом, без использования декоративных шрифтов. Текст записки должен иметь равномерную плотность и четкость изображения по всему документу. При этом названия учреждений, организаций, фирм, фамилии, названия изделий, другие имена собственные должны быть приведены на языке оригинала.

Сокращение русских слов и словосочетаний в записке производится в соответствии с ГОСТ Р 7.0.12–2011 [7], например:

– допускаются сокращения: т.е., т.д., т.п., др., пр.;

– не допускаются сокращения: т.о. (таким образом), т.н. (так называемый), т.к. (так как);

– не допускается при переносе отрывать часть сокращения «ГОСТ» от регистрационного номера: 7.9-95, употреблять сокращения без номера;

– сокращения в библиографии: т. – том; вып. – выпуск; изд. – издание; М. – Москва; Л. – Ленинград; СПб. – Санкт-Петербург; Ростов-на-Дону – Ростов н/Д; им. – имени; см. – смотри; изд-во – издательство; гл. – глава; ч. – часть; сб. – сборник; под ред. – под редакцией; с. – страница; 2-е изд., доп. и перераб. – издание второе, дополненное и переработанное.

За исключением формул, таблиц и рисунков, в тексте пояснительной записки не допускается:

– сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр;

– применять математический знак минус (–) перед отрицательными значениями величин (следует писать слово «минус»);

– применять знак «Ø» для обозначения диаметра (следует писать слово «диаметр»). При указании размера или предельных отклонений диаметра на чертежах, помещенных в тексте, перед размерным числом следует знак «Ø»;

– применять без числовых значений математические знаки, например, > (больше), < (меньше), = (равно), ≥ (больше или равно), ≤ (меньше или равно), ≠ (не равно), а также знаки № (номер), % (процент).

В тексте пояснительной записки перед обозначением параметра дают его пояснение, например, «Рабочая скорость скребкового конвейера  $V_c$ ».

Если в тексте приводят ряд или диапазон числовых значений, выраженных в одной и той же единице физической величины, то обозначение единицы физической величины указывается после последнего числового значения диапазона.

П р и м е р ы:

1. 1,50; 1,75; 2,00 м.

2. От 1 до 4 мм.

3. От минус 40 °С до плюс 25 °С.

Недопустимо отделять единицу физической величины от числового значения (переносить их на разные строки или страницы).

Между последней цифрой числа и обозначением единицы измерения следует оставлять пробел, например, 240 МПа, 20 %, 25 °С.

Округление числовых значений величин до первого, второго и т.д. десятичного знака для различных значений одного и того же наименования показателя должно быть одинаковым.

Например, если градация толщины стальной горячекатаной ленты 0,25 мм, то весь ряд толщин ленты должен быть указан с таким же количеством десятич-

ных знаков, т.е. 1,50; 1,75; 2,00.

Дробные числа необходимо приводить в виде десятичных дробей, за исключением размеров в дюймах.

Структурные части записки: «Аннотация», «Содержание», «Введение», разделы основной части, «Заключение», «Список использованных источников», «Приложения» должны начинаться с новой страницы.

Заголовки структурных частей печатают полужирным шрифтом, с абзацного отступа строчными буквами, первая – прописная, без точки в конце, не подчеркивая, размер шрифта при этом – 14 pt. При оформлении заголовков не допускается использование нестандартных шрифтов, в них не используются переносы.

Разделы основной части записки разбивают на подразделы и пункты. Пункты, при необходимости, могут делиться на подпункты. При делении основного текста на пункты и подпункты необходимо, чтобы каждый пункт содержал законченную информацию.

Разделы, подразделы, пункты, подпункты нумеруют арабскими цифрами без точки в конце и записывают с абзацного отступа. Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всей основной части, за исключением приложений, например, 1, 2, 3 и т.д.

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой, без пробела, например, 1.1, 1.2, 1.3 и т.д.

Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов. Номер пункта включает номер раздела и порядковый номер подраздела, разделенный точкой, например, 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3 и т.д.

Подпункты должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта. Номер подпункта включает номер раздела, подраздела, пункта и порядковый номер подпункта, разделенный точкой, например, 1.1.1.1, 1.1.1.2, 1.1.1.3 и т.д. В конце номера раздела, подраздела, пункта, подпункта точка не ставится. Если раздел или подраздел имеет только один пункт, или пункт имеет один подпункт, то его не нумеруют. Внутри разделов, пунктов или подпунктов могут быть приведены перечисления, которые записывают с абзацного отступа.

Перед каждым перечислением следует ставить дефис или, при необходимости ссылки в тексте документа на одно из перечислений, строчную букву (за исключением ё, з, й, о, ч, ь, ы, ь), после которой ставится скобка.

Для последующей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится с абзацного отступа, как показано в примере.

Пример:

– \_\_\_\_\_;  
– \_\_\_\_\_;

или

- а) \_\_\_\_\_;  
б) \_\_\_\_\_;  
    1) \_\_\_\_\_;  
    2) \_\_\_\_\_;  
в) \_\_\_\_\_.

До перечисления необходимо ставить двоеточие. После дефиса слово пишется с маленькой буквы. Перечисления отделяют друг от друга точкой с запятой, в конце перечисления ставится точка.

Приложения оформляют как продолжение текста пояснительной записки со сквозной нумерацией листов. В тексте на все приложения должны быть ссылки.

Приложения располагают в порядке появления на них ссылок в тексте. При ссылке на приложение в тексте пишут слово «приложение» полностью строчными буквами и указывают его обозначение, например, «в приложении А».

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием сверху по центру страницы слова «Приложение». Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность. Если приложение одно, то оно обозначается «Приложение А».

Приложение должно иметь заголовок, который записывается симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой. Текст приложения, при необходимости, может быть поделен на разделы, подразделы и пункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения.

Все приложения должны быть перечислены в содержании пояснительной записки с указанием их номеров и заголовков.

Графическая часть домашнего задания/контрольной работы, как правило, включает чертежи и схемы, которые должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД, с использованием современных компьютерных программ. Графическая часть домашнего задания/контрольной работы должна содержать чертеж общего вида или сборочный чертеж привода. В случае если привод оборудования – гидравлический или пневматический, графическая часть должна содержать гидравлическую или пневматическую схему.

