

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

А.Д. Чесалин, П.Р. Баранов

**КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И АППАРАТОВ**

Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета

Издательство
Томского политехнического университета
2014

УДК 621.313.002 + 621.31.002(075.8)
ББК 31.261я73
Ч51

Чесалин А.Д.

Курсовое проектирование по технологии производства электрических машин и аппаратов: учебное пособие / А.Д. Чесалин, П.Р. Баранов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 148 с.

В пособии изложены основные положения разработки структуры технологического процесса производства электротехнических устройств. Даны рекомендации по проектированию отдельных этапов технологического процесса, приведены алгоритмы расчетов с пояснениями на примерах. Приведены формы технологических документов, правила и образцы их заполнения.

Предназначено для студентов направления ООП 140400 «Электроэнергетика и электротехника» профиля подготовки «Электромеханика», «Электрические и электронные аппараты»

УДК 621.313.002+621.31.002(075.8)
ББК 31.261я73

Рецензенты

Заместитель генерального директора по качеству и инновациям ООО
«Сибирская электротехническая компания»,

кандидат технических наук

А.Э. Гусельников

Заведующий кафедрой электротехники и автоматики Томского архитектурно-строительного университета,

кандидат технических наук

Ю.А. Орлов

© ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 2014

© Чесалин А.Д., Баранов П.Р., 2014

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ	7
1. Анализ исходных данных для проектирования сборки	10
2. Оценка технологичности конструкции изделия	18
3. Размерный анализ конструкций электрических машин и аппара- тов	24
4. Специальные технологические расчёты	49
5. Составление схемы сборки и маршрутной технологии узловой и общей сборки	55
6. Выбор сборочного оборудования, оснастки и подъёмно- транспортных средств	60
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	65
7. Анализ исходных данных для проектирования механической об- работки	65
8. Оценка технологичности конструкции детали	69
9. Выбор метода получения заготовки	72
10. Выбор метода механической обработки, установочных баз и составление маршрута обработки	75
11. Определение припусков на обработку, допусков и операционных размеров	79
12. Расчёт режимов резания	88
13. Техническое нормирование операций	92
14. Определение необходимого количества оборудования	98
15. Оформление маршрутной документации	100
16. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	105
17. ПРИЛОЖЕНИЯ	108

ВВЕДЕНИЕ

В учебных планах подготовки бакалавров по направлению 140400 – электроэнергетика и электромеханика для специализаций «Электромеханика» и «Электрические и электронные аппараты» предусмотрены дисциплины «Технология производства электрических машин» и «Технология электроаппаратостроения» соответственно. При изучении этих дисциплин студенты выполняют курсовую работу по проектированию технологического процесса сборки или механической обработки. Результаты выполнения курсовой работы служат базой для выполнения одной из частей выпускной квалификационной работы при защите степени бакалавра.

Студенты заочной формы обучения при изучении дисциплин «Технология производства электрических машин» и «Специальные технологические процессы в электромашиностроении» выполняют соответственно курсовые работы по проектированию технологических процессов механической обработки и сборки при производстве электрических машин.

Кроме того, учебным планом подготовки магистров по программе 140400 – энергетика и электромеханика предусмотрена дисциплина «Проектирование технологических процессов производства электрических машин и аппаратов», при изучении которой необходимо выполнить курсовой проект.

В связи с этим возникает необходимость подготовки методического пособия, которое наряду со справочной информацией даст методические положения и этапы технологического проектирования.

Электрические машины и аппараты – это электротехнические устройства, производство которых характеризуется большой номенклатурой и весьма значительными различиями в конструкциях машин и аппаратов. Однако, общей особенностью технологии производства как электрических машин, так и электрических аппаратов является чрезвычайное разнообразие технологических процессов.

Если технология общего машиностроения изучает, как правило, процессы механической обработки деталей и сборки изделий, то для технологии электромашиностроения и электроаппаратостроения характерно, кроме указанных выше, широкое применение следующих технологических процессов: отливка деталей сложной формы из черных и

цветных металлов, все виды сварки от тонких проводов до огромных деталей, штамповка в больших объёмах электротехнических сталей и сборка сердечников магнитопроводов, изготовление, изолировка, пропитка и монтаж обмоток, пайка мягкими и твердыми припоями, прессовка пластмассовых деталей и т.п.. Качество выполнения этих технологических процессов во многом определяет работоспособность и надежность электрических машин и аппаратов.

Такая общность технологических процессов позволяет сформулировать основные положения и этапы технологического проектирования в одном пособии, оговаривая особо принципиальные отличия для машин и аппаратов.

При проектировании технологического процесса стоит задача с минимальными затратами обеспечить производство изделия, отвечающего его служебному назначению. В общем случае, для обеспечения этой задачи разработку технологического процесса необходимо вести в следующей последовательности:

- изучение служебного назначения изделия, технических требований, норм точности и критический анализ их соответствия служебному назначению;
- ознакомление с намечаемым объёмом производства;
- изучение рабочих чертежей изделия и их критический анализ с точки зрения возможности выполнения изделием его служебного назначения, методов достижения геометрической точности, заложенных в конструкцию, технологичности конструкции;
- разработка технологии общей сборки изделия и сборки его сборочных единиц;
- изучение служебного назначения деталей, технических требований, норм точности и критический анализ их соответствия своему служебному назначению, а также анализ технологичности конструкции деталей;
- выбор наиболее экономичных способов получения заготовок, обеспечивающих требуемое качество деталей;
- разработка технологических процессов изготовления деталей;
- планировка оборудования и рабочих мест;
- оформление заказов на проектирование и изготовление оборудования, приспособлений и инструментов;
- испытание технологического процесса, корректировка и исправление ошибок.

Из приведенной последовательности видно, проектирование ведется от конечного результата (изделие в сборе) к изготовлению деталей и получению заготовок. Необходимость такого порядка объясняется тем, что построение технологических процессов изготовления деталей подчинено сборке изделия, а выбор способов получения заготовок и постановка размеров в их чертежах находится в зависимости от технологии изготовления деталей. Поэтому в пособии отдельно рассматриваются в начале вопросы проектирования технологии сборки, а затем технология производства деталей [13, 32].

Подобная структура пособия позволяет подобрать для будущих бакалавров довольно широкий круг тем на курсовую работу по проектированию технологических процессов:

1. Технологический процесс общей сборки электрической машины или аппарата. Касается соединения готовых сборочных единиц (узлов) в изделие без применения, как правило, доделочных операций механической обработки и проведения испытаний собранного изделия.

2. Технологический процесс сборки узлов электрических машин или аппаратов, например, статора асинхронного двигателя, ротора преобразователя, магнитной системы пускателя, системы дугогашения и прочее. Здесь могут появиться доделочные операции механической обработки, специфические технологические процессы – пропитки обмоток, шихтовки сердечников, монтажа моточных изделий, изготовления печатных плат и т.д..

3. Технологический процесс механической обработки основных деталей электрических машин или аппаратов, например, вал асинхронного двигателя, корпус магнитного пускателя и другие детали.

4. Возможна групповая комплексная работа, когда на одно изделие разрабатывается полный технологический процесс изготовления группой студентов. Например, на двигатель КД180 выдаются темы: общая сборка двигателя, сборка статора двигателя, сборка ротора, механическая обработка вала, механическая обработка подшипникового щита. Таким образом, перед группой студентов стоит взаимосвязанная задача спроектировать полный технологический процесс производства двигателя КД-180.

У магистрантов более сложная технологическая задача. Вместо курсовой работы они должны выполнить курсовой проект. Технологический курсовой проект, в общем случае, должен включать общую и узловую сборку изделия, механическую обработку определённых деталей и обоснование принятых решений соответствующими технологическими расчётами.

Студент заочной формы может согласовать вопросы, связанные с курсовой работой, обратившись на кафедру «Электромеханических комплексов и материалов» по e-mail: ЕКМ@enin.tpu.ru либо на электронный адрес преподавателя.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ

Основной и наиболее важной частью технологической подготовки сборочного производства является проектирование технологического процесса сборки.

Технологический процесс сборки представляет собой совокупность операций по соединению деталей в определенной, технически и экономически целесообразной последовательности для получения сборочных единиц и изделий, полностью отвечающих установленным требованиям.

Выполнение сборочных работ связано с большой затратой времени, составляющей значительную долю общей трудоемкости изготовления машины. В зависимости от типа производства затраты времени на сборочные работы составляют от 20 – 30 % в массовом и крупносерийном производстве до 35 – 40 % в мелкосерийном и единичном. Следует отметить, что основная часть слесарно-сборочных работ представляет собой ручные работы, требующие больших затрат физического труда и высокой квалификации рабочих.

В состав технологического процесса сборки в качестве технологических операций и переходов включаются разнообразные сборочные работы. К этим работам относится: приведение деталей и покупных изделий в состояние, требуемое условиями сборки (расконсервация, мойка, сортирование по группам, укладка в тару и др.); обеспечение собираемости соединений и технических требований к ним (опиливание, зачистка, притирка, шабрение, сверление, развертывание, правка и пр.); соединение сопрягаемых деталей посредством приведения в соприкосновение их сборочных баз; проверка точности взаимного расположения собираемых деталей и узлов и внесение, если это необходимо, соответствующих исправлений путем регулировки или пригонки; фиксация положения деталей и узлов для правильного выполнения ими целевого назначения при работе машины; проверка в процессе сборки и после её окончания соответствия сборочных единиц и изделия в целом параметрам, установленным чертежом и техническими условиями; очистка,

промывка, окраска и отделка изделия или составляющих его сборочных единиц и деталей.

Поэтому разработка технологии сборки машины является одной из важных составных частей технологической подготовки производства.

При проектировании технологического процесса сборки необходимо решить следующие задачи: определение наиболее рациональной последовательности сборки и установление её методов; планирование сборочных операций и режимов сборки по элементам; выбор и конструирование необходимых инструментов, приспособлений и оборудования; назначение технических условий на сборку элементов и общую сборку изделия по операциям; выбор методов и средств технического контроля качества сборки; установление норм времени на выполнение сборочных операций; определение рациональных способов транспортировки деталей, полуфабрикатов и изделий; подбор и проектирование транспортных средств; разработка технологической планировки сборочного цеха и необходимой технической документации.

При разработке технологических процессов сборки используют исходную информацию: базовую, руководящую и справочную. Базовая информация включает данные, содержащиеся в конструкторской документации на собираемое изделие, и программу выпуска данного изделия.

Руководящая информация включает данные, содержащиеся в стандартах всех уровней на технологические процессы и методы управления ими, оборудование и оснастку; производственных инструкциях и документации на действующие и перспективные единичные, типовые и групповые технологические процессы; классификаторах технико-экономической информации; в материалах по выбору технологических нормативов (режимов сборки, норм времени, затрат труда и др.); документации по технике безопасности и промышленной санитарии.

Справочная информация включает данные, содержащиеся в технологической документации опытного производства, каталогах, паспортах, справочниках, альбомах прогрессивных средств технологического оснащения сборки. Информация размещена в описаниях прогрессивных способов сборки; планировках сборочных участков; методических материалах по проектированию и управлению процессов сборки; прогнозах научно-технического процесса и планах повышения технического уровня сборочного производства.

Основными в разработке технологических процессов сборки являются следующие этапы: анализ исходных данных для разработки технологического процесса сборки; расчет такта и ритма сборки, определение типа производства и организационной формы сборки; отработка конст-

рукции изделия на технологичность в сборке; выбор действующих типового, группового технологических процессов или поиск аналога единичного процесса сборки; проведение размерного анализа конструкции собираемого изделия, выбор технологических баз и схем базирования, установление рациональных методов сборки; составление схемы сборки и технологического маршрута сборки изделия; разработка технологических операций; выбор стандартного или проектирование специального оборудования или оснастки; нормирование технологического процесса сборки; определение требований техники безопасности; расчет экономической эффективности вариантов технологического процесса сборки; оформление документации на технологический процесс сборки.

Необходимость выполнения каждого из данных этапов, а также состав задач и последовательность их решения определяется в зависимости от вида и типа сборочного производства и устанавливается стандартами предприятия.

Объём и содержание курсовой работы или курсового проекта по проектированию технологического процесса сборки электрической машины или аппарата определяется заданием. Текстовая часть задания во многом определяется графической частью. Графическая часть может быть представлена для курсовой работы в виде сборочного чертежа, в виде чертежа общего вида и даже в виде рисунка, дающего представление о конструкции, составе и особенностях требований к изделию. Графическая часть задания на курсовой проект должна быть представлена, как минимум, сборочным чертежом изделия и чертежом детали, на которые будут проектироваться технологические процессы.

У студента, приступившего к выполнению курсовой работы (проекта) по технологии производства электрических машин или аппаратов, в наличии следующие виды исходной информации: базовая, руководящая и справочная.

К базовой информации можно отнести текстовую и графическую части индивидуального задания. Задание определяет разделы технологического процесса, которые необходимо спроектировать в работе, срок проектирования, вид изделия, особенности его конструкции, технические требования к изделию, годовую программу выпуска.

К руководящей информации относятся стандарты всех уровней (государственные, отраслевые, предприятия) на технологические процессы, на методы управления технологической подготовкой производства, на оборудование и оснастку, производственные инструкции, классификаторы технико-экономической информации, технологические нормативы, документы по технике безопасности и промсанитарии, в крайнем случае, настоящее пособие.

К справочной информации относятся данные из каталогов, паспортов, справочников, альбомов технологического оснащения, методических материалов по проектированию сборки, из ранее изучаемых дисциплин и в период производственной практики.

1. Анализ исходных данных для проектирования сборки

Результаты анализа зависят от содержания задания, выданного на курсовую работу (проект).

1.1. Общая сборка изделия. Если задание выдано на общую сборку машины или аппарата из готовых сборочных единиц и к текстовой части задания приложен сборочный чертёж со спецификацией, тогда результат анализа может быть представлен следующим образом.

Из текстовой части задания установить наименование и тип изделия, этапы технологического процесса, которые необходимо разработать, и срок окончания проектирования.

По заданной программе выпуска принять решение о типе производства (единичное, мелкосерийное, серийное, крупносерийное, массовое) и выбрать организационную форму сборки (стационарная, подвижная, поточная, непоточная).

Один из элементов анализа описание конструкции изделия. Оно позволяет лучше оценить связи при анализе служебного назначения, подготовиться к оценке технологичности конструкции, учесть возможные пути сборки. Описание должно включать перечень и назначение сборочных единиц и деталей, входящих в общую сборку изделия, описание их связей и анализ технических требований к изделию в целом. Эта информация заложена в сборочном чертеже и в спецификации.

Заканчивается анализ исходных данных описанием служебного назначения изделия. Под служебным назначением изделия понимается максимально уточненная и четко сформулированная задача, для решения которой предназначено изделие. Служебное назначение изделия содержит: сведения о производимой им продукции – вид, качество, количество (электрическая энергия определенного напряжения и мощности, крутящий момент при заданной частоте вращения, время срабатывания и т.д.). Сведения об условиях эксплуатации – температура, влажность, запыленность, взрывозащищённость и пр. окружающей среды. Сведения о безопасности изделия при эксплуатации – уровень шума и вибраций. Сведения о безопасности обслуживания, а также эксплуатационные показатели – долговечность, надёжность, ремонтпригодность, степень автоматизации; эргономика изделия – эстетичный вид, удобство обслуживания.

Технолог отвечает за качественное изготовление изделия и сдачу его заказчику. Поэтому технолог должен досконально изучить служебное назначение изделия и технические требования к нему для того, чтобы перейти от требований служебного назначения к точности изготовления и соединения составных частей в изделие. Такой переход достаточно сложен и длителен и в курсовой работе его выполнять не следует, но служебное назначение необходимо проанализировать на базе той информации, которая есть на изделие в задании, в стандартах, в справочниках [9, 10, 13, 32, 33, 42].

Пример 1. *Выполнить анализ исходных данных для проектирования технологического процесса общей сборки асинхронного двигателя. Задание на курсовую работу (Приложение 1), спецификация (Приложение 2), чертёж (Приложение 3). Составить описание конструкции двигателя и служебное назначение.*

В работе следует выполнить анализ исходных данных и служебного назначения; провести оценку технологичности конструкции двигателя; разработать схему сборки двигателя и маршрутную технологию общей сборки; выбрать оборудование, приспособления и инструменты для сборочных работ; определить нормы времени на сборочные работы; рассчитать количество оборудования, необходимого для обеспечения выпуска заданной годовой программы. Срок выполнения проекта – 23.12.10.

Двигатель состоит из статора поз. 1, в сердечнике которого уложена трехфазная обмотка, ротора поз. 2, в пазах которого литая короткозамкнутая обмотка. На вал ротора напрессованы подшипники поз. 19. Подшипники закрытые, со смазкой, заложенной в них при изготовлении на весь срок службы. Ротор ориентируется относительно расточки статора с помощью подшипниковых щитов поз. 5 и 6. Для уменьшения осевых перемещений ротора в проточку подшипникового щита поз. 5 установлено пружинное кольцо поз. 7. Подшипниковые щиты после напрессовки на станину статора крепятся болтами поз. 12 с пружинными шайбами поз. 15 по три штуки на каждый щит. На статоре установлено выводное устройство поз. 3, в котором расположена клеммная колодка с присоединенными выводами обмотки статора. На лыску ступени вала под вентилятор установлена пластина поз. 9, затем напрессован вентилятор поз. 8. Конец пластины подогнут, чтобы вентилятор не перемещался вдоль вала. На щите со стороны вентилятора тремя винтами поз. 13 с шайбами поз. 14 закреплен кожух поз. 4. Для уменьшения шума в отверстия кожуха под винты вставлены резиновые втулки.

Асинхронный короткозамкнутый двигатель АИР112М4У3 предназначен для эксплуатации на открытом воздухе или в помещениях, где

колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе при отсутствии прямого воздействия солнечной радиации и атмосферных осадков.

Исполнение двигателя по способу монтажа IM1081. Это означает, что двигатель с одним цилиндрическим концом вала и может работать с любым направлением конца вала.

Исполнение по степени защиты от воздействия окружающей среды IP54. Это означает, во-первых, что пыль может проникать внутрь оболочки двигателя, но в количествах не достаточных для нарушения его работы, и, во-вторых, на работу двигателя не должно оказывать вредного воздействия разбрызгивание на оболочку воды в любом направлении.

Режим работы двигателя продолжительный S1. Способ охлаждения двигателя IC0141 – обдувом с помощью внешнего вентилятора, расположенного на валу двигателя. Двигатель выполнен на напряжение 380 В и развивает полезную мощность на валу 5,5 кВт при синхронной частоте вращения 1500 об/мин. Кратность пускового момента двигателя равна двум, а пускового тока – семи. [36].

1.2. Сборка узла изделия. Если задание выдано на сборку сборочной единицы – составной части какой либо машины или аппарата и к текстовой части задания приложен сборочный чертёж, тогда анализ исходных данных по структуре не отличается от анализа задания на общую сборку, но есть особенности.

При общей сборке изделия, как правило, отсутствует дополнительная механическая обработка поверхностей. При сборке сборочных единиц – узлов или агрегатов изделия, достаточно часто применяют дополнительную механическую обработку, как правило, для повышения точности или качества поверхностей узла или специальные технологические процессы, например, настройка, пропитка, намагничивание, окрашивание, и прочие.