Все иллюстрирующие материалы (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) называют рисунками.

Рисунки следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице. Не рекомендуется начинать

и заканчивать структурные части, разделы и подразделы рисунками. До и после них должен быть поясняющий текст.

Нумерация иллюстраций обязательна (даже если рисунок один): в пределах текста (или раздела) – сквозная, арабскими цифрами; в пределах приложения – сквозная, арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например, «... на рисунке Б.2». На все иллюстрации должны быть даны ссылки в пояснительной записке. При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации должны иметь наименование. Обозначение и название иллюстрации следует располагать симметрично тексту со слова «Рисунок» (название – через тире после номера иллюстрации). Иллюстрация вместе с названием отделяется от основного текста пустыми строками.

Пояснительные данные к рисунку размещаются непосредственно под иллюстрацией до ее названия.

Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Их следует располагать в работе непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице, а при необходимости – в приложении. Таблицы выполняют в соответствии с ГОСТ Р 2.105–2019 [8] и, как правило, оформляют в соответствии с рисунком 20 [9].

Нумерация таблицы обязательна: в пределах текста (или раздела) – сквозная, арабскими цифрами («Таблица 1», «Таблица 2» и т.д.). Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой («Таблица 2.1» – первая таблица второго раздела).

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения («Таблица В.1» – первая таблица приложения В). Если в тексте одна таблица, то она должна быть обозначена «Таблица 1».

Таблица 6 – Наименование таблицы

Головка	Заголовок граф	
	Подзаголовок граф	Подзаголовок граф
Строка 1		
Строка 2		
Примечания		

Рисунок 20 – Структура таблиц [9]



Обозначение и название таблицы следует располагать над таблицей слева, без абзацного отступа со слова «Таблица» (название через тире после номера таблицы). Таблица вместе с названием отделяется от основного текста.

Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа пояснительной записки.

Рекомендуется заполнять таблицы шрифтом 12 pt, используя одинарный межстрочный интервал. При необходимости допускается применять меньший размер шрифта в таблице, но не менее 10 pt.

Примечания к таблице оформляются в последней строке таблицы.

На все таблицы должны быть ссылки в тексте пояснительной записки домашнего задания/контрольной работы. При ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера, например, «...в таблице 1.2».

При большом количестве строк в таблице допускается ее перенос на следующую страницу.

При переносе части таблицы на следующую страницу головку заменяют номером граф. При этом графы нумеруют арабскими цифрами. Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы в единственном числе, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят. В первой части таблицы нижняя горизонтальная линия, ограничивающая таблицу, не проводится, а на последующей странице слева вверху помещаются слова «Продолжение таблицы...», повторяется строка с номерами граф, помещаются оставшиеся строки, закрывается таблица горизонтальной чертой.

Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями. Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается. Горизонтальные и вертикальные линии, разграничивающие строки таблицы, допускается не проводить, если их отсутствие не затрудняет пользование таблицей.

Заголовки граф, как правило, записывают параллельно строкам таблицы. При необходимости допускается перпендикулярное расположение заголовков граф. Головка таблицы должна быть отделена линией от остальной части таблицы. Графу «Номер по порядку» в таблицу включать не допускается. При необходимости нумерации показателей, параметров или других данных порядковые номера следует указывать в первой графе (боковике) таблицы непосредственно перед их наименованием. Перед числовыми значениями величин и обозначением типов, марок и т.п. порядковые номера не проставляют.

Если все показатели, приведенные в графах таблицы, выражены в одной и той же единице физической величины, то ее обозначение необходимо помещать

над таблицей справа, а при делении таблицы на части – над каждой ее частью в соответствии с примером ниже (рисунок 21).

Таблица 8

В миллиметрах

Условный проход $D_y$	D	L	$L_1$	$L_2$
50	150	120	85	100
80	190	210		

Рисунок 21 – Пример оформления таблицы

Для сокращения текста заголовков и подзаголовков граф отдельные понятия заменяют буквенными обозначениями (ГОСТ 2.321-84 [10]) или другими обозначениями, если они пояснены в тексте или приведены на иллюстрациях, например, D – диаметр, H – высота, L – длина. Показатели с одним и тем же буквенным обозначением группируют последовательно в порядке возрастания.

Обозначение единицы физической величины, общей для всех данных в строке, следует указывать после ее наименования.

Ограничительные слова «более», «не более», «менее», «не менее» и другие должны быть помещены в одной строке или графе таблицы с наименованием соответствующего показателя после обозначения его единицы физической величины, если они относятся ко всей строке или графе, при этом после значения показателя перед ограничительными словами ставится запятая.

Цифры в графах таблиц должны проставляться так, чтобы разряды чисел во всей графе были расположены один под другим. В одной графе количество десятичных знаков должно быть одинаковым.

Например:

Неправильно	Правильно
1,85	1,85
2,6	2,60
4,00	4,00
80,00	80,00

В числовых значениях величин перед десятичными знаками ставится запятая.

Например:

Неправильно	Правильно
0.3; 0.35	0,3; 0,35

Если данные отсутствуют, то в графах ставят знак тире.

Если повторяющийся в разных строках графы таблицы текст состоит из одного слова, то его после первого написания допускается заменять кавычками;

если из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами «То же», а далее – кавычками. Заменять кавычками цифры, математические знаки, обозначение марок материалов и типоразмеров не допускается.

В случае наличия в документе небольшого по объему цифрового материала его нецелесообразно оформлять таблицей, а следует давать текстом, располагая данные в виде колонок.

Например:

Предельные отклонения по размерам уголков номеров от 2 до 4,5, мм:	
по ширине полки	$\pm 1,0$
по толщине стенки	$+ 0,2$

Порядок изложения расчетов в соответствии с требованиями ГОСТ Р 2.106–2019 [11] определяется характером рассчитываемых величин.

Расчеты в общем случае должны содержать:

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

Эскиз или схему допускается вычерчивать в произвольном масштабе, обеспечивающем четкое представление о рассчитываемом изделии. Значения всех физических величин, применяемых в формулах, должны быть выражены в единицах СИ согласно ГОСТ 8.417–2002 [12] и в единицах, допускаемых к применению наравне с единицами СИ, а также в кратных ( $\times 10^n$ ) и дольных ( $:10^n$ ) от них. В формулах следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами.

Уравнения и формулы следует выделять из текста в отдельную строку, записывать по центру страницы и отделять от основного текста пустыми строками сверху и снизу.

Выше и ниже каждой формулы или уравнения должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если уравнение не умещается в одну строку, то оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знаков плюс (+), минус (–), умножения (x), деления (:) или других математических знаков, причем знак в начале следующей строки повторяют.

При переносе формулы на знаке, символизирующем операцию умножения, применяют знак «x». Если нет переноса формулы, то в ней вместо знака умножения «x» ставят точку, например,  $10 \cdot 35$ . Пояснение значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в которой они даны в формуле. Первую строку поясне-

ния начинают со слова «где» без абзацного отступа и без двоеточия после него. Каждый символ пишут с новой строки и после запятой указывают размерность. Ниже, после поясняющих данных, по центру страницы приводят результаты вычисления с обязательным указанием в круглых скобках размерности полученной величины. Ниже показаны примеры ссылок на формулы и их оформление:

1. Параметр кристаллизатора определяется по формуле

$$R = 2 \cdot (a + b) / a \cdot b \quad (1)$$

где  $R$  – параметр кристаллизатора, м;  
 $a$  и  $b$  – размеры сторон кристаллизатора, м.

$$R = 2 \cdot (1,040 + 0,200) / 1,040 \cdot 0,200 = 11,9 \text{ м.}$$

2. Производительность агломерационной машины по скорости спекания шихты определяется по формуле

$$P_c = 60 \cdot F \cdot \gamma \cdot v_c \cdot k_r, \quad (2)$$

где  $P_c$  – производительность агломерационной машины, т/ч;  
 $F$  – площадь спекания ленты, м<sup>2</sup>;  
 $\gamma$  – объемная масса шихты, т/м<sup>3</sup>;  
 $v_c$  – вертикальная скорость спекания шихты, м/мин;  
 $k_r$  – выход годного агломерата, %.

3. Производительность агломерационной машины по скорости движения тележек вычисляют по формуле

$$P_d = 60 \cdot B \cdot h \cdot v_T \cdot \gamma \cdot k_r, \quad (3)$$

где  $P_d$  – производительность агломерационной машины по скорости движения тележек, т/ч;  
 $B$  – ширина машины, м;  
 $h$  – высота спекаемого слоя, м;  
 $v_T$  – скорость движения тележки, м/мин;  
 $\gamma$  – объемная масса шихты, т/м<sup>3</sup>;  
 $k_r$  – выход годного агломерата, %.

Формулы, следующие одна за другой, и не разделенные текстом, разделяют точкой с запятой без оставления пустой строки.

Формулы нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела (1.1, 1.2, 1.3 и т.д.) или всего документа (1, 2, 3 и т.д.). Цифры заключают в круглые скобки и

записывают в крайней правой стороне страницы на уровне формулы. Ссылки на формулу в тексте приводят с указанием ее порядкового номера, например, «...в формуле (2.1)» (первой формуле второго раздела). Формулы, помещаемые в приложениях, нумеруются отдельно арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например, формула (В.1).

Расчеты по формулам равнозначны тексту и оформляются с абзацного отступа без оставления свободной строки сверху и снизу.

В пояснительной записке примечания приводят, если необходимы пояснения или справочные данные к содержанию текста, таблиц, графического материала. При этом они не должны содержать требований.

Слово «Примечание» необходимо печатать шрифтом 12 pt, с прописной буквы, с абзацного отступа и не подчеркивать. Примечания следует помещать непосредственно после текстового, графического материала или в таблице, к которым они относятся.

В случае, когда оно одно, после слова «Примечание» ставится тире, и текст печатается с прописной буквы шрифтом 12 pt. Одно примечание не нумеруется. Если примечаний несколько, то их нумеруют по порядку арабскими цифрами без проставления точки.

Например:

Примечание – \_\_\_\_\_

Примечания

1 \_\_\_\_\_

2 \_\_\_\_\_

Примечание к таблице помещают в конце таблицы над линией, обозначающей окончание таблицы.

В случае использования в пояснительной записке информации из опубликованных (неопубликованных) источников на них необходимо делать ссылки, так как использование неправомерных заимствований является плагиатом.

Оформление ссылки должно соответствовать ГОСТ Р 7.0.100-2018 СИ-БИБД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

В тексте записки допускаются ссылки на данный документ, стандарты, технические условия, другие документы при условии, что они полностью и однозначно определяют соответствующие требования и не вызывают затруднений в пользовании документом. Ссылатся следует на документ в целом или его разделы и приложения.

Ссылки на разделы, подразделы, пункты, рисунки, таблицы, формулы, приложения следует указывать их порядковым номером, например, «...по разделу 1», «...в подразделе 2.1», «...в пункте 2.1.1», «...на рисунке 1», «...в таблице 1», «...по формуле (1)», «...в приложении А».

При ссылках на стандарты и технические условия указывают только их обозначение, при этом допускается не указывать год их утверждения при условии полного описания стандарта в списке использованных источников.

Ссылки на использованные источники указывают порядковым номером по списку источников, приводя их в квадратных скобках.

Графическими документами домашнего задания/контрольной работы являются чертежи. Графический материал представляется в виде листов, выполненных с использованием систем автоматизированного проектирования, например, таких как AutoCAD, Компас, Solid Works [13].

При этом масштабы изображений на чертежах следует выбирать в соответствии с ГОСТ 2.302-68 из ряда 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:50; 1:1; 2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1.

Порядок заполнения основных надписей в конструкторских документах установлен в соответствии с ГОСТ 2.104-2006 [14], а изображения предметов на чертежах необходимо выполнять по требованиям ГОСТ 2.305-2008 [15].

Количество изображений (видов, разрезов, сечений) должно быть минимальным, обеспечивать полное представление о предмете при применении надписей, знаков и условных обозначений.