Вместо размерного анализ могут быть заданы: расчёт усилий при выполнении прессовых соединений для выбора способа соединения и соответствующего оборудования, расчёт припусков на дополнительную механическую обработку при наличии информации об изменении качества или размеров поверхностей в процессе сборки. Определение режимов и оснащения контроля характеристик обмоток, определение режимов пропитки с выбором пропиточного оборудования и т.п. [4, 10, 35, 36, 37].

Пример 2. *Выполнить анализ исходных данных для проектирования технологического процесса изготовления ротора асинхронного двигателя. Задание на курсовую работу (Приложение 4), спецификация*

(Приложение 5), чертёж (Приложение 6). Составить описание конструкции ротора и служебное назначение.

Требуется спроектировать технологический процесс изготовления ротора асинхронного двигателя. В работе следует выполнить анализ исходных данных и служебного назначения (введение); провести оценку технологичности конструкции ротора; определить усилия напрессовки ротора на вал и выбрать способ прессования, оборудование и оснащение; разработать схему сборки ротора и маршрутную технологию его изготовления; выбрать оборудование и оснастку; определить нормы времени по всем операциям; рассчитать количество оборудования, необходимого для обеспечения выпуска заданной годовой программы 34000 штук. Срок выполнения проекта – 23.12.10.

Ротор состоит из сердечника поз. 1 с короткозамкнутой обмоткой, отлитой из алюминиевого сплава. Одновременно с отливкой обмотки отлиты вентиляционные лопатки и между ними бобышки для крепления балансировочных шайб поз. 3.

Сердечник ротора с обмоткой напрессован на вал поз. 2. Неподвижность сердечника на валу обеспечивается за счёт посадки с натягом. Ротор после сборки с валом подлежит дополнительной механической обработке: точить наружный диаметр сердечника и галтели; шлифовать шейки вала под подшипники и выходной конец вала.

После балансировки ротора обработанную наружную поверхность сердечника необходимо окрасить эмалью ГФ-92ГС серой или ЭП-91 тёмно-зелёной ГОСТ 15943-80.

Ротор вместе со статором предназначен для преобразования в асинхронном двигателе электрической энергии в механическую. Сердечник ротора является элементом магнитной цепи. Вращающий момент на валу ротора образуется в результате взаимодействия вращающегося магнитного поля, созданного обмоткой статора, и тока, наведённого в литой короткозамкнутой обмотке.

Для того, чтобы обеспечить качество продукции двигателя, то есть вращающего момента (величину, стабильность), а так же самого двигателя (уменьшить шумы, вибрации, потери, увеличить долговечность и пр.), необходимо повысить точность формы, размеров, относительного положения и движения исполнительных поверхностей двигателя.

В роторе для этой цели предусмотрены конструкторские и технологические меры. Балансировочные шайбы и предусмотренные для их монтажа бобышки позволяют выполнить динамическую балансировку ротора и уменьшить вибрации и шумы. Применение посадки ротора на вал с натягом позволяет уменьшить число деталей (нет шпонки) и снизить трудоемкость при сборке. Проточка наружного диаметра сердечни-

ка и шлифовка шеек вала под подшипники позволяет обеспечить точность и равномерность воздушного зазора, тем самым повысить качество двигателя и снизить стоимость штампа для штамповки листов сердечников.

1.3. Сборка изделия при отсутствии чертежа. Возможен вариант, когда к текстовой части задания на проектирование технологического процесса сборки изделия в качестве графической части приложен рисунок, дающий достаточно полное представление о конструкции изделия и особенностях его применения. Желательно указание на литературу, в которой можно более подробно ознакомиться с изделием. В этом случае рисунок необходимо преобразовать в чертёж. На рисунках, как правило, указывают не только детали и сборочные единицы, входящие в изделие, но и детали и сборочные единицы, являющиеся составными частями составных частей изделия. Это делается для того, чтобы в описании дать по возможности более полное представление о конструкции изделия и его особенностях. В конструкторской документации изображают на чертеже и записывают в спецификацию только составные части (детали и сборочные единицы) данной сборочной единицы. На сборочную единицу – составную часть составляется своя спецификация и, если необходимо, свой чертёж. Поэтому, преобразовав рисунок в чертёж и составив спецификацию, можно выполнять работу по разделу 1.1 или 1.2 в зависимости от типа изделия.

Пример 3. *Выполнить анализ исходных данных для проектирования технологического процесса общей сборки контактора постоянного тока типа КПВ605 для экскаватора: задание на курсовую работу (Приложение 7), рисунок общего вида контактора (Приложение 8). Составить описание конструкции контактора и служебное назначение.*

Требуется спроектировать технологический процесс общей сборки контактора постоянного тока типа КПВ605 на номинальный ток главной цепи 630 А, номинальное напряжение втягивающей катушки 220 В, потребляемую мощность 75 Вт.

В работе следует выполнить анализ исходных данных и служебного назначения, провести оценку технологичности конструкции контактора; расчленить конструкцию контактора на функциональные узлы, разработать схему сборки и маршрутную технологию общей сборки контактора; выбрать оборудование, приспособления и инструменты для сборочных работ; определить нормы времени на сборочные работы; рассчитать количество оборудования, необходимого для обеспечения выпуска заданной годовой программы. Срок выполнения проекта – 25.11.10.

Для снижения трудоемкости сборочных работ электрического аппарата его конструкцию необходимо разбить на функциональные сборочные узлы (магнитопровод, катушка, контактный узел, пружина и т.д.), которые можно собирать и контролировать их качество на других участках производства. Тем самым сокращается наименование комплектующих деталей и узлов на участке общей сборки, а также объем приемо-сдаточных испытаний.

Преобразовав рисунок в чертёж (Приложение 9) и составив спецификацию (Приложение 10), можно сделать описание конструкции контактора.

Контакторы предназначены в основном для управления электродвигателями постоянного тока и применяются в качестве линейных контакторов, реверсирующих контакторов, контакторов ускорения и др. Контакторы КПВ605 исполняются с одним замыкающим главным контактом. Номинальное напряжение главных контактов – 220 В постоянного тока. Контакторы могут быть применены для работы при других напряжениях по согласованию с заводом – изготовителем. Максимальная допустимая частота включений в час – 1200. Коммутационная износостойкость, млн. циклов ВО – 0,2. Механическая износостойкость, млн. циклов ВО – 10,0. Режим работы – продолжительный, прерывисто-продолжительный, повторно-кратковременный и кратковременный. Контакторы для продолжительного режима работы имеют контакты с серебряными вставками.

Контакторы, поставляемые без плиты, допускают установку на изоляционных панелях, а на металлической изолированной плите – на металлических рейках. Присоединение внешних проводников – переднее и заднее. Климатическое исполнение – У3, ХЛ3, Т3 по ГОСТ15150-69. Степень защиты – IP00.

Контактор собран на основной скобе 6 (Приложение 8) магнитопровода, которую рекомендуется устанавливать на изоляционной асбоцементной плите. Пусковая цепь привода коммутируется главными контактами (подвижным 7 и неподвижным 1). При подаче напряжения на катушку 20 к ее сердечнику 21 притягивается якорь 16, на котором закреплен скоба 12, несущая подвижный подпружиненный контакт 7. Неподвижный контакт закреплен на нижней части скобы магнитопровода совместно с выводом дугогасительной катушки 3. Второй контакт этой катушки является контактным зажимом. Дугогасительная система (катушка 3, скоба, камера) позволяет гасить электрическую дугу главных контактов. Для предотвращения вибраций контактов контактная пружина 12 создает предварительное нажатие, равное примерно половине конечной силы нажатия. При износе контактов неподвижный кон-

такт 1 заменяется новым, а пластина подвижного контакта поворачивается на 180° и неповрежденная сторона ее используется в работе. Возврат якоря в начальное положение (после отключения электромагнита) производится пружиной. В процессе работы происходит износ призмы 19, которую можно заменить при регламентных работах и восстановить работу механизма. В процессе эксплуатации работа контактора сопровождается механическими вибрационными нагрузками, вызванными работой электро- и гидроприводов экскаватора. Для исключения разрушения деталей и узлов контактора, а также отвинчивания крепежных деталей под действием этих вибраций использованы детали повышенной жесткости и прочности, крепеж (болты, винты) укомплектованы пружинными шайбами.

1.4. Сборка узла электрического аппарата. Если задание выдано на сборку сборочной единицы электрического аппарата (магнитопровод, корпус, блок контактов и пр.), тогда анализ исходных данных по структуре не отличается от анализа задания, изложенного в примере 2. Есть только технологические особенности изготовления катушки электрического аппарата, например, намотка, пропитка, изготовление каркаса и прочие. Также возникают трудности при составлении чертежа и спецификации катушки, особенно когда к текстовой части задания на проектирование технологического процесса изготовления катушки в качестве графической части приложен рисунок и справочная информация электротехнического изделия. В таком случае в процессе анализа исходных данных необходимо экспертным путем определить приблизительное число витков обмотки, сечение обмоточного провода, среднюю длину витков. В качестве информации для этого необходимо использовать следующие показатели: номинальное напряжение катушки, номинальную мощность катушки, допустимую плотность тока в обмотке электрического аппарата, геометрические размеры катушки.

Пример 4. *Выполнить анализ исходных данных для проектирования технологического процесса изготовления сердечника с катушкой тормозной муфты механизма подъема крана: задание на курсовую работу (Приложение 11), спецификация (Приложение 12), сборочный чертёж (Приложение 13). Составить описание конструкции сердечника с катушками и служебное назначение.*

Требуется спроектировать технологический процесс изготовления сердечника с катушкой электромагнита постоянного (выпрямленного) тока для тормозной муфта грузоподъемного механизма. В работе следует выполнить, анализ исходных данных, оценку технологичности конструкции сердечника электромагнита. Выбрать оборудование для механической обработки полюсов сердечника; выбрать и разработать изме-

рительное оборудования и оснастку для серийного производства электрических аппаратов на программу выпуска 14 000 штук; разработать маршрутную технологию сборки, выбрать оборудование и оснастку для сборки; рассчитать нормы времени для операций сборки и механообработки, рассчитать количество необходимого оборудования для выполнения годовой программы.

Сердечник с катушкой (см. Приложение 13) собирается из монолитного стального сердечника (поз. 6) и катушки (поз. 1) с двумя выводами и припаянными наконечниками (поз. 5).

Сердечник изготовлен из стали с нормированными магнитными свойствами, в данном случае - Сталь 10. Сердечник является составной частью электромагнита постоянного (выпрямленного) тока с коротким ходом якоря. Величина рабочего зазора составляет от 1.0 до 2.5 мм. Бронированная конструкция сердечника и относительно малый рабочий зазор обеспечивают относительно небольшие потоки рассеяния по сравнению с основным потоком, проходящего через рабочий зазор. Это обуславливает высокие удельные тяговые характеристики электромагнита.

Сердечник имеет два полюса в плоскости В: наружный и внутренний. Для равномерного распределения усилий и магнитного потока площади полюсов выполнены равными.

Пропитанная лаком катушка поз. 1 размещена в сердечнике. В спинке магнитопровода фрезерован паз Г. В этом пазу с отверстием протягивают выводы обмотки, защищенные изолирующей трубкой поз. 2. Крепление выводов осуществляется пластиной поз. 4 и винтами поз. 7. Для защиты от внешних воздействий паз Г и отверстие заполняются компаундом. Также компаундом поз. 8 заливается катушка. Кроме защитных функций компаунд, вытесняя воздух из обмоточного пространства, значительно повышает коэффициент теплопроводности катушки. Для закрепления катушки имеется проточка в магнитопроводе на ширину 5 мм (на сборочном чертеже не указана). После застывания компаунда образуется прочная монолитная конструкция, которая обеспечивает неподвижность катушки и ее хороший теплоотвод.

В электромагнитах постоянного тока сила тяги зависит от величины и равномерности воздушного зазора при включении. При подключении катушки электромагнита к источнику постоянного (выпрямленного) напряжения создается намагничивающая сила, которая образует магнитный поток. Этот поток замыкается через магнитопровод, воздушный зазор и подвижный якорь. Создается сила притяжения, которая притягивает якорь к полюсам магнитопровода и освобождает фрикционные накладки механического тормоза. В номинальном режиме сила притя-

жения и быстроедействие при отключении зависят от остаточного воздушного зазора. Поэтому после пропитки компаундом и сушки осуществляется операция тонкой механической обработки полюсной зоны, обеспечивающая размещение полюсов в одной плоскости и заданную величину шероховатости.

Контроль отклонений от формы осуществляется с помощью специальной технологической оснастки. Для этой цели необходим специальный вал, на котором размещается собранный сердечник с катушкой. Вал закрепляется в центрах, при его вращении, с помощью датчика биений, определяется абсолютное значение биений плоскостей полюсов. Шероховатость полюсов можно определить, сравнивая полученную поверхность с эталонными образцами. Высоту сердечника можно контролировать штангенциркулем и другими приборами измерения линейных размеров.

Рекомендуемая литература: [13, с. 142–146], [16, с. 456–464], [31, с. 7–16], [32, с. 530–532], [33, с. 5–22], [36].

Контрольные вопросы:

1. Основные исходные данные для проектирования технологического процесса сборки.
2. Что содержит описание конструкции изделия?
3. Что содержит служебное назначение?
4. Основные требования к электрическим машинам по ГОСТ Р 58776-2007.

2. Оценка технологичности конструкции изделия

Технологичностью конструкции изделия называют совокупность свойств изделия, определяющих возможность достижения минимальных затрат средств, труда, материалов и времени при технологической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте по сравнению с однотипными конструкциями того же назначения при заданном уровне качества и принятых условиях изготовления, эксплуатации и ремонта.

Оценки технологичности конструкции могут быть количественными и качественными. Количественные показатели (материалоёмкость, трудоёмкость, себестоимость и т. д.) установлены в единой системе технологической подготовки производства (ЕСТПП) и предусматривают наличие изделия – аналога. При выполнении курсовой работы получить информацию об изделии аналоге практически не возможно. Поэтому в работе технологичность изделия необходимо оценить качественно. Оценку производить, руководствуясь общими принципами технологичности сборочных единиц, справочной литературой и личным

опытом, если он есть. При этом необходимо обращать внимание на следующие показатели:

- изделия, состоящие из большого числа деталей и сборочных единиц, должны строиться по блочному принципу и расчленяться на рациональное число самостоятельных узлов с целью обеспечения возможности их параллельной сборки, автономного контроля, испытания, замены и т. д., при этом наиболее целесообразны узлы, состоящие из 4 – 12 деталей;
- изделия должны состоять из максимально возможного числа стандартных и унифицированных составных частей, а также составных частей, уже освоенных в производстве;
- компоновка изделия должна исключать необходимость проведения промежуточной разборки и повторной сборки его составных частей;
- конструкция изделия не должна иметь многозвенных размерных цепей (наиболее целесообразное число звеньев менее пяти), а точность собираемых деталей должна обеспечивать сборку по методу полной взаимозаменяемости с целью исключения необходимости выполнения пригоночных работ. При невозможности или экономической нецелесообразности сборки с полной взаимозаменяемостью следует применять другие методы сборки (с учётом снижения производительности труда в следующем порядке: с неполной взаимозаменяемостью, групповой взаимозаменяемостью, регулированием, пригонкой);
- число деталей в изделии должно быть минимальным с максимальным использованием простых форм деталей. Сокращение числа деталей можно обеспечить за счёт упрощения конструкции изделия, а также за счёт объединения нескольких деталей в один компонент с использованием технологических методов (вальцевание, гибки, штамповки, сварки и др.). При этом следует избегать применения деталей малой жёсткости и деталей из легкодеформируемых материалов, чтобы исключить их деформацию при сборке;
- число типов сопрягаемых поверхностей и применяемых видов соединений деталей в изделии должно быть минимальным, при этом следует избегать применения соединений, которые трудно осуществить автоматически (шпоночные, шплинтовые, с пружинами и др.);
- конструкция изделия должна обеспечивать свободный доступ рабочих органов, сборочных инструментов и средств контроля к соответствующим местам соединения деталей и контроля;

- изделия должны обеспечивать удобство контроля качества сборки на всех этапах сборочного процесса с применением наиболее простых и эффективных способов и средств автоматического контроля;
- конструкция изделия должна обеспечивать сборку при минимальном числе направлений сборки. Необходимо стремиться к обеспечению одного направления сборки (предпочтительно сверху вниз по вертикали), что в максимальной степени упрощает сборочное оборудование;
- конструкция изделия должна предусматривать возможность соединения составных частей простейшими движениями (предпочтительно обеспечить присоединение каждой составной части посредством одного поступательного движения), что позволяет применять наиболее простое сборочное оборудование;
- детали, сопрягаемые в осевом направлении, должны иметь конструктивные элементы (фаски, проточки), облегчающие самоустановку и самоцентрирование поверхностей (фаски, проточки желательны на валу – проще выполнить);
- в конструкции изделия должны быть предусмотрены технологические базы, обеспечивающие необходимую точность относительного положения составных частей при сборке;
- плоскости разъёмов изделия следует располагать перпендикулярно к главной базовой оси симметрии изделия;
- в конструкции изделия должна быть предусмотрена базовая составная часть (деталь, сборочная единица), являющаяся основой для установки остальных составных частей изделия. Для обеспечения устойчивости и необходимой точности установки базовая составная часть должна быть наибольшей по габаритам, не деформирующейся под действием сборочных усилий, иметь развитые базовые опорные поверхности; её конструкция должна предусматривать возможность совмещения конструкторских, технологических и измерительных баз;
- конструкция изделия должна позволить проводить сборку без изменения положения базовой составной части;
- конструкция изделия должна обеспечить устранение подгонных работ, доработки и доводки деталей в процессе сборки, индивидуальной регулировки их взаимного расположения;
- для разборки изделия при его обслуживании и ремонте необходимо предусмотреть применение простых инструментов, съёмников и других не сложных приспособлений, а также резьбовые отверстия для отжимных винтов;

- каждая составная часть изделия должна иметь минимальное число поверхностей и мест сопряжения с другими частями изделия;
- изделие и его составные части должны иметь поверхности для надёжного захвата их с помощью захватных устройств промышленных роботов и манипуляторов;
- не следует объединять в один узел уникальные составные части изделия с унифицированными, а также составные части с разными характеристиками износа (быстро изнашиваемые узлы следует выделять в отдельную группу);
- конструктивное оформление элементов коммуникаций (электрических, пневматических, гидравлических и др.) должно допускать их автономное испытание и контроль без последующей повторной комплексной проверки;
- изделие и его составные части должны обладать устойчивостью и способностью к складированию;
- конструкция изделия должна предусматривать возможность использования при сборке наиболее эффективных способов и средств сборки.

Пример 5. *Оценить технологичность конструкции асинхронного двигателя (Приложения 1,2,3).*

Конструкция двигателя позволяет расчленить её на самостоятельные узлы с целью обеспечения возможности их параллельной сборки, автономного контроля, испытания, замены: статор (поз. 1), ротор (поз. 2), коробка выводов (поз. 3), кожух (поз. 4). При этом каждый из узлов содержит не более 12 составных частей.

Из стандартных составных частей в двигателе только метизы (болты, винты, шайбы, заклёпки) и подшипники. В случае выпуска серии могут быть унифицированы подшипниковые щиты, крышка коробки выводов, кожух.

В конструкции двигателя исключена необходимость проведения промежуточной разборки и повторной сборки его составных частей.

Конструкция двигателя позволяет выполнить общую сборку по методу полной взаимозаменяемости.

Конструкция двигателя обеспечивает свободный доступ сборочных инструментов к соответствующим местам соединения деталей.

Конструкция двигателя позволяет выполнить сборку вдоль главной оси симметрии и сверху.

Плоскости разъёмов подшипниковых щитов со станиной двигателя расположены перпендикулярно к главной базовой оси симметрии, что упрощает ориентирование при сборке.

В конструкции двигателя есть базовая деталь (станина), являющаяся основой для установки остальных составных частей. Для обеспечения устойчивости и необходимой точности установки станина наибольшая по габаритам деталь, не деформирующаяся под действием сборочных усилий, имеет развитые базовые опорные поверхности и позволяет проводить сборку в основном без изменения её положения.

Для разборки двигателя при его обслуживании и ремонте предусмотрены в зоне болтов, крепящих подшипниковые щиты к станине, зазоры, позволяющие отжать щит с помощью отвертки или монтажки.

Применение резьбовых соединений для фиксации щитов на станине снижает технологичность конструкции, но обеспечивает возможность разборки двигателя, например, для ремонта.

В двигателе не технологично крепление вентилятора пластиной поз. 9, так как все переходы можно выполнить только вручную.

Пример 6. *Оценить технологичность конструкции ротора асинхронного двигателя (Приложения 4,5,6).*

Ротор асинхронного двигателя – сборочная единица, состоящая из небольшого числа составных частей: сборочная единица ротор без вала поз. 1, деталь вал поз. 2 и может быть несколько (по надобности) деталей шайб балансировочных поз. 3.

Для сборки ротора применены технологичные виды соединений. Неподвижность ротора без вала на валу обеспечивает прессовая посадка. Балансировочная шайба фиксируется на бонке между вентиляционными лопатками расклёпыванием бонки.

Конструкция ротора обеспечивает свободный доступ рабочих органов оборудования и сборочных инструментов к соответствующим местам соединения деталей.

При сборке ротора предусмотрена дополнительная механическая обработка. Внутреннее отверстие ротора без вала калибруют прошивкой или протяжкой, так как его ось не прямолинейна из-за разнотолщинности электротехнической стали. Шейки вала под подшипники, под вентилятор и выходной конец вала шлифуют после сборки ротора, так как вал деформируется при сборке. Всё это снижает технологичность конструкции ротора, но позволяет обеспечить равномерность воздушного зазора при сборке двигателя.

Пример 7. *Оценить технологичность конструкции контактора постоянного тока типа КПВ605 для экскаватора (Приложения 7,9,10).*

Конструкция контактора позволяет расчленить её на функциональные узлы с целью обеспечения возможности их параллельной сборки, автономного контроля, испытания и замены: катушка (поз. 5), узел контакта (поз. 1), контакт подвижный (поз. 2), якорь (поз. 3), прижим

(поз.4). При этом каждый из узлов содержит не более 8 составных частей.

Из стандартных составных частей в контакторе только метизы (болты, винты, шайбы). Для серийного производства унифицированы узлы для климатических исполнений: элементы магнитопровода, катушка, узел контактов, пружины, а также их антикоррозионные покрытия. Для модификаций контакторов по напряжению унифицированы все узлы и детали за исключением обмоточных параметров катушки.

В конструкции контактора исключена необходимость проведения промежуточной разборки и повторной сборки его составных частей.

Конструкция контактора позволяет выполнить общую сборку по методу полной взаимозаменяемости.

Конструкция контактора обеспечивает свободный доступ сборочных инструментов к соответствующим местам соединения деталей.

Конструкция контактора позволяет выполнить сборку вдоль главной оси симметрии и сверху.

В конструкции контактора есть базовая деталь (скоба), являющаяся основой для установки остальных составных частей. Для обеспечения устойчивости и необходимой точности установки скоба наибольшая по габаритам деталь, не деформирующаяся под действием сборочных усилий, имеет развитые базовые опорные поверхности и позволяет проводить сборку в основном без изменения её положения.

Применение гаек, болтов и винтов для крепления и фиксации узлов, деталей и токопроводящих шин на скобе обеспечивает возможность разборки контактора с целью подключения, настройки и ремонта.

Пример 8. *Оценить технологичность конструкции сердечника с катушкой тормозной муфты механизма подъема крана (Приложения 11,12,13).*

Сердечник с катушкой растормаживающего электромагнита постоянного тока – сборочная единица, состоящая из небольшого числа составных частей. Сборочные единицы: катушка поз. 1, детали: два вида изолирующих трубок для выводов электромагнита поз. 2, 3, скоба поз. 4 для крепления выводов, сердечник поз. 6, наконечники кабельные поз. 5.

При сборке сердечника с катушкой используется относительно простое оборудование: после размещения катушки в сердечнике кабельные наконечники обжимают и пропаивают, сушка компаунда осуществляется в термостате при определенной температуре. Так как время сушки компаунда превышает 2 часа, поэтому в термостат помещают специальный контейнер с 6 – 20 сердечниками залитыми компаундом.

Таким образом снижается время на каждое изделие и сборка оказывается более технологичной..

Конструкция сердечника с катушками обеспечивает удобный доступ рабочих органов оборудования к соответствующим деталям и узлам в процессе сборки, поэтому данную конструкцию можно считать технологичной.

При сборке сердечника с катушкой предусмотрена дополнительная механическая обработка. Полюса сердечника шлифуют после сборки, так как электромагниты постоянного тока с форсировкой чувствительны к величине остаточного воздушного зазора после срабатывания. Кроме того, добавляется дополнительная операция контроля качества механической обработки. Всё это снижает технологичность конструкции сердечника с катушкой, но позволяет обеспечить стабильность тяговых характеристик электромагнита, а значит повышает качество и надежность всего устройства.

Рекомендуемая литература: [1, с. 23–25], [10, с. 24–67], [16, с. 456–464], [32, с. 532–535], [33, с. 23–26], [43, с. 12–17, 79–87, 575–582, 588–593, 595–599, 614–618, 621–625, 630–639, 644–647, 672–676, 683–691].

Контрольные вопросы:

1. Дать определение технологичности конструкции изделий.
2. Основные требования технологичности конструкции соединений: сварных, паяных, клееных, клёпанных, резьбовых.
3. Требования к технологичности конструкции сборочных единиц.

3. Размерный анализ конструкций электрических машин и аппаратов

Изыскание наиболее рационального метода достижения требуемой точности изделия или его составных частей, изучение взаимосвязи его сборочных единиц, разработка последовательности их комплектации – таковы основные задачи размерного анализа, базирующегося на теории и практике решения размерных цепей.

Размерной цепью называют совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное положение поверхностей (или осей поверхностей) одной или нескольких деталей. Замкнутость размерной цепи приводит к тому, что размеры, входящие в размерную цепь, не могут назначаться независимо, т.е. значение и точность, по крайней мере, одного из размеров определяются остальными.

Каждый из размеров, образующих размерную цепь, называют звеном. Любая размерная цепь имеет одно замыкающее звено и одно или

несколько составляющих. Замыкающим звеном размерной цепи называют звено исходное при постановке задачи расчета размерной цепи или полученное в результате ее решения.

Составляющими называются все остальные звенья, с изменением которых изменяется и замыкающее звено. В качестве составляющих звеньев размерной цепи могут быть приняты: расстояния между поверхностями или их осями деталей, образующих замыкающее звено; расстояния между поверхностями вспомогательных и основных баз деталей.

Составляющие звенья могут быть увеличивающими или уменьшающими. Увеличивающим называют звено, при увеличении которого (при прочих постоянных) замыкающее звено увеличивается, а уменьшающим – звено, при увеличении которого замыкающее звено уменьшается.

Звенья размерных цепей обозначают буквами латинского алфавита. Для упрощения решения размерных цепей, особенно многозвенных, последние изображают в виде размерных схем. На схеме звенья изображают в виде векторов. Замыкающее звено часто обозначают в квадратных скобках, а его вектор направляют, например, влево. Все векторы уменьшающих звеньев будут направлены, как и замыкающее звено, а векторы увеличивающих звеньев в противоположную сторону.

На рис.1а представлено сечение элементарной сборочной единицы: шпонка шириной $A1$ установлена в шпоночный паз шириной $A2$. Между шпонкой и стенкой паза зазор $X1$. Если зазор увеличить, то шпонка, особенно при переменной нагрузке, будет изменять своё положение в пазу, деформироваться, деформировать сопрягаемые поверхности и соединение быстро выйдет из строя. Если зазор уменьшить, то появятся проблемы с монтажом шпонки. Следовательно, есть зазор, который удовлетворит эксплуатацию и производство. Зная номинальный размер зазора и его допуски, можно определить размеры и точность шпонки и паза. Значит $X1$ – замыкающее звено, а $A1$ и $A2$ составляющие.

Схема такой сборочной размерной цепи представлена на рис.1б. Можно установить, что $A1$ – уменьшающее звено, а $A2$ – увеличивающее. Размерная цепь описывается двумя уравнениями (рис. 1в): в номиналах и в допусках. Уравнение в номиналах: замыкающее звено равно сумме увеличивающих звеньев минус сумма уменьшающих. Уравнение в допусках: допуск замыкающего звена равен сумме допусков всех составляющих.

При размерном анализе обычно решаются две задачи: прямая и обратная.

При решении прямой задачи по заданному номинальному размеру и допуску исходного (замыкающего) звена определяют номинальные размеры, допуски и предельные отклонения всех составляющих звеньев размерной цепи.

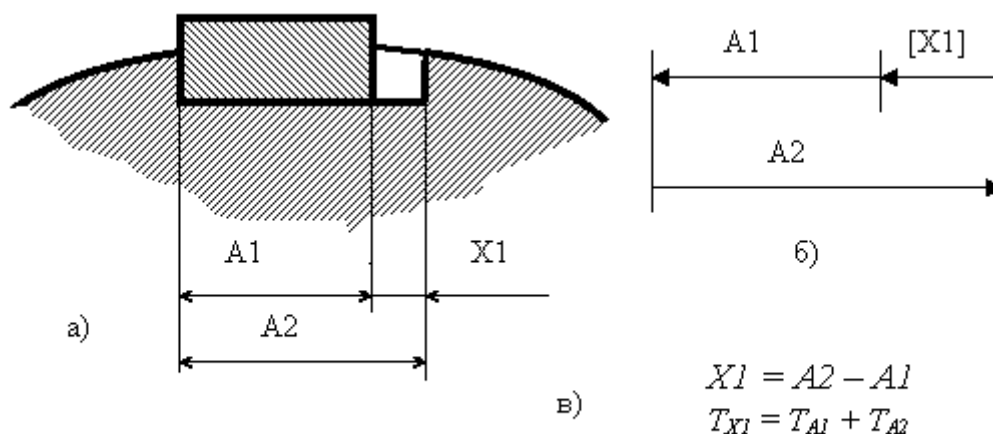


Рис. 1

При решении обратной задачи по установленным номинальным размерам, допускам и предельным отклонениям составляющих звеньев, определяют номинальный размер, допуск и предельные отклонения замыкающего звена.

Решение той или иной задачи расчета размерных цепей при разработке технологического процесса сборки выполняется с целью определения базовых размеров на деталях, выявления не указанных на чертежах зазоров в многосвязных цепях, проверки возможности сборки и отсутствия задеваний вращающихся и неподвижных элементов, снижения точности задания размеров составных частей, определения размеров компенсирующего звена и пр..

В курсовой работе размерный анализ преследует следующие цели: если отсутствуют чертежи составных частей машины, определить базовые размеры составных частей, их допуски и предельные отклонения, проставить полученные значения на эскизах составных частей и убедиться, что установленные значения размеров удовлетворяют требованиям, предъявляемым к замыкающим звеньям; если есть рабочие чертежи составных частей машины, проверить обеспечивают ли размеры, указанные на чертежах, технические требования, предъявленные к замыкающим звеньям, и есть ли возможность уменьшить точность обработки этих размеров.

Рекомендуется следующий порядок размерного анализа конструкций электрических машин и аппаратов.

3.1.Выявление замыкающих звеньев. Для выявления замыкающих звеньев и составления размерных цепей вычерчивается масштабный конструктивный эскиз машины или аппарата (*Приложения 14, 16*), на котором изображаются только контуры деталей и узлов. На эскиз наносятся осевые размеры замыкающих и составляющих звеньев машины, необходимые для расчета. При этом все размеры, относящиеся к деталям и сборочным единицам, которые не вращаются, даются в верхней части от осевой линии, а размеры вращающихся элементов – в нижней части. Соблюдение этого правила упрощает анализ.

В качестве замыкающих звеньев в электрической машине могут быть гарантированный зазор между торцом подшипника и упором в подшипниковом щите или крышке подшипника, обеспечивающий возможность сборки машины и её надёжность при удлинении ротора в результате нагрева; зазор между крайними точками с торцов якоря или ротора и ближайшими к ним элементами подшипниковых узлов; зазор между элементами вентилятора (если таковой есть) и ближайшими к нему элементами подшипникового щита, диффузора или кожуха; зазор между лобовой частью обмотки статора или полюсной катушки и конструктивными элементами подшипникового щита, исключающий электрический пробой на корпусные детали; величина сдвига поперечных плоскостей, проходящих через середины сердечников ротора (якоря) и статора (полюса), наличие которого приводит к появлению дополнительных осевых сил, действующих на подшипники; величина сдвига щеток от номинального положения их вдоль оси машины на коллекторе или контактных кольцах; установочно-присоединительные и габаритные размеры (размеры заказчика), определяющие положение выходного конца вала относительно отверстий в лапах или опорной поверхности крепительного фланца и т.д.

Особенностью конструкций электрических аппаратов является то, что они, в основном, более простые с точки зрения механики, нет таких жестких требований к функциональным и установочным поверхностям как у электрических машин. А целый класс статических устройств, таких как электронные аппараты, дроссели, резисторы и пр. не имеет специальных требований к механической обработке. Производство электрических аппаратов, как правило, является массовым либо крупносерийным. Для такой организации производства характерно осуществление принципа полной взаимозаменяемости деталей и узлов устройства.

В общем случае анализ размерных цепей электрических аппаратов (также как и электрических машин) проводится с целью решить проектную задачу [16]: по заданным параметрам замыкающего звена определяются параметры составляющих звеньев. Практически при этом по из-

вестным предельным отклонениям и допуску замыкающего звена, называемом в этом случае исходным, рассчитываются допуски и предельные отклонения размеров составляющих звеньев.

В качестве замыкающих звеньев электрических аппаратов могут быть воздушные зазоры между якорем и сердечником, регламентированные расстояния между обмоткой и корпусом, воздушный зазор между высоковольтными силовыми контактами и т.д. (*Приложения 9, 13, 16, 17*). Затем строятся схемы размерных цепей по методике, указанной выше. Таким образом, выявленные исходные (замыкающие) звенья, схемы размерных связей позволяют:

а) правильно разобраться во взаимосвязях деталей, составляющих аппарат и его сборочные единицы;

б) вскрыть заложенные в конструкции методы достижения требуемой точности с помощью каждой из размерных цепей;

в) проанализировать правильность простановки размеров и допусков на чертежах деталей аппарата, внести, если надо, в чертежи поправки;

г) правильно наметить последовательность сборки аппарата и его сборочных единиц.

Пример 9. *Выявить замыкающие звенья в конструкции асинхронного двигателя (Приложение 3).*

Для выявления замыкающих звеньев и выполнения размерного анализа асинхронного двигателя необходимо составить схему конструкции, выделяя размеры малой величины, чтобы можно было разобраться и обозначить (*Приложение 14*). Обозначим замыкающие звенья.

X1 – зазор между выточкой в подшипниковом щите и пружинным кольцом, отжимающим ротор к противоположному подшипниковому щиту, обеспечивающий возможность сборки двигателя и температурную компенсацию при эксплуатации. Если величину этого зазора уменьшить, то за счет определённого сочетания допусков составляющих звеньев подшипники будут зажаты при монтаже подшипниковых щитов и быстро выйдут из строя. Подшипники могут быть зажаты и при эксплуатации за счёт разных температурных расширений, если ротор с валом будут нагреваться больше, чем статор со станиной.

X2 – расстояние между уступом на валу, в который будет упираться муфта при монтаже на объекте, и осью ближайшего монтажного отверстия в лапе станины (размер заказчика). Обеспечить обязательно, иначе придёт рекламация. Кстати, размеры 80 и 140 тоже размеры заказчика, но они не зависят от сборки, а выполнены при изготовлении вала и станины. И, если эти размеры не соответствуют требованиям, то вал и станина не должны попасть на сборку.

Х3 – в данном случае это величина, на которую в идеальном случае сердечник ротора длиннее сердечника статора с каждой из сторон. Практически сердечники, как правило, сдвинуты друг относительно друг. В результате сдвига искажается магнитное поле в воздушном зазоре и появляется сила направленная вдоль оси вала, которая нагружает дополнительно подшипники и уменьшает их срок службы. Следовательно, задавая значение Х3, мы ограничим величину смещения сердечников.

Х4 – зазор между вентилятором и кожухом, исключаяющий вероятность задевания вентилятора за кожух.

Х5 – минимальный зазор между лобовой частью обмотки статора и подшипниковым щитом, исключаящий пробой обмотки на корпус при возникновении волновых перенапряжений в сети и в обмотке.

Х6 – габаритный размер (размер заказчика), результат сборки.

Х7 – расстояние между уступом на валу, в который будет упираться муфта при монтаже на объекте, и подшипниковым щитом. Если это размер не выдержан, то муфта будет упираться в щит и тормозить ротор.

Х8 – минимальное расстояние от вентилятора до подшипникового щита.

Х9, Х10 – расстояния от вентиляционных лопаток на роторе до подшипника и ступицы подшипникового щита. В основном определяют эффективность перемещения воздуха, охлаждающего лобовые части обмотки статора.

3.2. Построение схем размерных цепей. Построение схем размерных цепей начинают от одной из поверхностей (осей), ограничивающих замыкающее звено, устанавливая составляющие звенья размерной цепи, участвующие в решении поставленной задачи, и доходят до второй поверхности (оси), ограничивающей замыкающее звено.

При составлении схемы размерной цепи величины составляющих звеньев необходимо брать из чертежей (если таковые есть) деталей и сборочных единиц, входящих в состав машины или аппарата. Если чертежей составных частей нет, то необходимо набросать эскизы составных частей и проставить на них размеры, как на чертежах (учесть опыт, полученный на производственных практиках и при выполнении курсовых проектов по дисциплинам «Электрические машины», «Проектирование электрических машин», «Электрические и электронные аппараты», «Основы теории электрических аппаратов» и использовать их для составления размерных цепей. Номинальные значения составляющих звеньев замерить на сборочном чертеже, учитывая масштаб изображения.

Пример 10. Составить для асинхронного двигателя (Приложение 3) с учётом схемы конструкции для размерного анализа (Приложение 14) размерные цепи для замыкающих звеньев $X1$, $X2$, $X3$.