Размеры на чертеже необходимо наносить в минимальном, достаточном для изготовления и контроля изделия количестве, в соответствии с правилами, установленными ГОСТ 2.307-2011 [16].

Допуски формы и расположение поверхностей на чертежах указывают условными обозначениями в соответствии с ГОСТ 2.308-2011 [17].

Чертеж общего вида поясняет конструкцию и принцип работы изделия. На его основе разрабатывается рабочая документация: сборочные чертежи, входящих в изделия сборочных единиц; сборочный чертеж изделия; чертежи деталей. Он должен содержать:

- изображение (виды, разрезы, сечение), текстовую часть, надписи, необходимые для понимания конструктивного устройства изделия, взаимодействие составных его частей, принципа работы;
- размеры и другие данные, наносимые на изображение;
- наименование составных частей, поясняющих чертеж общего вида, описание принципа работы изделия и др.;
- техническую характеристику изделия в случае необходимости.

На чертеже изделие необходимо располагать в рабочем положении. Когда

рабочее положение изделия может быть любым, то главное изображение выбирают из соображения удобства выбранного положения при сборке, и чтобы оно давало как можно более полное представление о конструкции изделия.

Количество изображений должно быть минимальным, но достаточным для полного представления о конструкции в целом и взаимодействии составных частей изделия, о конструкции и формах всех сборочных единиц и деталей.

На чертежах наносят габаритные и присоединительные размеры.

Габаритные размеры определяют расстояние между точками очертания изделия по трем координатным направлениям. В случае наличия в изделии перемещающихся деталей габаритные размеры указывают для двух крайних положений этих деталей, проставляя их, например, как 100...180.

Присоединительные размеры определяют координаты и размеры элементов или составных частей изделия, с помощью которых к данному изделию присоединяют другие изделия, работающие с ними в комплексе.

Основные требования к выполнению чертежей деталей и сборочных чертежей устанавливает ГОСТ 2.109-73 [18].

Количество сборочных чертежей должно быть минимальным, достаточным для рациональной сборки и контроля. При этом сам сборочный чертеж должен содержать:

- изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении, взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, и обеспечивающее возможность осуществления сборки и контроля сборочной единицы;

- размеры, предельные отклонения, другие параметры, которые должны быть выполнены или проконтролированы по чертежу;

- указания о характере сопряжения, методах его осуществления, если точность сопряжения обеспечивается не заданными предельными отклонениями размеров, а подбором, пригонкой и т.п., а также указания о выполнении неразъемных соединений;

- номера позиций составных частей, входящих в изделие;

- габаритные размеры изделия;

- установочные, присоединительные и другие необходимые размеры;

- техническую характеристику изделия в случае, когда это необходимо.

Сборочные чертежи допускается выполнять с упрощениями, которые соответствуют требованиям стандартов ЕСКД. Все составные части сборочной единицы, на сборочном чертеже нумеруют в соответствии с номерами позиций, указанными в спецификации этой сборочной единицы.

На сборочных чертежах номера позиций на поле чертежа наносят в соответствии с порядком записи составных частей в спецификации.

На сборочном чертеже допускается изображать перемещающиеся части изделия в крайнем или промежуточном положении с соответствующими размерами. Когда при изображении перемещающихся частей чтение чертежа затрудняется, то эти части допускается изображать на дополнительных видах с соответствующими надписями, например, «Крайние положения толкателя поз. 7».

Изображение разъемных резьбовых соединений, нанесение обозначения резьбы на чертежах осуществляется в соответствии с ГОСТ 2.311-68 [19].

Однотипные крепежные изделия, входящие соединения, изображенные на одном чертеже, следует показывать в одном-двух местах этого соединения, а в остальных местах показывать центровыми или осевыми линиями.

Номера позиций присваивают всем составным частям изделия. Порядок нумерации составных частей изделия следующий: вначале обозначают сборочные единицы изделия, затем его детали, затем стандартные изделия, прочие изделия и материалы.

Номера позиций деталей, материалов, сборочных единиц, входящих в изделие, указывают на полках линий – выносок, проводимых от соответствующих деталей, материалов, сборочных единиц.

Линию – выноску заканчивают точкой на изображении соответствующей ей составной части устройства. Линии – выноски не должны пересекаться с размерными и выносными линиями, должны быть не параллельны линиям штриховки.

Номера позиций указывают на тех изображениях, на которых соответствующие составные части устройства проецируются как видимые, как правило, на основных видах и разрезах.

Номера позиций располагают параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения, группируют их в колонку либо в строчку, как можно ближе к изображению и по возможности на одной линии.

Нумерацию деталей устройства начинают с его основной детали. Допускается делать общую линию – выноску с вертикальным расположением номеров позиций для группы крепежных деталей, относящихся к одному и тому же месту крепления. В этих случаях линию – выноску проводят от изображения основной части, номер которой указывают первым.

Шрифт номеров позиций должен быть на один-два размера больше шрифта, принятого для размерных чисел на том же чертеже.

Чертеж кроме изображения предмета с размерами и предельными отклонениями может содержать:

- текстовую часть, состоящую из технических требований и (или) технических характеристик;
- надписи с обозначением изображений;



- таблицы с размерами и другими параметрами, техническими требованиями, условными обозначениями и т.д.

Основные буквенные обозначения, применяемые в конструкторских документах, установлены ГОСТ 2.321-84.

Правила нанесения надписей, технических требований и таблиц на чертежи изделий устанавливает ГОСТ 2.316 [20].

Текстовую часть, надписи, таблицы включают в чертежи в тех случаях, когда содержащиеся в них данные, указания, разъяснения невозможно или нецелесообразно выразить графически или условными обозначениями. Содержание текста, надписей должно быть кратким, точным. В надписях на чертежах не должно быть сокращений, кроме общепринятых и установленных в стандартах.

Текст на поле чертежа, таблицы, надписи с обозначением изображений, обычно, располагают параллельно основной надписи чертежа. На полках линий – выносков около изображений наносят только краткие надписи, относящиеся к изображению предмета. Надписи могут содержать не более двух строк, располагаемых над полкой линии – выноски и под ней. Текстовую часть, помещенную на поле чертежа, располагают над основной надписью, между текстовой частью и основной надписью не допускается помещать таблицы, изображения и т.п.