Построение размерной цепи для замыкающего звена $X1$ (см. Приложения 14 и 15А). Направляем вектор $X1$ влево (можно в любую сторону). Слева зазор $X1$ ограничен торцевой поверхностью отверстия под подшипник в ступице подшипникового щита, а справа стороной пружинного кольца. Пружинное кольцо толщиной $A1$ в свою очередь упирается в наружную обойму подшипника. Если размер $A1$ зафиксировать в зоне контакта с обоймой подшипника и увеличивать в сторону зазора, то зазор $X1$ (замыкающее звено) будет уменьшаться. Следовательно, размер $A1$ уменьшающее составляющее звено, его вектор имеет то же направление, что и замыкающее звено и примыкает к замыкающему звену справа.

Как отмечено выше, справа к пружинному кольцу примыкает неподвижная (наружная) обойма шарикоподшипника. В шарикоподшипниках очень мал рабочий зазор между телами качения. Считается, что торцовые плоскости наружной и внутренней обойм совпадают. Можно полагать, что справа к пружинному кольцу примыкает подвижная (внутренняя) обойма шарикоподшипника с осевым размером $A2$, которая в свою очередь упирается в ступень вала с размером $A3$. Таким образом осуществлён переход от неподвижных элементов машины к вращающемуся.

Если размер $A2$ зафиксировать справа и увеличивать его влево, то он будет влево перемещать размер $A1$, который упираясь в замыкающее звено $X1$ будет его уменьшать. Следовательно, звено $A2$ тоже уменьшающее, имеет направление замыкающего звена и справа примыкает к звену $A1$.

Так же можно показать, что размеры $A3$ и $A4$ уменьшающие со всеми отсюда вытекающими последствиями. $A4$ – осевой размер шарикоподшипника, внутренняя обойма которого прилегает к торцу ступени $A3$. Как и ранее, можно перейти от внутренней (вращающейся) ступени к наружной (неподвижной), прилегающей справа к торцевой поверхности отверстия под подшипник в ступице подшипникового щита.

Размер $A5$ определяет положение торца отверстия в ступице подшипникового щита относительно торца замка подшипникового щита и прилегает справа к $A4$, а слева к замковой поверхности станины. Если размер $A5$ зафиксировать слева и увеличивать вправо, то он потянет за собой неизменные размеры $A4$, $A3$, $A2$, $A1$ и $X1$ будет увеличиваться. Следовательно, $A5$ увеличивающий размер и будет иметь направление противоположное направлению замыкающего звена.

К размеру А5 слева примыкает размер А6 (расстояние между замками станины), а к последнему – размер А7 (расстояние от замка подшипникового щита до торца отверстия под подшипник в ступице). Размер А7 примыкает к левой стороне замыкающего звена Х1, тем самым замыкая размерную цепь.

Построение размерной цепи для замыкающего звена Х2 (*Приложение 15Б*) выполняется, как для Х1. Вектор Х2 направим влево. Слева к Х2 прилегает размер В1 (расстояние от упора на валу, в который будет упираться муфта, до упора, в который упирается подшипник). Этот размер обычно есть на чертеже вала или ротора. Если В1 зафиксировать справа и увеличивать влево, то замыкающее звено Х2 будет увеличиваться. Следовательно В1 по отношению к Х2 увеличивающее звено и будет направлено встречно направлению Х2. По той же причине А3 и А4 в данной цепи увеличивающие звенья, а звенья А5 и А6 – уменьшающие. Размер В2 (расстояние от торца замковой поверхности станины до оси отверстия в лапе станины – обычно указан на чертеже станины или статора) – увеличивающее звено, примыкающее к правой стороне Х2 и замыкающее размерную цепь.

Построение размерной цепи для замыкающего звена Х3 (*Приложение 15В*). Замыкающее звено Х3 ограничено слева торцом сердечника ротора, напрессованным на вал, а справа торцом сердечника статора, запрессованным в станину. Слева к замыкающему звену Х3 примыкает размер С1, проставленный на чертеже ротора и определяющий положение сердечника ротора на валу. Звено С1 уменьшающее и направлено согласно с замыкающим звеном. За С1 следуют увеличивающие составляющие звенья А3 и А4, уменьшающие А5 и А6 и увеличивающее С2, которое замыкает размерную цепь примыкая справа к замыкающему звену.

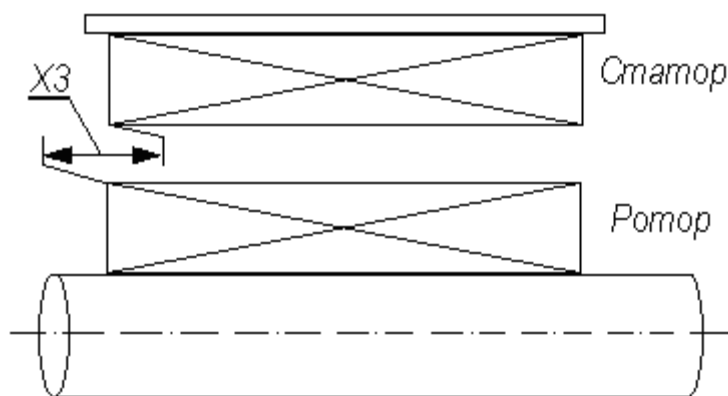


Рис. 2.

С2 – размер, определяющий положение сердечника статора от торца замковой поверхности после запрессовки в станину.

Замечание. В практике возможен случай, когда сердечники статора и ротора равны. Тогда

номинальное значение замыкающего звена равно нулю и не ясно, как задать ему направление. Можно применить искусственный приём: сто-

роны, ограничивающие замыкающее звено разнести, как показано на рис 2. Теперь ясно видно, что левую сторону замыкающего звена ограничивает торец сердечника ротора, а правую – торец сердечника статора и можно задать направление вектора замыкающего звена при построении схемы размерной цепи.

3.3. Составление основных уравнений размерных цепей. Уравнения размерных цепей упоминали выше и привели пример для элементарной размерной цепи на рис. 1. Для общего случая уравнения размерных цепей имеют вид:

уравнение в номиналах

$$X = \sum_{i=1}^m A_{ув_i} - \sum_{k=1}^n A_{ум_k}, \quad (1)$$

где: X – замыкающее звено размерной цепи;

$A_{ув_i}$ – увеличивающие звенья размерной цепи;

$A_{ум_k}$ – уменьшающие звенья размерной цепи;

m – число увеличивающих звеньев;

n – число уменьшающих звеньев;

уравнение в допусках

$$T_X = \sum_{j=1}^{m+n} T_{A_j} \quad (2)$$

где: T_X – допуск замыкающего звена;

T_{A_j} – допуски составляющих звеньев.

Уравнения 1 и 2 являются основой для размерного анализа конструкции изделия.

Пример 11. Записать уравнения для размерных цепей с замыкающими звеньями X , X_2 , X_3 , представленных в Приложении 15.

Для замыкающего звена X_1

$$X_1 = (A_5 + A_6 + A_7) - (A_1 + A_2 + A_3 + A_4),$$

$$T_{X_1} = T_{A_1} + T_{A_2} + T_{A_3} + T_{A_4} + T_{A_5} + T_{A_6} + T_{A_7}.$$

Для замыкающего звена X_2

$$X_2 = (B_1 + B_2 + A_3 + A_4) - (A_5 + A_6),$$

$$T_{X_2} = T_{B_1} + T_{B_2} + T_{A_3} + T_{A_4} + T_{A_5} + T_{A_6}.$$

Для замыкающего звена X_3

$$X_3 = (C_2 + A_3 + A_4) - (C_1 + A_5 + A_6),$$

$$T_{X_3} = T_{C_1} + T_{C_2} + T_{A_3} + T_{A_4} + T_{A_5} + T_{A_6}.$$

3.4. Расчёт размерных цепей. В зависимости от поставленной задачи и производственных условий технологические размерные цепи рассчитываются следующими методами: на максимум и минимум (метод полной взаимозаменяемости); вероятностным методом (метод огра-

ниченной взаимозаменяемости); методом групповой взаимозаменяемости (при селективной сборке); метод регулирования; метод пригонки.

При выборе метода достижения точности замыкающего звена необходимо учитывать функциональное назначение изделий по конструктивным и технологическим особенностям, стоимость изготовления и сборки, тип производства и другие факторы.

Заданная точность замыкающего звена должна достигаться с наименьшими технологическими и производственными затратами. При прочих равных условиях рекомендуется выбирать в первую очередь такие методы достижения точности, при которых сборка производится без подбора, пригонки и регулирования, т.е. методы полной и ограниченной взаимозаменяемости.

Сущность метода полной взаимозаменяемости состоит в том, что точность замыкающего звена обеспечивается у всех без исключения изделий, без какого-либо подбора звеньев или их пригонки. При этом допуски составляющих звеньев рассчитываются по методу максимума – минимума, при котором учитываются только предельные отклонения составляющих звеньев.

Преимущества метода полной взаимозаменяемости: использование его при сборке превращает её в простое соединение деталей; простота нормирования процесса сборки; возможность автоматизации сборочных процессов (отсутствуют операции пригонки); возможность кооперирования и специализации участков, цехов, предприятий.

При размерном анализе конструкции машины или аппарата в курсовой работе необходимо решить прямую задачу, установив допуски и предельные отклонения всех составляющих звеньев по параметрам замыкающего звена. Прямая задача может быть решена двумя способами: способ пробных расчётов и способ с использованием регулировочного звена.

Способ пробных расчётов включает этапы: назначение допусков на составляющие звенья; определение допуска замыкающего звена (обратная задача); сравнение расчётного допуска замыкающего звена с исходным; если значения не совпадают с определённой точностью, корректировка допусков составляющих звеньев; повторный расчёт допуска замыкающего звена и так до получения определённого совпадения заданного и расчётного значений.

Способ расчётов с регулирующим звеном отличается тем, что корректируются допуски не всех составляющих звеньев, а одного, которое и называется регулирующим. В качестве регулирующего звена может быть принято любое составляющее звено размерной цепи, но удобно

принимать звено, точная обработка и измерение которого не вызывает затруднений, а размер относительно велик.

Допуски на составляющие звенья можно назначить следующим образом.

Если есть представление о точности составляющего звена и методе обработки его поверхностей, то допуски назначают, исходя из средней экономической точности [7, табл. 2.66], [38, с. 8–15, табл. 4, 5]. В противном случае можно исходить из среднего размера и среднего допуска.

Средний размер составляющего звена при расчёте методом полной взаимозаменяемости определить по формуле

$$A_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{m+n-q} A_i}{m+n-q}, \quad (3)$$

где A_i – составляющие звенья размерной цепи;

q – число составляющих звеньев, для которых допуски известны. Это могут быть стандартные изделия (например, подшипники), для которых допуски можно найти в справочниках, или унифицированные, для которых допуск можно взять из чертежа.

Средний допуск для среднего составляющего звена можно определить по формуле

$$T_{cp} = \frac{T_X - \sum_{i=1}^q T_i}{m+n-q} \quad (4)$$

где T_X – указанный в задании допуск замыкающего звена;

T_i – известные допуски составляющих звеньев размерной цепи, число которых равно q .

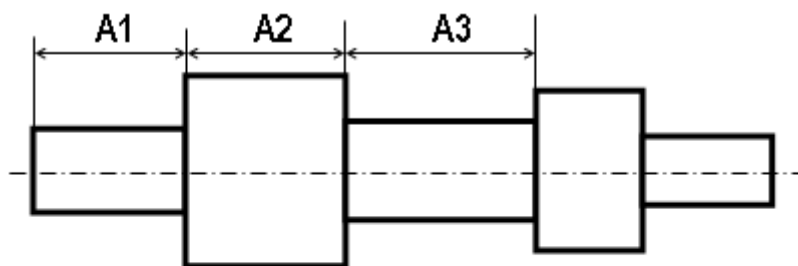


Рис.3. Категории размеров:

A_1 - ступенчатый (уступ), A_2 - охватываемый (вал),
 A_3 - охватывающий (отверстие)

По A_{cp} и T_{cp} из [7, табл. 1.8] определить квалитет. По установленному квалитету из [7, табл. 1.8] определить допуски на размеры составляющих звеньев.

Устанавливая допуски на размеры составляющих звеньев, одновременно необходимо определить предельные отклонения в зависимости от категории размера (рис.3). Для охватывающих размеров допуск ставится в плюс, например

$\varnothing 55H7\begin{pmatrix} +0,03 \\ 0 \end{pmatrix}$), для охватываемых – в минус $\varnothing 55h7\begin{pmatrix} 0 \\ -0,03 \end{pmatrix}$), для ступенчатых – $\pm$ половина допуска $\varnothing 55j_s\begin{pmatrix} +0,015 \\ -0,015 \end{pmatrix}$.

По установленным на составляющие звенья допускам, рассчитать допуск замыкающего звена по формуле

$$T_{Xp} = \sum_{j=1}^{m+n} T_{Aj} \quad (5)$$

где: T_{Xp} – расчётное значение допуска замыкающего звена;

T_{Aj} – допуски составляющих звеньев.

Полученное расчётное значение допуска замыкающего звена T_{Xp} сравнить с заданным значением T_X . Если T_{Xp} не равно T_X , необходимо сменить допуски составляющих звеньев либо регулирующего звена (в зависимости от принятого способа решения задачи) и повторить расчеты, пока T_{Xp} не станет равным T_X . Следует отметить, что, в порядке исключения, допуск на размер одного из составляющих звеньев может быть установлен не стандартный.

После установления величин допусков составляющих звеньев, необходимо уточнить их предельные отклонения. Для этого необходимо составить и решить уравнение размерной цепи в средних отклонениях. Среднее отклонение размера определяется выражением

$$E_{cp} = \frac{ES + EI}{2} \quad (6)$$

где: E_{cp} – среднее отклонение размера;

ES – верхнее предельное отклонение размера;

EI – нижнее предельное отклонение размера.

Уравнение в средних отклонениях имеет вид

$$E_{cpX} = \sum_{i=1}^m E_{cpAyvi} - \sum_{k=1}^n E_{cpAyvk} \quad (7)$$

Решив это уравнение, получим расчётное значение среднего отклонения замыкающего звена E_{cpXp} , а через него верхнее предельное расчётное отклонение размера замыкающего звена

$$ES_{Xp} = E_{cpXp} + \frac{T_{Xp}}{2} \quad (8)$$

и его нижнее предельное расчётное отклонение

$$EI_{Xp} = E_{cpXp} - \frac{T_{Xp}}{2} \quad (9)$$

Если полученные значения предельных отклонений ES_{Xp} и EI_{Xp} равны заданным предельным отклонениям допуска T_X то расчёт закончен. Если предельные отклонения ES_{Xp} и EI_{Xp} отличаются от заданных значений, то для размеров всех составляющих звеньев или регулирующего звена не меняя допусков изменить предельные отклонения, вы-

бирая стандартные из [7, табл. 1.9 – 1.12], и повторить расчёты, пока значения ES_{X_p} и EI_{X_p} не станут равны исходным данным. Следует отметить, что, в порядке исключения, предельные отклонения на размер одного из составляющих звеньев могут быть установлены не стандартные.

Пример 12. Решить размерную цепь (Приложение 15В) методом полной взаимозаменяемости, определив допуски и основные предельные отклонения для составляющих звеньев. Исходные данные в Приложении 1.

Исходные данные: параметры замыкающего звена $X_3=1\pm 1$ мм, $ES_{X_3}=1$ мм, $EI_{X_3}=-1$ мм, $T_{X_3}=ES_{X_3}-EI_{X_3}=1-(-1)=2$ мм.

Основные уравнения размерной цепи (см. пример 11)

$$\begin{aligned} X_3 &= (C_2 + A_3 + A_4) - (C_1 + A_5 + A_6), \\ T_{X_3} &= T_{C_1} + T_{C_2} + T_{A_3} + T_{A_4} + T_{A_5} + T_{A_6}. \end{aligned}$$

Дополнительные данные: осевая длина подшипников (Приложение 14) $A_4=21$ мм (размер подшипника 180307 (см. спецификацию, Приложение 2) из справочника по подшипникам), допуск $T_{A_4}=0,12$ мм, основные отклонения: $ES_{A_4}=0$, $EI_{A_4}=-0,12$ мм [8, табл. 4.82]; номинальные размеры остальных составляющих звеньев из сборочного чертежа с учётом масштаба изображения: $C_1=48$ мм, $C_2=53$ мм, $A_3=200$ мм, $A_5=19$ мм, $A_6=206$ мм.

Решать размерную цепь будем способом с использованием регулировочного звена. В качестве регулировочного выбираем наибольшее составляющее звено $A_6=206$ мм.

Подставим полученные размеры в уравнение в номиналах и проверим правильность измерений

$$X_3 = (53+200+21)-(48+19+206) = 1.$$

Номинальное значение замыкающего звена обеспечивается.

Определим средний размер составляющего звена по формуле (3) с учётом, что $m=3$, $n=3$, $q=1$

$$A_{cp} = \frac{C_1 + C_2 + A_3 + A_5 + A_6}{m + n - q} = \frac{48 + 53 + 200 + 19 + 206}{3 + 3 - 1} = 105,2 \text{ мм.}$$

Определим средний допуск для среднего составляющего звена по формуле (4)

$$T_{cp} = \frac{T_X - T_{A_4}}{m + n - q} = \frac{2 - 0,12}{3 + 3 - 1} = 0,376 \text{ мм.}$$

Из [7, табл. 1.8] следует, что точность размера $A_{cp}=105,2$ мм при допуске $T_{cp}=0,376$ мм соответствует 12 качеству. По 12 качеству назначим допуски из [7, табл. 1.8] для всех составляющих звеньев, кроме A_4 , и для удобства занесём всю информацию по составляющим звеньям в табл. 1.

Таблица 1

Составляющее звено	Номинальный размер (мм)	Вид звена	Категория размера	Допуск предварительно (мм)	Допуск откорректированный (мм)
C1	48	уменьшающее	уступ	0,25	0,25
C2	53	увеличивающее	уступ	0,3	0,3
A3	200	увеличивающее	вал	0,46	0,46
A4	21	увеличивающее	вал	0,12	0,12
A5	19	уменьшающее	уступ	0,21	0,21
A6	206	уменьшающее	вал	0,46	0,66

По формуле (2) определим расчётное значение допуска замыкающего звена в зависимости от назначенных допусков составляющих звеньев

$$T_{X3p} = T_{C1} + T_{C2} + T_{A3} + T_{A4} + T_{A5} + T_{A6} = 0,25 + 0,3 + 0,46 + 0,12 + 0,21 + 0,46 = 1,8 \text{ мм}$$

Расчетный допуск замыкающего звена меньше исходного. Поэтому меняем допуск регулировочного составляющее звено $A6 = 206$ мм в сторону увеличения. Но подходящего стандартного значения допуска в [7, табл. 1.8] нет. Поэтому устанавливаем для $A6$ не стандартный допуск $T_{A6} = 0,66$ мм, что для одного звена допускается, и повторяем расчёт.

$$T_{X3p} = T_{C1} + T_{C2} + T_{A3} + T_{A4} + T_{A5} + T_{A6} = 0,25 + 0,3 + 0,46 + 0,12 + 0,21 + 0,66 = 2 \text{ мм}$$

Полученное значение расчётного допуска замыкающего звена равно исходному значению. Запишем размеры составляющих звеньев с установленными допусками, учитывая категорию размеров (см. рис. 3): $C1=48\pm0,125$, $C2=53\pm0,15$, $A3=200_{-0,46}$, $A4=21_{-0,12}$, $A5=19\pm0,105$, $A6=206_{-0,66}$.

Необходимо проверить обеспечат ли установленные предельные отклонения составляющих звеньев заданные предельные отклонения замыкающего звена.