Показатели и свойства изображенного на чертеже объекта определяются техническими требованиями в зависимости от характера и назначения изделия применительно к условиям и режимам эксплуатации и режимам испытаний. На чертеже технические требования изделий излагают, группируя однородные требования в следующей последовательности:

- требования, предъявляемые к материалу, заготовке, термической обработке и к свойствам материала готовой детали (электрические, магнитные, диэлектрические, твердость, влажность, гигроскопичность и т.д.); указание материалов-заменителей;

- размеры, предельные отклонения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, массы и т.п.;

- требования к качеству поверхностей, указания об их отделке, покрытии;

- зазоры, расположение отдельных элементов конструкции;

- требования, предъявляемые к настройке и регулированию изделия;

- другие требования к качеству изделий, например, виброустойчивость, и т.д.;

- условия и методы испытаний;

- указания о маркировании и клеймении;

- правила транспортирования и хранения;

- особые условия эксплуатации;

- ссылки на другие документы, содержащие технические требования, рас-

пространяющиеся на данное изделие, но не приведенные на чертеже.

При изложении обязательных требований в тексте должны применяться слова «должен», «следует», «необходимо» и производные от них.

Текст должен быть кратким, четким, не допускающим различных толкований. Пункты технических требований должны иметь сквозную нумерацию. Любой пункт технических требований записывают с новой строки. Заголовок «Технические требования» при этом не пишут.

Когда необходимо указать техническую характеристику изделия, ее размещают отдельно от технических требований, с самостоятельной нумерацией пунктов, на свободном поле чертежа под заголовком «Техническая характеристика».

При этом над техническими требованиями помещают заголовок «Технические требования». Оба заголовка не подчеркивают.

При выполнении чертежа на двух и более листах текстовую часть помещают только на первом листе независимо от того, на каких листах находятся изображения, к которым относятся указания, приведенные в текстовой части.

Для обозначения на чертеже изображений (видов, разрезов, сечений), поверхностей, размеров и других элементов изделия применяют прописные буквы русского алфавита за исключением букв Ё, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. Буквенные обозначения присваивают в алфавитном порядке без повторения и, как правило, без пропусков независимо от числа листов чертежа. Сначала следует обозначать изображения. При недостатке букв применяют цифровую индексацию, например, «А»; «А1»; «А2»; «Б–Б»; «Б1–Б1»; «Б2–Б2». Размер шрифта буквенных обозначений должен быть больше размера цифр размерных чисел, применяемых на том же чертеже, в два раза.

Масштаб изображения на чертеже, отличающийся от указанного в основной надписи, указывают непосредственно после надписи, относящейся к изображению, например, А–А (1:1); Б (5:1); А (2:1).

Если на чертеже поиск дополнительных изображений (сечений, разрезов, дополнительных видов, выносных элементов) затруднен из-за большой насыщенности чертежа или выполнения его на двух и более листах, то у обозначения дополнительных изображений указывают номера листов или обозначения зон, на которых эти изображения помещены. В этих случаях над дополнительными изображениями их обозначений указывают номера листов или обозначения зон, на которых дополнительные изображения отмечены.

Не допускается на чертежах:

- повторять размеры одного и того же элемента на разных изображениях, в технических требованиях, основной надписи и спецификации;
- наносить размеры в виде замкнутой цепи, кроме случаев, когда один из

размеров указан как справочный;

- использовать линии контура, осевые, межцентровые, выносные линии в качестве размерных;

- разделять или пересекать линиями чертежа размерные числа и предельные отклонения;

- разрывать линию контура для нанесения размерного числа и наносить размерные числа в местах пересечения размерных, осевых, центровых линий (в месте нанесения размерного числа осевые, центровые линии и линии штриховки прерывают);

- давать ссылки на отдельные пункты стандартов, технических условий, технологических инструкций (необходимо давать ссылку на весь документ или его отдельный раздел);

- в тексте сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр;

- применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, пунктуации, стандартами (ГОСТ 2.316);

- использовать в тексте математический знак минус (–) перед отрицательными значениями величин; вместо математического знака (–) следует писать слово «минус»;

- употреблять математические знаки без цифр, например,  $\leq$  (меньше или равно),  $\geq$  (больше или равно),  $\neq$  (не равно), а также знаки № (номер) и % (процент);

- применять индексы стандартов (ГОСТ, ОСТ, РСТ, СТП, ИСО) без регистрационного номера.

Спецификацию изделий составляют на каждую сборочную единицу в соответствии со сборочным чертежом согласно ГОСТ 2.108–68. Спецификации выполняют на отдельных листах формата А4 и размещают в конце записки. В спецификацию вносят составные части изделия, а также конструкторские документы, относящиеся к нему. Общая спецификация состоит из разделов, которые располагают в следующей последовательности:

- документация;
- комплексы;
- сборочные единицы;
- детали;
- стандартные изделия;
- прочие изделия;
- материалы;
- комплекты.

Наименование каждого раздела записывают в виде заголовка в графе «На

именование» и подчеркивают. Ниже каждого заголовка оставляют одну свободную строку, а выше – не менее одной свободной строки. После каждого раздела спецификации необходимо оставлять несколько свободных строк. Допускается резервировать номера позиций, соответствующие свободным строкам.

На каждом листе графических документов домашнего задания/контрольной работы выполняют основную надпись, располагаемую в правом нижнем углу листа.

Форма, содержание, расположение и размеры граф основных надписей должны соответствовать ГОСТ 2.104–2006:

- для чертежей и схем (рисунок 22);
- для спецификации и документов (рисунок 23);
- для последующих листов документов (рисунок 24).

В графах основной надписи указывают:

1 – для чертежей и спецификаций – наименование изделия и наименование документа. Допускается для сборочного чертежа наименование документа не указывать; для схем – наименование схем; для других документов – их наименование («Диаграмма...», «График...», «Таблица...» и т.д.);

2 – обозначение документа;

3 – марку и номер стандарта на материал (заполняют только на чертежах деталей);

4 – не заполняется;

5 – массу изделия в килограммах, без указания единицы измерения; при указании массы в тоннах обозначают единицу измерения «т»;

6 – масштаб изображения на чертеже (по ГОСТ 2.302–68);

7 – порядковый номер листа;

8 – общее количество листов чертежа одного наименования (графу заполняют только на первом листе);

9 – наименование института и номер студенческой группы;

10 – сверху вниз: Ф.И.О. студента, руководителя, консультантов, нормоконтролера, заведующего кафедрой;

11–13 – соответственно фамилии, подписи и даты подписания документа;

14–18 – не заполняются.

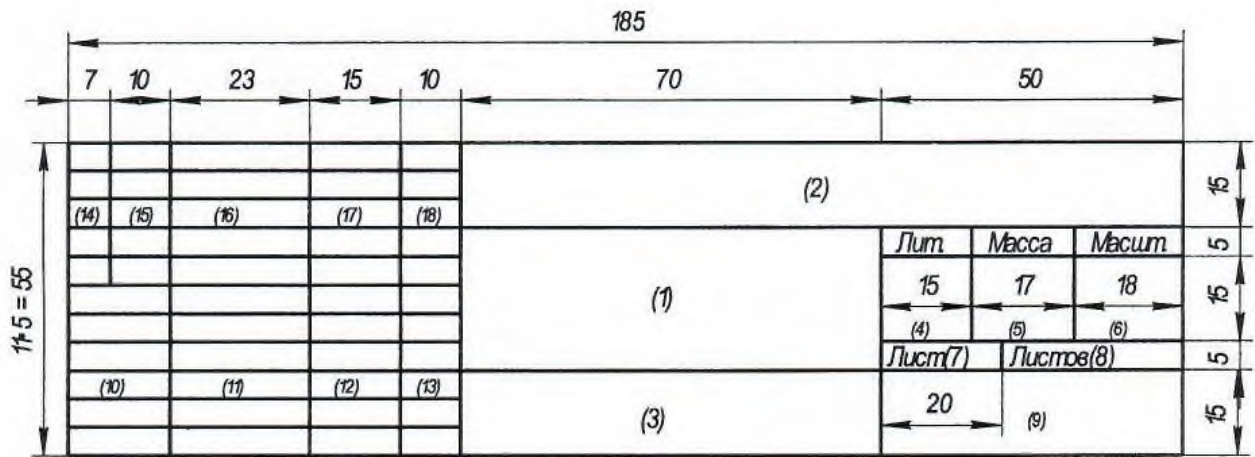


Рисунок 22 – Основная надпись для чертежей, схем, диаграмм

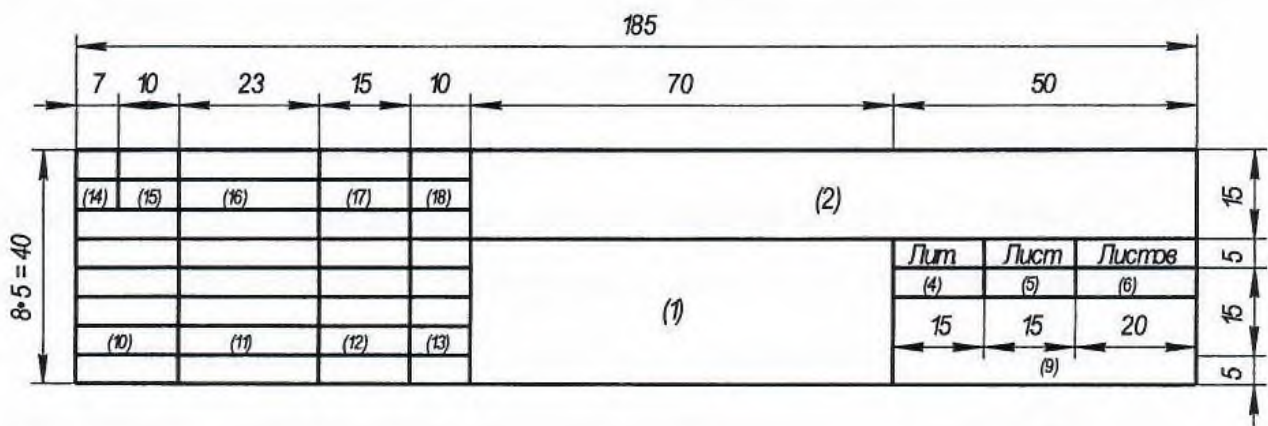


Рисунок 23– Основная надпись для спецификаций

Допускается для последующих листов чертежей и схем применять форму надписи, приведенную на рисунке 24.

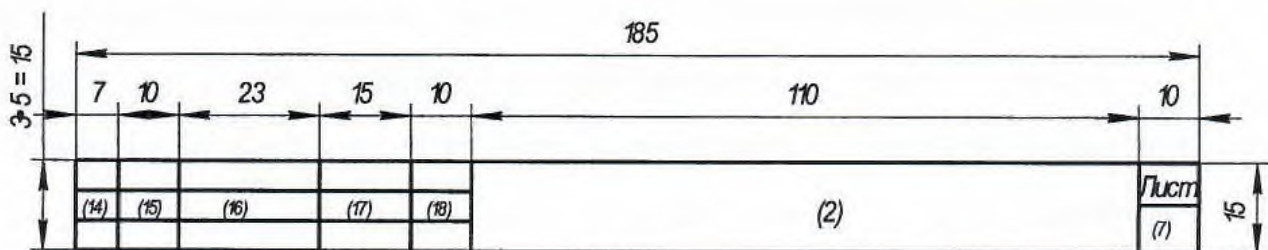


Рисунок 24 – Основная надпись для последующих листов документов

В графе 2 основной надписи указывают обозначение документа.

В графе 9 основной надписи указывают наименование ВУЗа - НФ НИТУ «МИСиС» и номер студенческой группы.