Для этого по формуле (6) определим средние отклонения размеров составляющих звеньев: $E_{cpC1} = 0$, $E_{cpC2} = 0$, $E_{cpA3} = -0,23$, $E_{cpA4} = -0,06$, $E_{cpA5} = 0$, $E_{cpA6} = -0,33$.

Запишем для размерной цепи уравнение в средних отклонениях по форме (7) и, решив его, определим расчетное значение среднего отклонения размера замыкающего звена E_{cpXp} .

$$\begin{aligned} E_{cpXp} &= E_{cpC2} + E_{cpA3} + E_{cpA4} - E_{cpC1} - E_{cpA5} - E_{cpA6} = \\ &= 0 + (-0,23) + (-0,06) - 0 - 0 - (-0,33) = 0,04 \end{aligned}$$

По формулам (8) и (9) определим расчётные верхнее и нижнее предельные отклонения размера замыкающего звена:

$$ES_{Xp} = E_{cpXp} + \frac{T_{Xp}}{2} = 0,04 + \frac{2}{2} = 1,04; \quad EI_{Xp} = E_{cpXp} - \frac{T_{Xp}}{2} = 0,04 - \frac{2}{2} = -0,96.$$

вочного звена. Пусть $A6 = 206^{+0,04}_{-0,62}$, тогда $E_{cpA6} = \frac{0,04 + (-0,62)}{2} = -0,29$ и

$$E_{cpXp} = 0 + (-0,23) + (-0,06) - 0 - 0 - (-0,29) = 0.$$

Для регулировочного звена установлены не стандартные значения предельных отклонений (в справочнике нет приемлемых значений), но это допускается для одного из составляющих звеньев.

В этом случае расчётные верхнее и нижнее предельные отклонения размера замыкающего звена удовлетворяют заданию:

$$ES_{Xp} = E_{cpXp} + \frac{T_{Xp}}{2} = 0 + \frac{2}{2} = 1; EI_{Xp} = E_{cpXp} - \frac{T_{Xp}}{2} = 0 - \frac{2}{2} = -1.$$

Пример 13. Решить размерную цепь (Приложение 16а) втягивающего реле постоянного тока стартера автомобиля определив допуски и основные предельные отклонения для составляющих звеньев.

Замыкающим (исходным) звеном данного устройства является воздушный зазор XI между якорем и магнитопроводом (стопом). Величина зазора влияет на величину тягового усилия и быстродействие втягивающего реле. При проектировании было заложено, что величина воздушного зазора равна $XI = 10 \pm 0,3$ мм.

Построим схему размерной цепи для замыкающего звена $X1$ (Приложение 16б). По линии якоря размеры $A2$, $A3$ и $A4$ – уменьшающие звенья, $A1$ – увеличивающее звено. Все звенья относятся к конкретной детали и имеют размеры на соответствующих чертежах.

Номинальные размеры составляющих звеньев из сборочного чертежа с учетом масштаба изображения: стоп $A2 = 40$ мм; длина якоря до пружинной шайбы $A3 = 78$ мм, толщина пружинной шайбы $A4 = 2$ мм; длина стакана (корпуса) $A1 = 130$ мм.

Уравнение размерной цепи для замыкающего звена будет выглядеть следующим образом:

$$X1 = A1 - (A2 + A3 + A4).$$

Подставим полученные размеры в уравнение в номиналах и проверим правильность измерений

$$Xl = 130 - (40 + 78 + 2) = 10 \text{ мм}.$$

Номинальное значение замыкающего звена обеспечивается. Расчет допусков составляющих звеньев определим методом полной взаимозаменяемости. Определим средний размер составляющего звена с учётом, что $m=1$ число увеличивающих звеньев, $n=3$ число уменьшающих звеньев, $q=0$ число звеньев, для которых известны допуски, для пружин

жинного кольца можно было бы подобрать стандартное изделие с известным допуском, но в данном случае кольцо оригинальное со своим чертежом.

Определим среднюю величину размера составляющих звеньев:

$$A_c = \frac{A1 + A2 + A3 + A4}{m + n - q} = \frac{130 + 40 + 2 + 78}{1 + 3 - 0} = 62,5 \text{ мм}.$$

Определим средний допуск составляющего звена с учётом, что поле допуска замыкающего звена $T1 = 0,3 - (-0,3) = 0,6 \text{ мм}$:

$$T_c = \frac{T1}{m + n} = \frac{0,6}{1 + 3} = 0,15 \text{ мм}.$$

По среднему размеру A_c и среднему допуску T_c из [7, табл. 1.8] определим, что точность нестандартных составляющих звеньев соответствует примерно 10, 11 качеству.

Установим для каждого звена допуск по 11 качеству и для удобства занесём всю информацию по составляющим звеньям в табл. 2.

Проверим по формуле (5.2) [16] поле допуска замыкающего звена при наличии предварительно принятых допусков:

Таблица 2

Составляющее звено	Номинальный размер (мм)	Вид звена	Категория размера	Допуск предварительно (мм)	Допуск откорректированный (мм)
A1	130	увелич.	вал	- 0,25	- 0,11 -0,3
A2	40	уменьш.	вал	- 0,16	-0,16
A3	78	уменьш.	вал	- 0,19	- 0,19
A4	2	уменьш.	вал	- 0,06	- 0,06

$$T1' = TA1 + TA2 + TA3 + TA4 = 0,25 + 0,16 + 0,19 + 0,06 = 0,66 \text{ мм}.$$

Полученное поле допуска превышает величину установленного допуска $T1 = 0,6 \text{ мм}$ и заданное условие расчета не выполнено. Это вынуждает выбрать регулирующее звено, размер которого должен быть выполнен точнее 11 качества, принятого для всех остальных звеньев. В качестве регулирующего звена избираем размер $A1 = 130 \text{ мм}$, выполнение которого и измерение не вызывает затруднений, а абсолютная величина допуска у этого размера больше, чем у других размеров, и может быть уменьшена, не вызывая дополнительных существенных затрат.

Допуск регулирующего звена $A1$ определим по формуле (5.11)[16]:

$$TA1 = T1 - (TA2 + TA3 + TA4) = 0,6 - (0,16 + 0,19 + 0,06) = 0,19 \text{ мм}.$$

Звено $A1$ является увеличивающим, поэтому координата середины поля допуска определяется для него по формуле (5.12)[16]:

$$EcA1 = EcX1 + (EcA2 + EcA3 + EcA4) = 0 + (-0,08 - 0,095 - 0,03) = -0,205$$

$$EcX1 = (ESX1 + EIX1)0,5 = (0,3 + (-0,3))0,5 = 0$$

$$EcA2 = (ESA2 + EIA2)0,5 = (0 + (-0,16))0,5 = -0,08$$

$$EcA3 = (ESA3 + EIA3)0,5 = (0 + (-0,19))0,5 = -0,095$$

$$EcA4 = (ESA4 + EIA4)0,5 = (0 + (-0,06))0,5 = -0,03$$

Предельные отклонения регулирующего звена A1 определим по известным формулам:

$$ESA1 = EcA1 + TA1/2 = -0,205 + 0,19/2 = -0,11$$

$$EIA1 = EcA1 - TA1/2 = -0,205 - 0,19/2 = -0,3$$

$$\text{Размер регулирующего звена } A1 = 130 \frac{-0,11}{-0,30}$$

Проверим полученные результаты. Определим максимальное и минимальное значение замыкающего звена, используя полученные допуски увеличивающих и уменьшающих звеньев:

$$X1^{max} = A1^{max} - (A2^{min} + A3^{min} + A4^{min}) = 129,89 - (39,84 + 77,81 + 1,94) = 10,3$$

$$X1^{min} = A1^{min} - (A2^{max} + A3^{max} + A4^{max}) = 129,7 - (40 + 78 + 2) = 9,7$$

Расчет сделан правильно.

Метод полной взаимозаменяемости экономически целесообразно использовать при малом числе составляющих звеньев размерной цепи ($m+n-1 < 4$). При увеличении числа составляющих звеньев значительно уменьшаются допуски на их размеры, что может привести к удорожанию изделия за счёт повышения стоимости механической обработки.

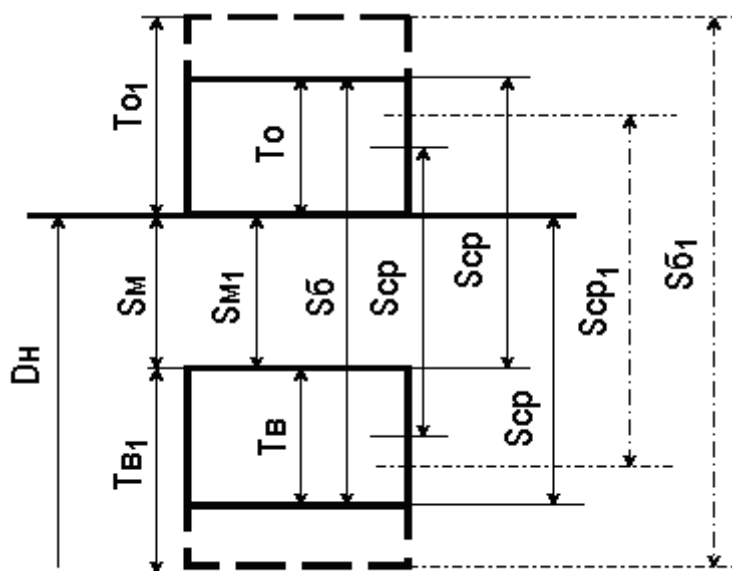


Рис. 4

нению изделия за счёт повышения стоимости механической обработки.

Сущность метода неполной взаимозаменяемости состоит в том, что точность замыкающего звена обеспечивается не у всех изделий, а только у заранее обусловленной их части. При этом предварительно устанавливается процент риска P , т.е. процент изделий, у которых может не обеспечиваться точность замыкающего звена.

Следует отметить, что процент риска — лишь вероятность получения бракованных изделий. Поясним это примером: пусть необходимо выполнить сопряжение вала с отверстием

(подшипник скольжения), обеспечив определенную степень точности зазора между ними (рис. 4).

На рис. 4: D_n – номинальный размер сопряжения, To и $Tв$ – допуски соответственно отверстия и вала, полученные методом расчета размерных цепей на минимум – максимум. Следовательно, допуски To и $Tв$ обеспечат сборку по методу полной взаимозаменяемости, т.е. в большой партии сопряжений зазор между отверстием и валом может колебаться в пределах от минимального S_m до максимального S_b , при которых обеспечивается заданный срок службы сопряжения. Однако, вероятность того, что в сопряжении получится минимальный S_m или максимальный S_b зазоры очень мала, зато средних S_{cp} зазоров или близких к ним будет большинство.

Учитывая, что настройка оборудования для механической обработки чаще всего осуществляется на середину допуска, можно увеличить допуски на сопрягаемые поверхности, например, до To_1 и $Tв_1$ (рис. 4). В этом случае среднее значение зазора S_{cp_1} по-прежнему будет меньше допустимого S_b , но есть вероятность того, что из годных деталей может быть собрано сопряжение с зазором больше допустимого, т.е. брак. Но такого сочетания деталей в партии может и не получиться, а если и получится, то сопряжение можно разобрать и подобрать из партии детали, обеспечивающие допустимый зазор.

Таким образом, использование метода неполной взаимозаменяемости для обеспечения точности замыкающего звена экономически целесообразно в многосвязных размерных цепях. При этом допуски составляющих звеньев могут быть значительно больше, чем при использовании метода полной взаимозаменяемости. Расчет параметров составляющих звеньев в этом случае производят вероятностным методом, который базируется на законах рассеяния размеров деталей в партии.

В теории размерных цепей наиболее часто применяются следующие основные законы рассеяния размеров деталей: нормальный закон, закон равной вероятности, закон треугольника.

Нормальный закон (закон Гаусса) – наиболее часто встречающийся и применяемый в технических приложениях теоретический закон рассеяния случайных погрешностей. Нормальный закон характеризует рассеяние угловых и линейных размеров деталей при обработке их на настроенных станках (станках – автоматах), если на производстве соблюдаются определенные условия (стабильность работы оборудования и приспособлений, несущественный износ режущего инструмента и др.).

Теоретическая кривая рассеяния размеров по нормальному закону на рис. 5, где A_i – текущее значение размера, y – частота появления определенного размера, A_{min} и A_{max} – соответственно минимальное и мак-

симальное допустимые) значения размеров, T_i – допуск на размер, $\bar{A}$ – математическое ожидание, равное среднему арифметическому размеру в партии изделий.

Закон равной вероятности описывает рассеяние размеров, если среди причин, вызывающих производственные погрешности имеется одна, резко доминирующая по силе воздействия и равномерно изменяющаяся во времени (например, влияние равномерного значительного износа режущего инструмента). Частота появления размера является в

этом случае величиной постоянной (рис. 6).

Закон треугольника может возникать при суммировании двух независимых случайных величин, распределение размеров которых подчиняется закону равной вероятности. Такая зависимость частоты появления размеров представлена на рис. 7.

Для получения основных расчетных зависимостей вероятностного метода расчета размерных цепей используют теоремы о математических ожиданиях и дисперсиях. При изготовлении деталей математическое ожидание (средний арифметический размер) в партии может не совпадать с серединой поля допуска. Величина такого несовпадения, выраженная в долях половины допусков T_i , называется коэффициентом относительной асимметрии α_i . Другой величиной, используемой при вероятностном методе расчета,

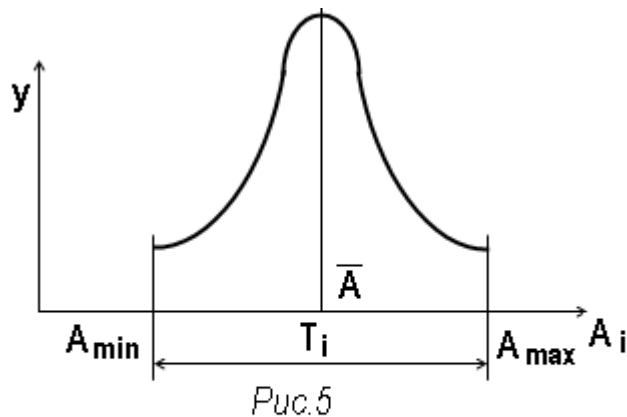


Рис. 5

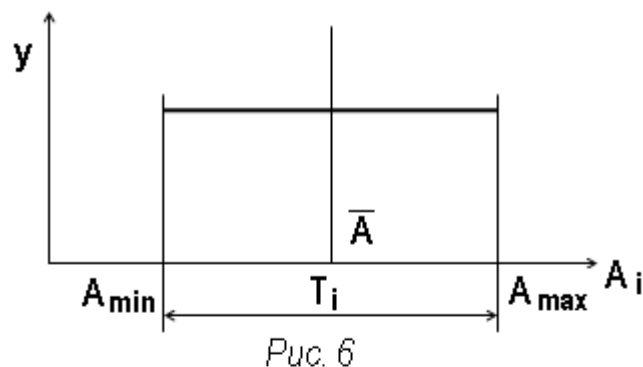


Рис. 6

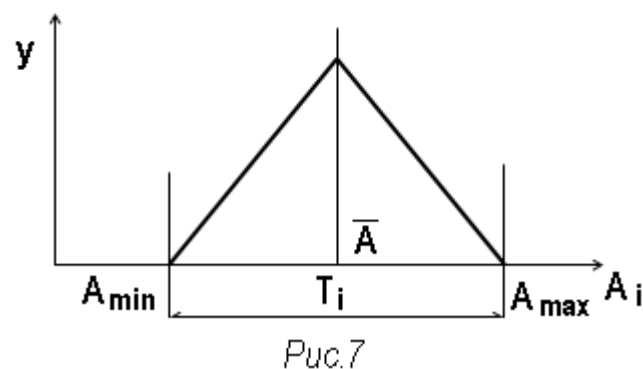


Рис. 7

является коэффициент относительного рассеяния λ_i , равный отношению среднеквадратичного отклонения размеров σ_i к половине допуска T_i .

Численные значения α_i и λ_i зависят от условий и масштаба производства и различны для разных категорий размеров, технологических операций и методов обработки. При производственных расчетах фактические значения α_i и λ_i определяются экспериментально по результатам анализа точности технологических процессов.

При выполнении курсовой работы следует принять $\lambda_i = 0,333$ для нормального закона распределения, $\lambda_i = 0,577$ для распределения равной вероятности и $\lambda_i = 0,408$ для распределения по треугольнику. Коэффициенты относительной асимметрии могут быть заданы в зависимости от особенностей размеров (рис. 3) составляющих звеньев: для охватывающих (отверстий) $\alpha_o = +0,25 \div -0,25$ (чаще отрицательные), для охватываемых (валов) $\alpha_e = +0,3 \div -0,2$ (чаще положительные), и для ступенчатых (уступов) $\alpha_c = +0,2 \div -0,2$ (обычно близкие к нулю). Риск чаще всего принимается равным $P = 0,27\%$. Практически при таком риске количество сборочных единиц, выходящих за пределы допуска может быть не более трех на 1000 изделий, а может и не быть вообще. Коэффициент, зависящий от процента риска в данном случае равен $t = 3$. Если необходимо установить другой процент риска P и коэффициент t их можно выбрать из табл. 3.

В курсовой работе виды распределений составляющих звеньев и значение коэффициента относительной асимметрии указываются в задании на работу (см. Приложение 1).

Таблица 3

Значение коэффициента t для различных процентов риска P

P	0,01	0,05	0,1	0,27	0,5	1	2	3	5	10	32
t	3,89	3,48	3,29	3	2,81	2,57	2,32	2,17	1,96	1,65	1

Решение прямой задача расчёта размерной цепи вероятностным методом также может быть выполнено двумя способами: способ пробных расчётов и способ с использованием регулировочного звена.

Допуски на составляющие звенья можно назначить исходя из средней экономической точности [7, табл. 2.66], [38, с. 8–15, табл. 4, 5] или, исходя из среднего размера и среднего допуска.

Средний размер составляющего звена определить по формуле (3)

Средний допуск для среднего составляющего звена при расчётах вероятностным методом можно определить по формуле

$$T_{cp} = \frac{T_X - \sum_{i=1}^q T_i}{t \cdot \lambda \cdot \sqrt{m+n-q}}, \quad (10)$$

где T_X – указанный в задании допуск замыкающего звена;

t – коэффициент, зависящий от процента риска;

λ – коэффициент относительного рассеяния, определяемый заданным распределением;

T_i – известные допуски составляющих звеньев размерной цепи, число которых равно q .

По A_{cp} и T_{cp} из [7, табл. 1.8] определить квалитет. По установленному квалитету из [7, табл. 1.8] определить допуски на размеры составляющих звеньев, установив предельные отклонения в зависимости от категории размера (см. рис. 3).