## 11 Оценка выполнения домашнего задания/контрольной работы

Форма отчетности домашнего задания/контрольной работы – печатная и электронная. Должным образом выполненные и оформленные домашнее задание/контрольная работа регистрируются на кафедре в журнале учета и представляются на проверку руководителю домашнего задания/контрольной работы не позднее, чем за неделю до установленного срока защиты. Руководитель вносит в текст пояснительной записки свои замечания по домашнему заданию/контрольной работе, возвращает домашнее задание/контрольную работу на доработку с указанием причины или принимает решение о допуске студента к защите, делая об этом запись на титульном листе пояснительной записки домашнего задания/контрольной работы.

Домашнее задание/контрольная работа считается зачтенной, если проверена преподавателем, ведущим занятие, и имеет соответствующую запись о правильном ее выполнении.

При оценке домашнего задания/контрольной работы используется бинарная система, которая предусматривает оценки «зачтено» или «не зачтено».

Оценка «зачтено» ставится в случае, если домашнее задание/контрольная работа соответствует всем предъявляемым требованиям и правильно выполнены расчеты всех параметров.

Оценка «не зачтено» ставится в случае, если домашнее задание/контрольная работа не соответствует большинству предъявляемых критериев, расчеты параметров приведены с ошибками.

В случае дистанционного обучения студент должен зарегистрироваться на курс в LMS Canvas, используемый преимущественно для асинхронного взаимодействия между участниками образовательного процесса посредством сети «Интернет», ознакомиться с содержанием домашнего задания/контрольной работы, сроками сдачи, критериями оценки. В установленные сроки в рубрике «Задания» курса, созданного в LMS Canvas, студент должен выполнить домашнее задание/контрольную работу и подгрузить домашнее задание/контрольную работу для проверки в виде файла. Удобно называть файл работы следующим образом: название предмета (сокращенно), группа, ФИО, дата актуализации (при повторном размещении). Если работа содержит формулы и рисунки, то ее следует подгружать в pdf формате. Подгружаемая для проверки работа должна содержать все необходимые структурные элементы и быть оформлена в соответствии с требованиями. Преподаватель в течение установленного срока (не более десяти дней) проверяет работу и размещает в комментариях к заданию рецензию, в которой указывает как положительные стороны работы, так и замечания.

При наличии в рецензии замечаний и рекомендаций, студент вносит по-

правки в работу и подгружает ее для проверки заново, следя при этом за сроками, в течение которых должно быть выполнено задание. При нарушении сроков, указанных преподавателем возможность подгрузить работу остается, но система выводит сообщение о нарушении сроков. По окончании семестра подгрузить работу не получится.

## 12 Рекомендуемый перечень литературы для выполнения домашнего задания/контрольной работы

1. Барташев Л.В. Техничко-экономические расчеты при проектировании и производстве машин. – М.: Машиностроение, 1968. – 352 с.
2. Бобров И.М., Михайлов В.Г. В помощь конструктору-расчетчику. – М.: Машиностроение, 1969. – 160 с.
3. Богданов Г.М. Проектирование изделий. Организация и методика постановки задач. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 144 с.
4. Борисов В.И. Общая методология конструирования машин. – М.: Машиностроение, 1978. - 120 с.
5. Бушуев В.В. Практика конструирования машин: справочник. – М.: Машиностроение, 2006. - 448 с.
6. Вопросы конструирования и расчета механизмов. Под ред. ред. В.Ф. Прейса. – М.: Оборонгиз, 1958. – 320 с.
7. Геминтерн В.И., Коган Б.М. Методы оптимального проектирования. – М.: Энергия, 1980. - 160 с.
8. Дабагян А.В. Оптимальное проектирование машин и сложных устройств. – М.: Машиностроение, 1979. – 280 с.
9. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход; Пер. с польск. – М.: Мир, 1981. – 456 с.
10. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. – М.: Высшая школа, 1985. - 416 с.
11. Калинин В.И. и др. В помощь конструктору-машиностроителю. – М.: Машиностроение, 1983. - 288 с.
12. Конструирование машин: справочно-методическое пособие. Т. 1 / К.В. Фролов и др.; под общ. ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1994. - 528 с.
13. Конструирование машин: справочно-методическое пособие. Т. 2 / А.Ф. Крайнев и др.; под общ. ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1994. - 624 с.
14. Крайнев А.Ф. Идеология конструирования. – М.: Машиностроение, 2003. – 384 с.
15. Краткий справочник конструктора нестандартного оборудования. В 2-х томах. Т.1 / В.И. Бакуменко, В.А. Бондаренко, С.Н. Косоруков и др.; Под общ. ред. В.И. Бакуменко. – М.: Машиностроение, 1997. – 544 с.
16. Краткий справочник конструктора нестандартного оборудования. В 2-х томах. Т.2 / В.И. Бакуменко, В.А. Бондаренко, С.Н. Косоруков и др.; Под общ. ред. В.И. Бакуменко. – М.: Машиностроение, 1997. – 526 с.
17. Крейтер С.В., Нестеров А.П., Данилевский В.В. Основы конструирования и агрегатирования: Учеб. пособие. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 224 с.



18. Кузнецов М.М., Усов Б.А., Стародубов В.С. Проектирование автоматизированного производственного оборудования. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
19. Миндлин Я.З. Логика конструирования. – М.: Машиностроение, 1969. – 123 с.
20. Орлов П.И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие. Кн. 1. – М.: Машиностроение, 1988. – 560 с.
21. Орлов П.И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие. Кн. 2. – М.: Машиностроение, 1988. – 544 с.
22. Приводы машин: Справочник / В.В. Длоугий, Т.И. Муха, А.П. Цупиков, Б.В. Януш. Под общ. ред. В.В. Длоугога. – М.: Машиностроение, 1982. – 383 с.
23. Проектирование механических передач: Учебно-справочное пособие для вузов / С.Л. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцов и др. – 1984. – 560 с.
24. Прохоров А.Ф. Конструктор и ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
25. Пуш В.Э. Конструирование металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.
26. Расчеты деталей машин: Справ. пособие / А.В. Кузьмин, И.М. Чернин, Б.С. Козинцов. – Минск: Высшая школа, 1986. – 400 с.
27. Реймерс А.Н. Основы конструирования. – М.: Машиностроение, 1965. – 228 с.
28. Решетов Д.Н. Конструирование рациональных механизмов. – М.: Машиностроение, 1972. – 256 с.
29. Рот К. Конструирование с помощью каталогов: пер. с нем. В.И. Борзенко и др. / Под ред. Б.А. Березовского. – М.: Машиностроение, 1995. – 420 с.
30. Таленс Я.Ф. Работа конструктора. – М.: Машиностроение, 1987. – 255 с.
31. Таршис Ю.Д., Нефедов А.С., Ремизов В.Г. Оптимизационное проектирование элементов механических систем: Учеб. пособие. – Ярославль: ЯПИ, 1983. – 96 с.
32. Технологичность изделия: справочник / Под общ. ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
33. Трушкин В.П. Записки конструктора. – М.: Московский рабочий, 1981. – 320 с.
34. Ханзен Ф. Основы общей методологии конструирования. – Л.: Машиностроение, 1969. – 164 с.
35. Хилл П. Наука и искусство проектирования. – М.: Мир, 1973. – 254 с.
36. Чернов Л.Б. Основы методологии проектирования машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 148 с.