Определить коэффициент относительной асимметрии α_X для замыкающего звена по формуле

$$\alpha_X = \frac{0,59(\sum_{i=1}^m \alpha_{yvi} \cdot T_{yvi} - \sum_{k=1}^n \alpha_{ymk} \cdot T_{ymk})}{\sum_1^m T_{yvi} + \sum_1^n T_{ymk}}, \quad (11)$$

где α_{yvi} – коэффициенты относительной асимметрии увеличивающих звеньев с учётом категории их размеров;

T_{yvi} – допуски увеличивающих звеньев;

α_{ymk} – коэффициенты относительной асимметрии уменьшающих звеньев с учётом категории их размеров;

T_{ymk} – допуски уменьшающих звеньев;

Определить коэффициент относительного рассеяния λ_X для замыкающего звена по формуле

$$\lambda_X = \frac{1}{3} + \frac{0,183}{\sum_{j=1}^{m+n} T_j} \cdot (3 \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} \lambda_j^2 \cdot T_j^2} - \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} T_j^2}), \quad (12)$$

где λ_j – коэффициенты относительного рассеяния всех составляющих звеньев;

T_j – допуски всех составляющих звеньев;

По установленным на составляющие звенья допускам, рассчитать допуск замыкающего звена по формуле

$$T_{Xp} = \frac{1}{\lambda_x} \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} \lambda_j^2 \cdot T_j^2}. \quad (13)$$

Полученное расчётное значение допуска замыкающего звена T_{Xp} сравнить с заданным значением T_X . Расчётное значение T_{Xp} должно быть либо равно заданному T_X , либо меньше его, но не более чем на 10% для курсовой работы (проекта). Если T_{Xp} не укладывается в указанный диапазон, необходимо сменить допуски составляющих звеньев либо регулирующего звена (в зависимости от принятого способа решения задачи) и повторить расчеты, пока T_{Xp} не войдёт в заданный диапазон. Следует

отметить, что, в порядке исключения, допуск на размер одного из составляющих звеньев может быть установлен не стандартный.

После установления величин допусков составляющих звеньев, необходимо уточнить их предельные отклонения. Для этого определить значение среднего отклонения $E_{срX}$ расчётного допуска замыкающего звена по формуле

$$E_{срX} = \sum_{i=1}^m (E_{срAyvi} + \alpha_{yvi} \cdot \frac{T_{yvi}}{2}) - \sum_{k=1}^n (E_{срAyuk} + \alpha_{yuk} \cdot \frac{T_{yuk}}{2}) - \alpha_X \cdot \frac{T_{Xp}}{2}, \quad (14)$$

где $E_{срAyvi} = \frac{ES_{Ayvi} + EI_{Ayvi}}{2}$; $E_{срAyuk} = \frac{ES_{Ayuk} + EI_{Ayuk}}{2}$.

Верхнее предельное расчётное отклонение размера замыкающего звена

$$ES_{Xp} = E_{срXp} + \frac{T_{Xp}}{2}. \quad (15)$$

Нижнее предельное расчётное отклонение размера замыкающего звена

$$EI_{Xp} = E_{срXp} - \frac{T_{Xp}}{2}. \quad (16)$$

Если полученные значения предельных отклонений ES_{Xp} и EI_{Xp} укладываются в диапазон допуска T_X то расчёт закончен. Если предельные отклонения ES_{Xp} и EI_{Xp} не укладываются в указанный диапазон, то в размерах составляющих звеньев или регулировочного звена не меняя допусков изменить предельные отклонения и вновь рассчитать ES_{Xp} и EI_{Xp} . Следует отметить, что, в порядке исключения, предельные отклонения на размер одного из составляющих звеньев могут быть установлены не стандартные.

Пример 14. Решить размерную цепь (Приложение 15В) вероятностным методом (метод ограниченной взаимозаменяемости), определив допуски и основные предельные отклонения для составляющих звеньев. Исходные данные в Приложении 1.

В примере рассмотрим решение вероятностным методом размерной цепи, решённой в примере 12 методом полной взаимозаменяемости.

Исходные данные: параметры замыкающего звена $X3=1$ мм, $ES_{X3}=1$ мм, $EI_{X3}=-1$ мм, $T_{X3}=ES_{X3}-EI_{X3}=1-(-1)=2$ мм; коэффициенты относительного рассеяния для подшипников $\lambda_H = 0,333$, для прочих составляющих звеньев $\lambda_T = 0,408$; коэффициенты относительной асимметрии $\alpha_{oi} = -0,21$, $\alpha_{vi} = 0,24$, $\alpha_{ci} = 0,02$.

Основные уравнения размерной цепи

$$X3=(C2+A3+A4)-(C1+A5+A6),$$

$$T_{X3}=T_{C1}+T_{C2}+T_{A3}+T_{A4}+T_{A5}+T_{A6}.$$

Дополнительные данные см. в примере 12.

Подставим полученные размеры в уравнение в номиналах и проверим правильность измерений

$$X_3 = (53+200+21)-(48+19+206) = 1.$$

Номинальное значение замыкающего звена обеспечивается.

Определим средний размер составляющего звена с учётом, что $m=3, n=3, q=1$

$$A_{cp} = \frac{C1 + C2 + A3 + A5 + A6}{m + n - q} = \frac{48 + 53 + 200 + 19 + 206}{3 + 3 - 1} = 105,2 \text{ мм}$$

Определим средний допуск составляющего звена с учётом, что риск $P=0,27\%$, $t=3$, $\lambda_i = 0,408$

$$T_{cp} = \frac{T_{X3} - T_{A4}}{t \cdot \lambda \cdot \sqrt{m + n - q}} = \frac{2 - 0,12}{3 \cdot 0,408 \cdot \sqrt{3 + 3 - 1}} = 0,689 \text{ мм.}$$

По среднему размеру A_{cp} и среднему допуску T_{cp} из [7, табл. 1.8] определим, что точность нестандартных составляющих звеньев соответствует примерно 13, 14 качеству, установим для каждого звена допуск по 14 качеству и для удобства занесём всю информацию по составляющим звеньям в табл. 4.

По формуле 12 определим коэффициент относительного рассеяния λ_{X3} для замыкающего звена

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{m+n} T_j &= T_{C1} + T_{C2} + T_{A3} + T_{A4} + T_{A5} + T_{A6} = \\ &= 0,62 + 0,74 + 1,15 + 0,12 + 0,52 + 1,15 = 4,3 \\ \sum_{j=1}^{m+n} T_j^2 &= T_{C1}^2 + T_{C2}^2 + T_{A3}^2 + T_{A4}^2 + T_{A5}^2 + T_{A6}^2 = \\ &= 0,62^2 + 0,74^2 + 1,15^2 + 0,12^2 + 0,52^2 + 1,15^2 = 3,862 \end{aligned}$$

Таблица 4

Составляющее звено	Номинальный размер (мм)	Вид звена	Категория размера	α_i	Допуск предварительно (мм)	Допуск откорректированный (мм)
C1	48	уменьш.	уступ	0,02	0,62	0,62
C2	53	увеличив.	уступ	0,02	0,74	0,74
A3	200	увеличив.	вал	0,24	1,15	1,15
A4	21	увеличив.	вал	0,24	0,12	0,12
A5	19	уменьш.	уступ	0,02	0,52	0,52
A6	206	уменьш.	вал	0,24	1,15	0,46

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{m+n} \lambda_j^2 T_j^2 &= \lambda_T^2 T_{C1}^2 + \lambda_T^2 T_{C2}^2 + \lambda_T^2 T_{A3}^2 + \lambda_H^2 T_{A4}^2 + \lambda_T^2 T_{A5}^2 + \lambda_T^2 T_{A6}^2 = \\ &= 0,408^2 \cdot 0,62^2 + 0,408^2 \cdot 0,74^2 + 0,408^2 \cdot 1,15^2 + 0,333^2 \cdot 0,12^2 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 0,408^2 \cdot 0,52^2 + 0,408^2 \cdot 1,15^2 = 0,64205 \\
\lambda_{X3} &= \frac{1}{3} + \frac{0,183}{\sum_{j=1}^{m+n} T_j} \cdot \left(3 \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} \lambda_j^2 \cdot T_j^2} - \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} T_j^2} \right) = \\
&= \frac{1}{3} + \frac{0,183}{4,3} \cdot (3 \sqrt{0,64205} - \sqrt{3,862}) = 0,352.
\end{aligned}$$

По формуле 13 определим расчётное значение допуска замыкающего звена в зависимости от назначенных допусков составляющих звеньев

$$T_{X3p} = \frac{1}{\lambda_{X3}} \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} \lambda_j^2 \cdot T_j^2} = \frac{1}{0,352} \sqrt{0,64205} = 2,276 \text{ мм}$$

Расчетный допуск больше исходного, а должен лежать в пределах $2 \div 1,8$. Поэтому выбираем в качестве регулировочного составляющее звено $A6 = 206$ мм, меняем допуск в сторону уменьшения, выбирая из 12 квалитета $T_{A6} = 0,46$ мм [7, табл. 1.8], и записываем в табл. 4. Повторяем расчёт допуска замыкающего звена.

$$\begin{aligned}
\sum_{j=1}^{m+n} T_j &= 3,61, \quad \sum_{j=1}^{m+n} T_j^2 = 2,7509, \quad \sum_{j=1}^{m+n} \lambda_j^2 T_j^2 = 0,4571 \\
\lambda_{X3} &= \frac{1}{3} + \frac{0,183}{\sum_{j=1}^{m+n} T_j} \cdot \left(3 \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} \lambda_j^2 \cdot T_j^2} - \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} T_j^2} \right) = \\
&= \frac{1}{3} + \frac{0,183}{3,61} \cdot (3 \sqrt{0,4571} - \sqrt{2,7509}) = 0,3521. \\
T_{X3p} &= \frac{1}{\lambda_{X3}} \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} \lambda_j^2 \cdot T_j^2} = \frac{1}{0,3521} \sqrt{0,4571} = 1,92 \text{ мм}
\end{aligned}$$

Полученное значение расчётного допуска замыкающего звена укладывается в заданный диапазон. Нужно уточнить предельные отклонения. По формуле 11 определим коэффициент относительной асимметрии α_{X3} для замыкающего звена

$$\begin{aligned}
\alpha_{X3} &= \frac{0,59[(\alpha_{C2} \cdot T_{C2} + \alpha_{A3} \cdot T_{A3} + \alpha_{A4} \cdot T_{A4}) - (\alpha_{C1} \cdot T_{C1} + \alpha_{A5} \cdot T_{A5} + \alpha_{A6} \cdot T_{A6})]}{T_{C1} + T_{C2} + T_{A3} + T_{A4} + T_{A5} + T_{A6}} = \\
&= \frac{0,59[(0,02 \cdot 0,74 + 0,24 \cdot 1,15 + 0,24 \cdot 0,12) - (0,02 \cdot 0,62 + 0,02 \cdot 0,52 + 0,24 \cdot 0,46)]}{0,74 + 1,15 + 0,12 + 0,62 + 0,52 + 0,46} = \\
&= 0,03046
\end{aligned}$$

Определим значение среднего отклонения E_{X3cp} расчётного допуска замыкающего звена по формуле 8

$$E_{X3cp} = \left(E_{cC2} + \alpha_{C2} \cdot \frac{T_{C2}}{2} + E_{cA3} + \alpha_{A3} \cdot \frac{T_{A3}}{2} + E_{cA4} + \alpha_{A4} \cdot \frac{T_{A4}}{2} \right) -$$

$$\begin{aligned}
& - \left(E_{cC1} + \alpha_{C1} \cdot \frac{T_{C1}}{2} + E_{cA5} + \alpha_{A5} \cdot \frac{T_{A5}}{2} + E_{cA6} + \alpha_{A6} \cdot \frac{T_{A6}}{2} \right) - \alpha_{X3} \cdot \frac{T_{X3p}}{2} = \\
& = \left(0 + 0,02 \cdot \frac{0,74}{2} + (-0,575) + 0,24 \cdot \frac{1,15}{2} + (-0,06) + 0,24 \cdot \frac{0,12}{2} \right) - \\
& - \left(0 + 0,02 \cdot \frac{0,62}{2} + 0 + 0,02 \cdot \frac{0,52}{2} + (-0,23) + 0,24 \cdot \frac{0,46}{2} \right) - 0,03046 \cdot \frac{1,92}{2} = -0,34226
\end{aligned}$$

По формулам 15 и 16 определяем расчётные верхнее ES_{X3p} и нижнее EI_{X3p} предельные отклонения замыкающего звена

$$ES_{X3p} = E_{X3cp} + \frac{T_{X3p}}{2} = -0,34226 + \frac{1,92}{2} = 0,6177$$

$$EI_{X3p} = E_{X3cp} - \frac{T_{X3p}}{2} = -0,34226 - \frac{1,92}{2} = -1,30226$$

Нижнее предельное отклонение $EI_{X3p} = -1,30226$ меньше нижнего допустимого отклонения, равного -1 (см. исходный данные). Необходимо изменить основное предельное отклонение регулирующего звена. В данный момент размер регулирующего звена в записи выглядит так $A6=206 h12 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,46 \end{pmatrix}$ и основное предельное отклонение $h = 0$. Выбираем для регулирующего звена основное предельное отклонение $a = -0,38$ мм. Тогда размер будет выглядеть $A6=206 a12 \begin{pmatrix} -0,74 \\ -1,20 \end{pmatrix}$ и $ES_{A6} = -0,38$, $EI_{A6} = -0,84$, $E_{cA6} = -0,61$. Повторим расчёт предельных отклонений замыкающего звена.

$$\begin{aligned}
E_{X3cp} = & \left(0 + 0,02 \cdot \frac{0,74}{2} + (-0,575) + 0,24 \cdot \frac{1,15}{2} + (-0,06) + 0,24 \cdot \frac{0,12}{2} \right) - \\
& - \left(0 + 0,02 \cdot \frac{0,62}{2} + 0 + 0,02 \cdot \frac{0,52}{2} + (-0,61) + 0,24 \cdot \frac{0,46}{2} \right) - 0,03046 \cdot \frac{1,92}{2} = 0,03896
\end{aligned}$$

$$ES_{X3p} = E_{X3cp} + \frac{T_{X3p}}{2} = -0,03896 + \frac{1,92}{2} = 0,999$$

$$EI_{X3p} = E_{X3cp} - \frac{T_{X3p}}{2} = -0,03896 - \frac{1,92}{2} = -0,921.$$

Результат удовлетворяет исходным данным: $T_{X3p} = 1,92^{+0,999}_{-0,921}$ мм

Рекомендуемая литература: [1, с. 382–387], [8, с. 6–85], [13, с. 96–140], [16, с. 126–142, 447–456], [30, с. 288–290], [33, с. 35–72], [47, с. 294–318],

Контрольные вопросы:

1. Назначение размерного анализа сборочной единицы.
2. Что такое размерная цепь?
3. Структура размерных цепей.
4. Какое звено размерной цепи называют замыкающим?
5. Какими бывают составляющие звенья размерной цепи?

6. Особенности расчета размерных цепей на минимум-максимум и вероятностным методом.
7. Принципы выявления замыкающих звеньев размерных цепей в сборочных единицах.
8. Виды распределений действительных размеров.
9. Дать определения допуску, предельным отклонениям, основному предельному отклонению, среднему предельному отклонению.

4. Специальные технологические расчёты

При общей сборке электрических машин и аппаратов обычно не возникает потребность в дополнительной механической обработке, необходимость в расчётах, связанных с образованием соединений.

В тоже время при проектировании технологии узловой сборки часто приходится считать припуски на обработку сборочной единицы и режимы резания, определять усилия, необходимые для выполнения различных типов соединений, выбирать режимы изготовления обмоток различной конструкции, выполнять расчеты, связанные с выбором приспособлений и сборочного оборудования и т.д..

При решении вопросов механической обработки сборочных единиц можно воспользоваться указаниями в [34]. Для решения задач узловой сборки электрических машин и аппаратов необходимо пользоваться справочниками и другой технической литературой, например [10, 18, 31, 35, 39].

Пример 15. *Рассчитать усилия напрессовки ротора без вала на вал и выбрать способ сборки, оборудование, и оснастку (Приложения 4, 6).*

Исходные данные: наружный диаметр ротора $D=71,6_{-0,05}$ мм, номинальный диаметр соединения $d=18$ мм, диаметр отверстия в роторе без вала $\varnothing 18H7^{(+0,018)}$ мм, диаметр вала под напрессовку ротора $\varnothing 18u8^{(+0,060}_{+0,033})$ мм, осевая длина ротора без вала $L=40$ мм.

Сборку подобных соединений (с натягом) осуществляют под действием осевой силы, создаваемой прессом (продольнопрессовое соединение), или с термовоздействием (поперечнопрессовое соединение). Критерием выбора способа сборки будет величина мощности, потребляемая оборудованием.

При продольнопрессовом соединении необходимо определить максимальное значение осевой силы P , создаваемой прессом [35, с. 200]

$$P = f_3 \pi d L p = 0,14 \cdot \pi \cdot 18 \cdot 40 \cdot 311,3 = 98600 \text{ Н} = 98,6 \text{ кН},$$

где $f_3 = 0,14$ – коэффициент трения при запрессовке [35, с. 201];

$$p = \frac{1}{d} \cdot \frac{\delta_p \cdot 10^{-3}}{\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}} = \frac{1}{18} \cdot \frac{58,08 \cdot 10^{-3}}{\frac{0,72}{20,6 \cdot 10^4} + \frac{1,415}{20,6 \cdot 10^4}} = 311,3 \text{ , — давление на поверх-}$$

ности контакта, МПа

$\delta_p = \delta_{\max} - 1,2(R_{a1} + R_{a2}) = 60 - 1,2 \cdot (0,8 + 0,8) = 58,08$, — расчётный натяг в соединении, мкм;

$\delta_{\max} = es_g - EI_o = 60 - 0 = 60$ — максимальный натяг в соединении, мкм;

$es_g = 60$ — верхнее предельное отклонение вала, мкм;

$EI_o = 0$ — нижнее предельное отклонение отверстия, мкм;

$R_{a1} = R_{a2} = 0,8$ — шероховатость сопрягаемых поверхностей, мкм [7, табл. 2.67];

$C_1 = 1 - \mu_1 = 1 - 0,28 = 0,72$ — расчётный коэффициент для вала;

$C_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_2 = \frac{71,6^2 + 18^2}{71,6^2 - 18^2} + 0,28 = 1,415$ — расчётный коэффициент

для сердечника ротора;

$E_1 = E_2 = 20,6 \cdot 10^{10}$ — модуль Юнга для стали, Н/м²;

$\mu_1 = \mu_2 = 0,28$ — коэффициент Пуассона для стали [15, с. 459].

Осевая сила, которую должен развивать пресс, равна 98,6 кН. Выбираем гидравлический одностоечный пресс типа П6320 [10, с. 367], [39, с. 347], с номинальной силой 100 кН. Основные технические характеристики: наибольший ход штока — 400 мм, наибольшее расстояние между запрессовочным столом и штоком — 600 мм, размер запрессовочного стола — 500 х 380 мм, расстояние от оси штока до станины — 200 мм, скорость рабочего хода штока — 20 мм/с, возвратного хода 300 мм/с, мощность привода — 3 кВт, габаритные размеры в плане — 1250 х 1215 мм, высота над уровнем пола — 1982 мм, масса пресса — 1,208 т. Учитывая, что наибольший диаметр ротора 71,6 мм, а суммарная длина ротора и вала не более 270 мм (см. Приложение, 6), данный пресс можно применять для сборки ротора.