37. Ярушин С.Г., Схиртладзе А.Г. Проектирование нестандартного оборудования: Учебник. – Пермь: Пермский гос. техн. ун-т, 2004. – 440 с.

## Список использованных источников

1. Шейнбаум В.С. Методология инженерной деятельности: Учебное пособие. – Н. Новгород, 2007. – 360 с.
2. Ярушин С.Г., Схиртладзе А.Г. Проектирование нестандартного оборудования: Учебник. – Пермь: Пермский гос. техн. ун-т, 2004. – 440 с.
3. Таленс Я.Ф. Работа конструктора. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1987. – 255 с.
4. Конструирование машин: справочно-методическое пособие. Т. 1 / К.В. Фролов и др.; под общ. ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1994. - 528 с.
5. Гулиа Н.В., Клоков В.Г., Юрков С.А. Детали машин: Учебник / под общ. ред. д.т.н., проф. Н.В. Гулиа. – 2-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2010. – 416 с.
6. ГОСТ Р 7.0.100-2018. СИБИБД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200034383>. - 04.12.2020.
7. ГОСТ Р 7.0.12-2011. СИБИБД. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200004323>. - 04.12.2020.
8. ГОСТ Р 2.105-2019. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Общие требования к текстовым документам. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200001260>. - 04.11.2020.
9. Кузин Ф.А. Диссертация. Методика написания. Правила оформления. Порядок защиты. Практическое пособие для докторантов, аспирантов и магистрантов / под ред. В.А. Абрамова. – 3-е изд., доп. – М.: Ось-89, 2008. - 448 с.
10. ГОСТ 2.321-84. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Обозначения буквенные. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200006598>. - 04.11.2020.
11. ГОСТ Р 2.106-2019. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Текстовые документы. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200001979>. - 04.11.2020.
12. ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Единицы величин. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200031406>. - 04.11.2020.
13. Инженерная графика. Конструкторская информатика в машиностроение: Учеб. для вузов / А.К. Болтухин [и др.]; под ред. А.К. Болтухина, С.А. Васина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. - 555 с.
14. ГОСТ 2.104-2006. Единая система конструкторской документации

(ЕСКД). Основные надписи. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200045443>. – 04.11.2020.

15. ГОСТ 2.305-2008. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Изображения – виды, разрезы, сечения. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200069435>. – 04.11.2020.

16. ГОСТ 2.307-2011. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Нанесение размеров и предельных отклонений (с Поправками). – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200086238>. – 04.11.2020.

17. ГОСТ 2.308-2011. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Указания допусков формы и расположения поверхностей. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200086239>. – 04.11.2020.

18. ГОСТ 2.109-73. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Основные требования к чертежам (с Изменениями № 1-11). – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200001992>. – 04.11.2020.

19. ГОСТ 2.311-68. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Изображение резьбы (с Изменением № 1). – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200006590>. – 04.11.2020.

20. ГОСТ 2.316-2008. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила нанесения надписей, технических требований и таблиц на графических документах (с Поправкой). – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/12000069436>. – 04.11.2020.

**Приложение А**  
**Образец бланка задания**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»**  
**НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ**  
**Кафедра металлургических технологий и оборудования**

«УТВЕРЖДАЮ»  
ЗАВ. КАФЕДРОЙ \_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 г

**ЗАДАНИЕ**  
**на домашнее задание/контрольную работу**

По дисциплине **«Основы проектирования»** \_\_\_\_\_

Студенту группы \_\_\_\_\_

1. Тема \_\_\_\_\_
2. Исходные данные (в том числе проектная и технологическая документация, и основная литература)

3. Перечень подлежащих разработке вопросов:

3.1. \_\_\_\_\_

3.2. \_\_\_\_\_

3.3. \_\_\_\_\_

3.4. Графическая часть \_\_\_\_\_

4. Сроки начала и окончания выполнения домашнего задания/контрольной работы \_\_\_\_\_

5. Задание выдано \_\_\_\_\_

6. Руководитель домашнего задания/контрольной работы \_\_\_\_\_

7. Задание принял к исполнению студент \_\_\_\_\_

(подпись)

**Приложение Б**  
**Образец титульного листа**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»  
**НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ**

Кафедра металлургических технологий и оборудования

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ/КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине «Основы проектирования»

Тема \_\_\_\_\_

Студент группы \_\_\_\_\_

Руководитель домашнего задания/контрольной работы \_\_\_\_\_

Новотроицк 2020

ГАНИН ДМИТРИЙ РУДОЛЬФОВИЧ

## ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие  
по выполнению домашнего задания/контрольной работы  
для студентов направления подготовки бакалавров  
15.03.02 Технологические машины и оборудование  
всех форм обучения

Подписано в печать 16.12.2020 г.		
Формат 60x90 $\frac{1}{16}$ Рег. № 187	Печать цифровая Тираж 100 экз.	Уч.-изд. л. 6,44

ФГАОУ ВО

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Новотроицкий филиал

462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8.

E-mail: [nf@misis.ru](mailto:nf@misis.ru)

Контактный тел. 8 (3537) 679729.