Сборка с термовоздействием осуществляется путём нагрева ротора без вала для получения теплового сборочного зазора в соединении. Необходимая температура равна

$$T = \frac{\delta_{\max} + i}{k_{\alpha} \cdot d} + T_o = \frac{0,06 + 0,0425}{11,6 \cdot 10^{-6} \cdot 18} + 20 = 511 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

где $i = 0,01\sqrt{d} = 0,01\sqrt{18} = 0,0425$ — тепловой сборочный зазор, мм,

$k_{\alpha} = 11,6 \cdot 10^{-6}$ — коэффициент линейного расширения, С⁻¹,

$T_o = 20$ — температура окружающей среды, °С.

В серийном производстве часто применяют индукционные нагреватели, мощность которых можно рассчитать по формуле [35, с. 207]

$$W = \nu \frac{mc(T - T_o)}{\tau \eta \cdot 10^3} = 1 \cdot \frac{1,18 \cdot 481 \cdot (511 - 20)}{123 \cdot 0,4 \cdot 10^3} = 5,66 \text{ кВт},$$

где $\nu = 1$ – коэффициент, учитывающий величину зоны нагрева, принимаем равным 1, т.к. отношение длины ротора к диаметру мало и ротор будет нагреваться по всему объёму;

$m = 0,25\pi(D^2 - d^2)L\gamma = 0,25 \cdot \pi \cdot (0,0716^2 - 0,018^2) \cdot 0,04 \cdot 7800 = 1,18 \text{ кг}$ – ориентировочная масса ротора без вала;

$\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$ – плотность электротехнической стали;

$c = 481 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ – удельная теплоёмкость стали [15, с. 463];

$\tau = (T - T_o)/\nu_n = (511 - 20)/4 = 123 \text{ , с}$ – время нагрева ротора;

$\nu_n = 4, ^\circ\text{C/с}$ – скорость нагрева ротора [35, с. 207];

$\eta = 0,4$, общий КПД индуктора [35, с. 207].

С точки зрения расхода электроэнергии более выгоден продольно-прессовый способ сборки ротора. Установленная мощность привода прессы 3 кВт. КПД асинхронного двигателя такой мощности равен 0,81. Следовательно, двигатель будет потреблять мощность $3/0,81 = 3,7 \text{ кВт}$, что в полтора раза меньше мощности, потребляемой индуктором при нагреве ротора. Следует отметить, что качество сопряжения при термовоздействии выше.

Также как и в электрических машинах, технология общей сборки электрических аппаратов не предусматривает механической обработки. В большинстве случаев узлы аппаратов напряжением до 1000 В представляют собой модули, которые соединяются в определенной последовательности. Важным звеном электрического аппарата является катушка. От качества ее изготовления в значительной мере зависит качество всего электрического аппарата. Дефекты катушки относятся к категории скрытых, а последствия их проявления могут привести к внезапным отказам не только электрического аппарата, но и объекта, которым управляет этот аппарат. Поэтому от параметров обмотки, качества ее изготовления, от ее компактности, теплостойкости во многом зависит технический уровень и надежность всего изделия.

При производстве и катушки необходимо выбрать такие ее контролируемые параметры, которые позволят оценить качество технологического процесса. Кроме того, необходимо рассчитать область технологического разброса, в пределах которой катушка будет обеспечивать заложенные при проектировании технические показатели.

При производстве и катушки необходимо выбрать такие ее контролируемые параметры, которые позволят оценить качество технологи-

ческого процесса. Кроме того, необходимо рассчитать область технологического разброса, в пределах которой катушка будет обеспечивать заложенные при проектировании технические показатели. Методику расчётов рассмотрим на примере.

Пример 16. *Спроектировать эскиз каркаса катушки переменного тока, разместить на каркасе катушку с рядовой намоткой и известными обмоточными параметрами. Рассчитать допуски на контролируемые параметры: на число витков, на массу провода, на сопротивление катушки при 20° С. Рассчитать режимы намотки катушки (Приложения 17, 18).*

Дано: $w=4000$ витков; $d_{np} = 0,4$ мм; длина стержня; $l_{ст} = 100$ мм; сечение стержня $b \times a = 8 \times 12$ мм; класс изоляции F .

Необходимо выбрать тип эмалированного обмоточного провода при заданном диаметре провода, обеспечивающего заданный класс изоляции. Выбираем провод ПЭТ-155 ТУ16К71-160-92, $d / d_{из} = 0,4/0,446$ мм, $S_{пр} = 0,1257$ мм².

Расчет каркаса

Материал каркаса, удовлетворяющий требованиям теплостойкости, а также требованиям механической жесткости и компактности является листовой стеклотекстолит СТ – 1,0 ГОСТ 12652-72. Толщина листа – 1 мм.

Рассчитаем геометрические размеры каркаса (см. Приложение 18). Определим длину каркаса $l_{кар}$, которая короче на 1 – 2 мм длины стержня:

$$l_{кар} = l_{ст} - 2 = 100 - 2 = 98 \text{ мм.}$$

Определим внутренние размеры каркаса. Ширину b и длину a каркаса под сердечник выполним на 1 мм больше, чем аналогичные размеры сердечника:

$$b_k = b + 1 = 8 + 1 = 9 \text{ мм; } a_k = a + 1 = 12 + 1 = 13 \text{ мм.}$$

Рассчитаем размеры каркаса под катушку с учетом толщины материала:

$$b_{кар} = b_k + 2h_m = 9 + 2 \cdot 1 = 11, a_{кар} = a_k + 2h_m = 13 + 2 \cdot 1 = 15 \text{ мм,}$$

где h_m – толщина материала.

Задаем допуск полученных размеров. С учетом того, что размеры охватываемые, получим:

$$b_{кар} = 11_{-0,5} \text{ мм; } a_{кар} = 15_{-0,5} \text{ мм.}$$

Высота окна намотки h определим по выражению:

$$h = l_{кар} - 2h_m = 98 - 2 \cdot 1 = 95 \text{ мм.}$$

Остальные размеры каркаса получим после расчета параметров катушки. Рассчитаем число витков обмотки в слое:

$$w_1 = h/d_{из} = 95/0,446 = 213 \text{ витков.}$$

Определим число слоев катушки:

$$k = w / w_1 = 4000 / 213 = 18,7 \sim 19 \text{ слоев.}$$

Минимальные радиальные размеры катушки при рядовой намотке определим по выражению:

$$b_{N \text{ кат}} = d_{\text{из}} \cdot k = 0,446 \cdot 19 = 8,50 \text{ мм};$$

Максимальные радиальные размеры с учетом распушковки проводников определим по выражению [21]:

$$b_{M \text{ кат}} = b_{N \text{ кат}} k_p = 8,5 \cdot 1,1 = 9,4 \sim 10 \text{ мм},$$

где k_p – коэффициент распушковки.

Тогда с учетом толщины слоя защитной изоляции определим наружные ширину и высоту каркаса по формуле:

$$b_{\text{нар}} = b_{\text{кар}} + 2 \cdot b_{M \text{ кат}} = 13 + 2 \cdot 10 = 33_{-0,5} \text{ мм},$$

$$a_{\text{нар}} = a_{\text{кар}} + 2 \cdot b_{M \text{ кат}} = 15 + 2 \cdot 10 = 35_{-0,5} \text{ мм}.$$

Расчет параметров и режимов намотки

Натяжение провода в процессе намотки – важный технологический фактор, определяющий сопротивление и геометрические параметры катушки. Оптимальное натяжение провода при намотке определяется по эмпирической формуле в зависимости от материала проводника. Для медного провода натяжение определится по формуле:

$$T_{\text{он}} = 8,5 \cdot 10^1 \cdot d^2 = 8,5 \cdot 10 \cdot 0,4^2 = 13,6 \text{ Н}.$$

Невозможно изготовить две абсолютно идентичные по параметрам катушки. Причины производственных погрешностей заключаются в следующем:

- геометрическая погрешность при изготовлении каркаса;
- погрешность диаметра обмоточного провода;
- погрешность в усилиях натяжения провода при намотке;
- погрешность в величине удельного сопротивления обмоточной меди в разных бобинах;
- погрешность в числе витков различных катушек.

При расчете границ технологического разброса параметров катушки будем определять наиболее существенные факторы, влияющие на погрешность. Для простоты анализа примем допущение, что натяжение провода постоянно и равно расчетному, величина удельного сопротивления меди (учитывая высокую чистоту обмоточной меди) стабильна и равна $\rho_{20} = 1,785 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Важным информативным параметром катушки является величина активного сопротивления при нормальной температуре:

$$R_{20} = \rho \cdot l \cdot w / s_{np}, \quad (17)$$

где s_{np} – сечение провода без изоляции;

l – средняя длина витка катушки, при намотке на прямоугольный сердечник она определяется по формуле:

$$l = 2(a_{кар} + b_{кар}) + \pi b_{кат} . \quad (18)$$

Величина активного сопротивления катушки зависит от геометрических размеров, величины удельного сопротивления материала проводника, числа витков и площади поперечного сечения проводника. Контроль активного сопротивления с помощью современных приборов и методов измерения позволяют оценивать качество материала, точность изготовления каркаса катушки и стабильность технологического процесса намотки. Для этого необходимо определить диапазон технологического разброса величины активного сопротивления, обеспечивающий режимы намотки и допустимые геометрические отклонения.

Оценку величины возможной технологической погрешности активного сопротивления катушки осуществим аналитическим методом расчета. В общем случае погрешность сопротивления от различных факторов q_i можно представить в виде дифференциального уравнения:

$$dR = \frac{\partial R}{\partial q_1} dq_1 + \frac{\partial R}{\partial q_2} dq_2 + \dots + \frac{\partial R}{\partial q_i} dq_i .$$

Переход от этого дифференциального выражения к конечным приращениям позволяет получить окончательную расчетную формулу с учетом известных погрешностей:

$$\Delta R = R_{max} - R_{min} ,$$

где R_{max} – максимальное возможное сопротивление катушки, изготовленное по чертежам каркаса и указанного диаметра провода;

R_{min} – минимальное возможное сопротивление.

Согласно (17) максимальное и минимальное сопротивления катушки определяются по формулам соответственно:

$$R_{max} = \rho l_{max} w_{max} / s_{np \min} ; \quad R_{min} = \rho l_{min} w_{max} / s_{np \max} .$$

Определим погрешности, влияющие на сопротивление. Средняя длина витка (максимальная и минимальная), согласно (18), зависят от высоты намотки катушки $b_{кат}$ и от периметра каркаса с размерами $a_{кар}$, $b_{кар}$ и определяются по формулам соответственно, причем для минимальной величины принимаются меньшие размеры ширины и высоты, минимальная высота намотки, а для максимальной - наоборот:

$$l_{min} = 2(10,5 + 14,5) + \pi \cdot 8,5 = 76,7 \text{ мм},$$

$$l_{max} = 2(11 + 15) + \pi \cdot 10 = 83,4 \text{ мм}.$$

Погрешность намотки обычно составляет $\pm 1,5 \%$ [46]. Таким образом, максимальное и минимальное числа витков составляют соответственно:

$$w_{min} = 4000 \cdot 0,985 = 3940 \text{ витков};$$

$$w_{max} = 4000 \cdot 1,015 = 4060 \text{ витков}.$$

Технологический разброс диаметра обмоточного провода составляет $\pm 1 \%$ [46]. Учитывая, что площадь сечения провода зависит от квадрата его диаметра, получим погрешность сечения обмоточного провода:

$$s_{np \max} = 0,126 \cdot 1,01^2 = 0,1285 \text{ мм}^2;$$

$$s_{np \min} = 0,126 \cdot 0,99^2 = 0,1235 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, учтены все погрешности, которые заметно влияют на величину активного сопротивления катушки. Определим ее максимальное и минимальное значение сопротивлений:

$$R_{\max} = 1,785 \cdot 10^{-8} 4060 \cdot 0,0834 / 0,1235 \cdot 10^{-6} = 48,94 \text{ Ом};$$

$$R_{\min} = 1,785 \cdot 10^{-8} 3940 \cdot 0,0767 / 0,1285 \cdot 10^{-6} = 41,90 \text{ Ом}.$$

Величина абсолютной погрешности (поле допуска) активного сопротивления намотанной катушки будет составлять:

$$\Delta R = 48,94 - 41,90 = 7,0 \text{ Ом}.$$

Окончательно получим результат, который можно указать в технологических документах:

$$R_{20} = (R_{\max} + R_{\min}) / 2 \pm \Delta R / 2 = (48,94 + 41,90) / 2 \pm 7 / 2 = 45,4 \pm 3,5 \text{ Ом}$$

Получена обоснованная область технологической погрешности величины активного сопротивления катушки. Выход за пределы допуска сопротивления катушки означает отклонение от требований конструкторской, технологической документации и считается браком

Рекомендуемая литература: [9, 10, 18, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42]. Руководителем проекта список может быть изменён в зависимости от задания на работу.

Контрольные вопросы: определяет руководитель работы в зависимости от задания.

5. Составление схемы сборки и маршрутной технологии узловой и общей сборки

После изучения сборочных чертежей и точностного анализа конструкции, необходимо разбить изделие на сборочные единицы – составные части. Это основная работа при проектировании технологического процесса сборки. При выполнении этой работы целесообразно исходить из следующих принципов.

1. Сборочная единица не должна быть слишком большой по габаритным размерам и массе или состоять из большого количества деталей и сопряжений. В то же время излишнее "дробление" машины на сборочные единицы не рационально, так как это усложняет процесс комплектования при сборке, создает дополнительные трудности в организации сборочных работ.

2.Если в процессе сборки требуется проведение испытаний, обкатка, специальная слесарная пригонка узла машины, то он должен быть выделен в особую сборочную единицу.

3.Сборочная единица при монтаже в машине не должна подвергаться какой-либо разборке, а если этого избежать нельзя, то соответствующие разборочные работы необходимо предусмотреть в технологии.

4.Большинство деталей машины, исключая её базовые детали (станину, раму и пр.), а также детали крепления резьбовых соединений, должны войти в те или иные сборочные единицы, чтобы сократить количество отдельных деталей, подаваемых на общую сборку.

5.Трудоемкость сборки должна быть примерно одинакова для большинства сборочных единиц составных частей машины.

Наименование	
Обозначение	Колич-во

Рис. 8.

Последовательность сборки в основном определяется конструкцией изделия, компоновкой деталей и методами достижения требуемой точности и может быть представлена в виде технологической схемы сборки.

Схема сборки, являясь первым этапом разработки технологического процесса, в наглядной форме отражает маршрут сборки изделия и его составных частей. Технологическую схему сборки составляют на основе сборочных чертежей изделия. На схеме каждый элемент изделия обозначают прямоугольником, в котором указывают наименование составной части, её обозначение и количество (рис. 8). Индексацию элементов проводят в соответствии с номерами, проставленными на сборочных чертежах и в спецификациях.

Деталь, с которой начинают сборку изделия, присоединяя к ней другие детали или сборочные единицы, называют базовой деталью. Процесс сборки изображают на схеме (рис.9) горизонтальной линией в направлении от прямоугольника с изображением базовой детали до прямоугольника, изображающего готовое изделие или сборочную единицу – составную часть. Выше горизонтальной линии показывают в порядке последовательности сборки прямоугольники, условно обозначающие детали, а ниже – прямоугольники, условно изображающие сборочные единицы – составные части. Для каждой сборочной единицы – составной части строят аналогичные схемы.

Технологические схемы сборки снабжают надписями – сносками, поясняющими характер сборочных работ (запрессовку, пайку, клепку,

выверку, регулирование, проверку зазоров и пр.), когда они не ясны из схемы, и выполняемый при сборке контроль.

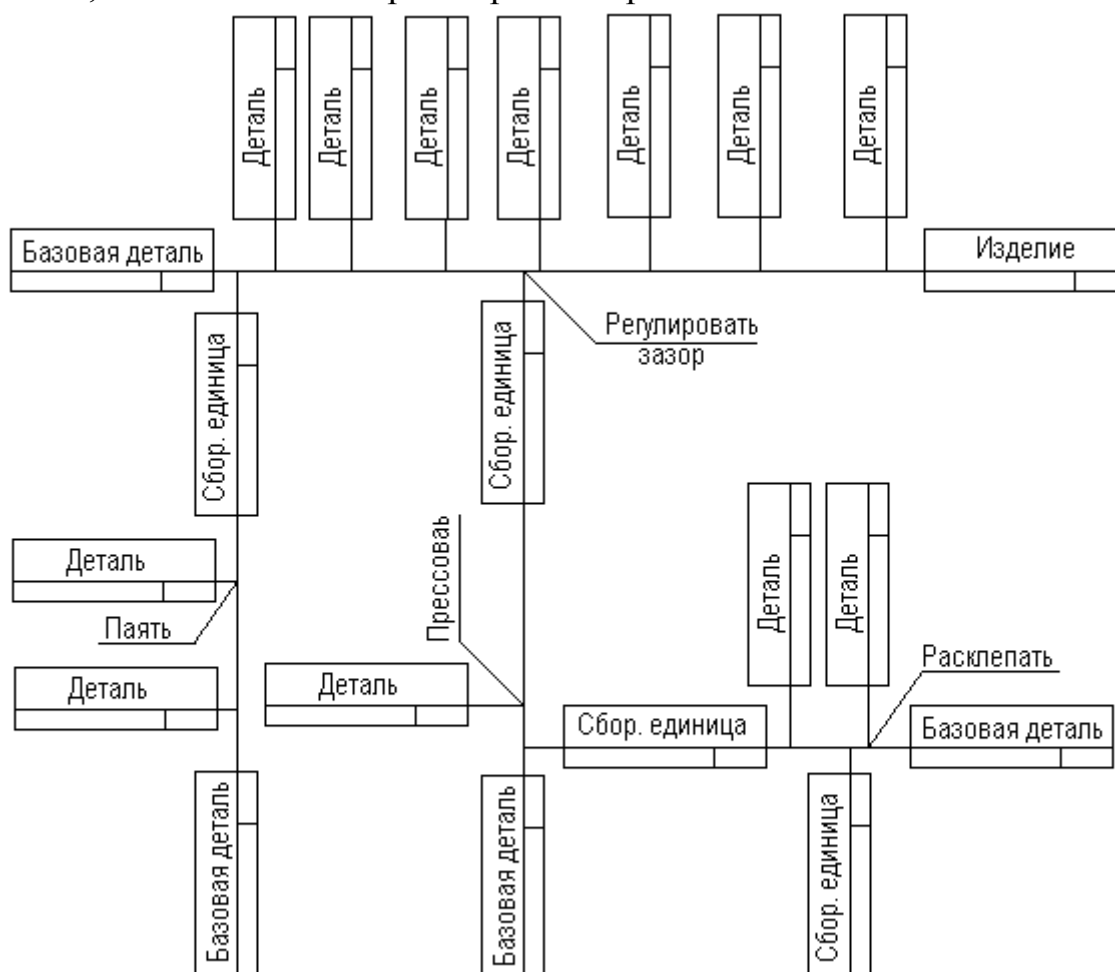


Рис.9. Схема сборки

Технологические схемы сборки снабжают надписями – сносками, поясняющими характер сборочных работ (запрессовку, пайку, клепку, выверку, регулирование, проверку зазоров и пр.), когда они не ясны из схемы, и выполняемый при сборке контроль.

Схема сборки позволяет отразить маршрут сборки изделия, выделить составные части изделия, которые можно собрать отдельно (организовать параллельную сборку составных частей); оценить предварительно трудоемкость сборки отдельных составных частей; иногда выявить конструктивные неувязки; выявить и сравнить варианты технологического процесса.

Пример схемы общей сборки асинхронного двигателя в *Приложении 19*. Здесь все основные сборочные единицы двигателя (статор, ротор, кожух, коробка выводов) уже собраны и схема показывает в какой последовательности их нужно соединить.

Пример 17. Составить схему сборки ротора (Приложение 6).

В качестве базовой детали принимаем вал, так как его проще зафиксировать в приспособлении. Ротор без вала напрессовать на вал на гидравлическом прессе. Затем точить наружный диаметр сердечника

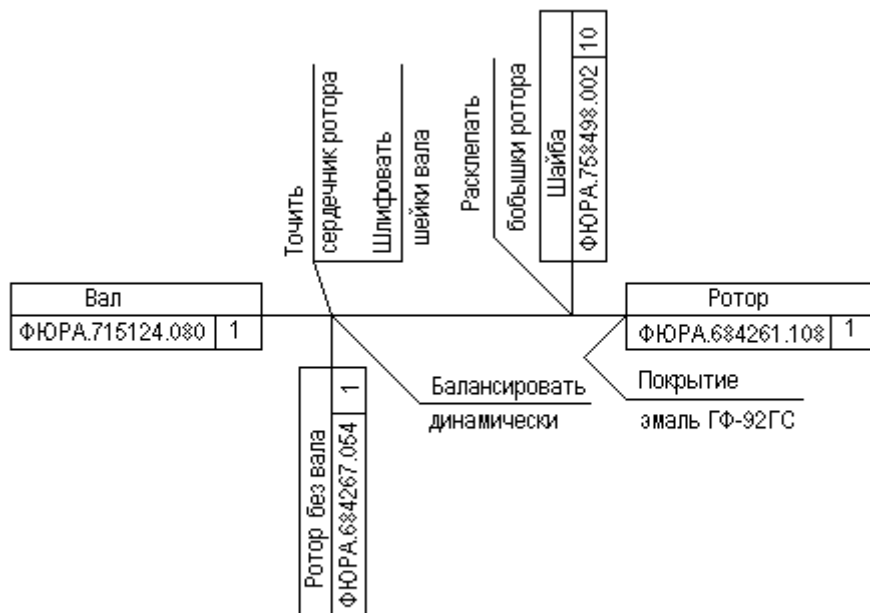


Рис. 10

ротора, шлифовать шейки вала, балансировать динамически, устраняя дисбаланс установкой шайб на бонки ротора, которые расклепывают для фиксации шайб. В заключение наружную поверхность ротора необходимо

покрыть эмалью.

Таким образом, составляя схему сборки (рис. 10) определились с последовательностью операций для сборки ротора асинхронного двигателя, которую необходимо оформить документально.

В электрических аппаратах для сборочных узлов и общей сборки составляется аналогичная схема сборки.

Пример 18. Составить схему сборки сердечника с катушкой (Приложение 13).

В качестве базовой детали принимается бронированный сердечник. Катушку располагают в пазу сердечника, выводы пропускают через паз, обозначенный на чертеже буквой «Г». На выводы катушки надевают изолирующие трубки длиной 299 и 40 мм соответствующих диаметров.

Кабельные наконечники на выводах обжимают и припаивают. Пока наконечники не остыли на них натягивается термопластичная трубка длиной 40 мм. С помощью клейма маркируют наконечники соответствующими цифрами и буквами – «L1» и «L2». В пазу Г размещают кабели выводные, заливают паз густым связующим материалом, фиксируют кабель металлической скобой поз. 4 и двумя винтами поз. 7.

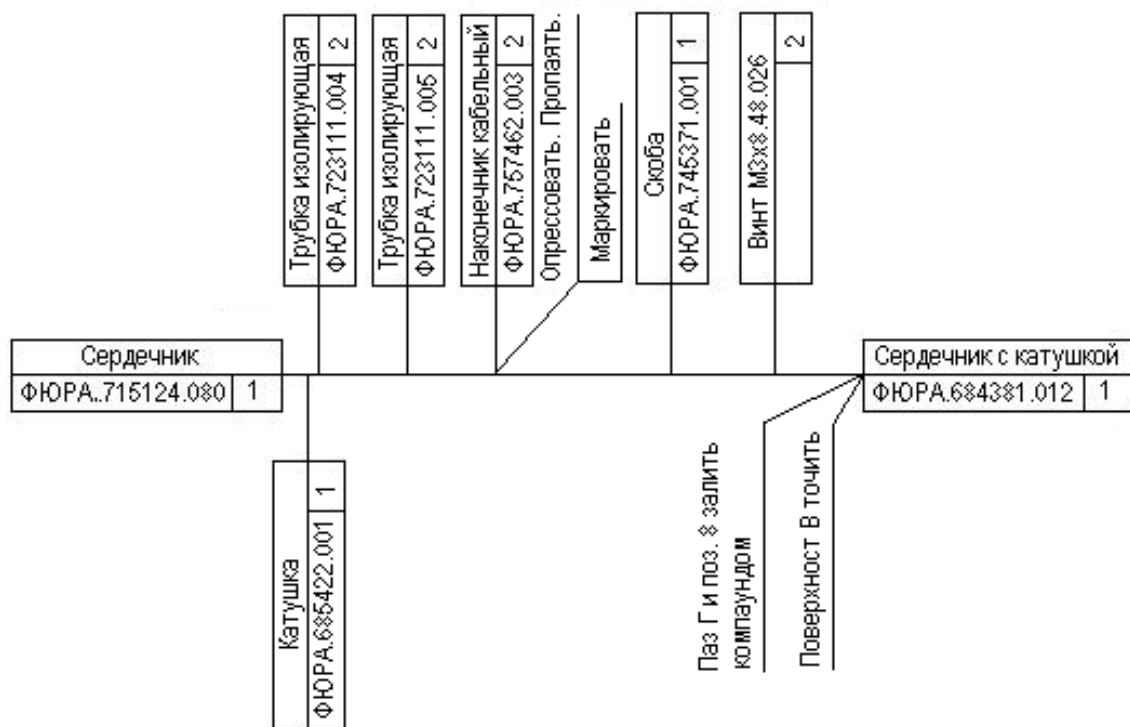


Рис. 11

Устанавливается сердечник горизонтально. В паз с катушкой заливается компаунд ТПЭ-1100, соответствующей вязкости. Заливается компаунд небольшими порциями, давая возможность выйти воздуху из объема паза, уровень компаунда не должен превысить 3 мм до плоскости полюсов. Недопустим уровень компаунда вровень с полюсами. Через 2 минуты после заливки сердечник помещается в специальный контейнер для полимеризации компаунда в сушильной печи. После сушки, выводы привязываются шпагатом к сердечнику и направляют на окончательную механическую обработку полюсов на токарном станке.

Таким образом, составляя схему сборки (рис. 11) определились с последовательностью операций сборки сердечника с катушкой.

На базе схемы сборки разрабатывается маршрутная технология, устанавливающая последовательность и содержание операций. Если последовательность операций уже predetermined схемой сборки, то содержание операций устанавливают в зависимости от выбранного типа производства и темпа сборки.

При массовом производстве содержание операции должно быть таким, чтобы ее длительность была равна темпу (несколько меньше темпа) или кратна ему. Выполняемая работа по своему характеру должна быть однородной и отличаться определенной законченностью. Длительность операции определяют укрупненно по нормативам с после-

дующим уточнением. При этих условиях средняя загрузка рабочих мест должна быть порядка 0,9 – 0,95.

При серийном производстве содержание операций принимается таким, чтобы загрузка отдельных рабочих мест была не менее 0,7. Это достигается при малых объемах партий изделий, выполнением на одном рабочем месте нескольких операций.

Маршрутный технологический процесс фиксируется на маршрутных картах, форма и содержание которых определена ГОСТ 3.1118-82. В маршрутной карте кроме наименования операций, записанных в технологической последовательности, указываются данные об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах.

Форма маршрутной карты, прядок заполнения маршрутной карты, пример заполнения маршрутной карты и дополнительная информация для выполнения в курсовой работе приведены в [11].

Рекомендуемая литература: [1, с. 11–22, 25–32, 383–422], [16, с. 464–480], [31, с. 33–49], [32, с. 545–554, 567–573], [33, с. 72–88, 97–105].

Контрольные вопросы:

1. Принципы разработки технологического процесса сборки.
2. Структура, назначение и принципы построения схемы сборки.
3. Маршрутная технология: назначение, область действия, особенности в зависимости от типа производства.

6. Выбор сборочного оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств

Содержание операции определяет тип, основные размеры и технологическую характеристику сборочного оборудования, технологической оснастки (приспособлений, рабочего и измерительного инструмента) и подъемно-транспортных средств.

При серийном производстве технологическое оборудование и оснастку применяют универсального, переналаживаемого типа. В массовом производстве преимущественно применяют специальные оборудование и оснастку.

Тип, основные размеры и грузоподъемность подъемно-транспортных средств определяют по установленной организационной форме сборки, размерной характеристике изделия и его массе.

К технологическому оборудованию, предназначенному непосредственно для выполнения работ по осуществлению подвижных или неподвижных сопряжений деталей, их регулировке и контролю в процессе узловой и общей сборки обычно относят прессы, оборудование для балансировки, мойки, нагрева, клеймения, заправки смазками, сборочные

стенды. Для выполнения пригоночных работ могут быть применены различные виды металлорежущего оборудования.

Приспособления, применяемые при сборке, по степени специализации разделяют на универсальные и специальные; по степени автоматизации – на ручные, механизированные, полуавтоматические и автоматические; по типу привода – на механические, пневматические, гидравлические и пневмогидравлические; по назначению – на установочно-зажимные, для точной и быстрой фиксации сопрягаемых деталей, для предварительного деформирования упругих элементов, для захвата, подъема и перемещения деталей и сборочных единиц. По виду выполняемых работ их разделяют на приспособления для запрессовки, клепки, развальцовки, свинчивания, гибки, пайки и др.

Инструменты, применяемые при сборке, делят на ручной слесарно-сборочный инструмент и ручные машины для слесарно-пригоночных и сборочных работ.

К ручному инструменту относят различного назначения и конструкции гаечные ключи, шпильковёрты, щипцы, кусачки, плоско- и круглогубцы, слесарные молотки, напильники, керны, зубила.

Основным средством механизации слесарно-пригоночных работ являются ручные машины, повышающие производительность труда в 3–10 раз по сравнению с ручным инструментом. Ручные машины (механизированный инструмент) – группа технологических машин со встроенными двигателями, масса которых (обычно 1,5–10 кг) полностью или частично воспринимается руками оператора, управляющего машиной. Для приведения в движение рабочего органа в ручных машинах используют пневматические, электрические и реже гидравлические приводы.

По назначению различают ручные машины общего применения (сверлильные, шлифовальные, полировальные, фрезерные), для слесарно-доводочных работ (развальцовочные, развертывающие, зенковальные, опиловочные, ножницы, кромкорезы, шаберы, пилы по металлу, зачистные и рубильные молотки), для сборочных работ (резьбозавертывающие, резьбонарезные, клепальные молотки, скобозабивные).

Подъемно-транспортные средства, применяемые в сборочных цехах обычно делят на подъемные (гидравлические, пневматические и гидропневматические домкраты, электрические лебедки, полиспасты, тали, электро- и пневмоподъемники, подъемники-кантователи и др.), подъемно-транспортные (тельферы, кран-балки, мостовые краны, поворотные краны, передвижные напольные краны) и транспортные (рольганги, тележки рельсовые и безрельсовые, конвейеры).

В настоящем разделе курсовой работы необходимо на основе составленного маршрутного технологического процесса сборки подобрать

для каждой операции оборудование и оснащение и подъемно-транспортные средства, обеспечивающие функционирование процесса сборки и обосновать сделанный выбор, руководствуясь содержанием операций, особенностями конструкции изделия, объемом производства и справочными данными. Для выбранного оборудования и оснастки необходимо привести марку описание и основные характеристики, которые были основанием для выбора.

Пример 19. *Выбрать для оснащения технологического процесса производства ротора (Приложения 5 и 6) асинхронного двигателя оборудование, приспособления и инструменты.*

Пресс гидравлический П6320 выбран ранее, когда определялся способ сборки ротора. Для сборки ротора на прессе необходимо нестандартное приспособление, например, как показано в [1, рис. 24.14], (В курсовой работе необходимо привести схему подобной конструкции).

Для повышения качества соединения необходимо откалибровать отверстие в роторе на вертикальном протяжном полуавтомате типа 7Б64 [1, с. 211–212, 398–402], [39, с. 63–64], [45, с. 319–325]. Основные технические характеристики полуавтомата: номинальная тяговая сила – 50 кН; рабочая ширина стола – 320 мм; расстояние от салазок до оси отверстия в столе – 150 мм; наибольшая длина хода салазок – 1000 мм; скорость рабочего хода протяжки – 1,5–11,5 м/мин; скорость обратного хода протяжки – 20 м/мин; мощность электродвигателя привода главного движения – 11 кВт; габаритные размеры: длина – 2875 мм, ширина – 1350 мм, высота – 3640 мм; масса – 5050 кг. Инструмент для калибровки отверстия – стандартная протяжка для внутреннего протягивания круглая переменного резания диаметром 18Н7 мм [39, с. 163–165].

Аналогично необходимо выбрать и описать токарный станок и резец для обтачивания наружного диаметра сердечника ротора, шлифовальный станок и камень для чистовой обработки шеек вала, балансировочный станок для динамической балансировки ротора, инструмент для монтажа балансировочных шайб, установку и инструмент для окраски сердечника ротора.

Пример 20. *Выбрать для оснащения технологического процесса производства сердечника с катушкой тормозной муфты механизма подъема крана (Приложение 11, 12 и 13) оборудование, приспособления и инструменты.*

Последовательность выполнения операций изложена в примере 18. При изготовлении сердечника с катушкой используется следующее оборудование: сушильная печь и токарный станок.

Сушка компаунда класса изоляции F осуществляется при температуре 125 – 135⁰ С. Выбираем сушильную печь марки ШС-80-01 (200). Основные технические характеристики шкафа:

- объем рабочей камеры – 80 л ;
- диапазон рабочих температур, – 50... 200 градусов °С;
- питание – 220 В, 50 Гц;
- потребляемая мощность – 1,6 кВт;
- размеры рабочей камеры – 560*390*370 мм;
- масса – 45 кг.

Для сушки сердечника в шкафу необходимо спроектировать и изготовить приспособление-контейнер, в котором будет размещено 3-4 сердечника для одновременной сушки. Такой контейнер существенно снизит штучное время процесса сушки.

Учитывая, что диаметр сердечника составляет 120 мм , а длина – 80 мм, для обработки полюсов выбираем токарно-винторезный станок 16К20. Основные характеристики данного станка:

- наибольшая длина обрабатываемого изделия, мм – 1000;
- высота оси центров над направляющими станины, мм – 215;
- пределы оборотов, об/мин – 12,5 – 1600;
- мощность двигателя главного привода, кВт – 11,0;
- наибольший диаметр изделия, мм – 400 ;
- наибольший диаметр обработки над поперечными салазками суппорта, мм – 220;
- габаритные размеры станка, м – 2,8*1,2*1,5;
- масса станка, кг – 3005 .

Обработка поверхности полюсов – торцовая, чистовая. Для этой операции подбираем подрезной резец для чистовой обработки.

Для операции контроля указанных размеров, биений, шероховатости необходимо следующее оборудование. Контроль длины сердечника 80_{-0,2} осуществим с помощью набора мерительных скоб, которые будут изготовлены в процессе подготовки производства. Измерение глубины расположения пропиточного компаунда относительно полюсов (3 мм min) осуществляется с помощью приспособления-шаблона, у которого к плоскости прикреплен выступ высотой 3 мм.

Для контроля биений плоскости полюсов относительно оси вращения (0,03 мм) необходим технологический вал с подставкой. Он размещается на мерительном столе. Рядом на стойке закреплен стрелочный индикатор биений ИЧ–2 ГОСТ 577-68, который мерительной штангой (иглой) упирается в плоскость полюсов. При вращении сердечника легко определить величину максимальных биений.

Для контроля шероховатости поверхности полюсов используется набор плоских эталонов: набор ОШС по стали – Точение (Т) ГОСТ 9378-93.

Рекомендуемая литература: [1, с. 104–108, 111–115, 123–133, 387–409], [10, с. 122–245, 274–369], [18], [35, с. 137–237], [39, с. 5–260, 322–381].

Контрольные вопросы:

1. Как влияет тип производства на выбор оснастки и оборудования для сборки?
2. Виды и назначение оснастки для сборки изделий.
3. Виды и назначение оборудования и транспортно-подъемных средств в сборочном производстве.
4. Особенности выполнения сборочных операций различных узлов электрической машины.
5. Виды механизированных приспособлений для сборки

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Цель выполнения курсовой работы – привить студентам основные навыки по проектированию маршрутного технологического процесса механической обработки деталей электрических машин, по расчету припусков и предельных размеров для технологических переходов и нормированию механической обработки.

В задании к курсовой работе (*Приложение 20*) приведены исходные данные для проектирования технологического процесса и указаны разделы, которые необходимо выполнить. К заданию выдается чертёж детали (*Приложение 21*), для которой проектируется технологический процесс механической обработки в условиях серийного производства.

Студенту предоставляется право самостоятельно предложить чертёж детали, например, с изделия по месту работы или производственной практики, и, согласовав с руководителем курсовой работы, получить задание.

Курсовая работа включает следующие разделы: служебное назначение детали, описание и анализ технологичности её конструкции; выбор метода получения заготовки детали; определение припусков на обработку, допусков и операционных размеров; выбор метода механической обработки, установочных баз и установление последовательности операций; выбор оборудования и технологической оснастки; техническое нормирование операций и определение потребного количества оборудования.

7. Анализ исходных данных для проектирования механической обработки

Исходные данные представлены в задании к курсовой работе и в приложенном к нему чертеже. В задании (*Приложение 20*) указаны годовая программа выпуска деталей, разделы курсовой работы, срок сдачи выполненной работы. Эта информация будет использована в ходе выполнения работы.

Чертёж детали позволяет в первую очередь сделать описание детали и сформулировать её служебное назначение.

В описании детали дать назначение отдельных поверхностей детали; охарактеризовать материал, из которого изготовлена деталь, описать его особенности и свойства; описать особенности отдельных поверхностей, оценив точность размеров, шероховатость, отклонения

формы и расположения поверхностей; отметить дополнительные технические требования, предъявляемые чертежом к детали в целом и к отдельным её поверхностям. Из описания назначения и конструкции детали должно быть ясно, какие поверхности и размеры имеют основное значение для служебного назначения детали и какие – второстепенное. Давая описание детали указать предварительно на методы обработки отдельных поверхностей.

Под служебным назначением детали понимают максимально уточнённую и чётко сформулированную задачу, для решения которой предназначена деталь. Формировать служебное назначение детали целесообразно исходя из области применения аналогов и особенностей конструкции детали.

В конструкции электрических машин наиболее часто встречаются корпусные детали (корпусы, станины, остовы, подшипниковые щиты, фундаментные плиты) и детали типа тел вращения (валы, фланцы, подшипниковые крышки, диффузоры, втулки, кольца, стержни).

К деталям электрических аппаратов, которые подвергаются механической обработке, относятся также корпусные (корпусы, крышки), детали магнитной системы электромагнитов постоянного (выпрямленного) тока (якоря, магнитопроводы), детали тел вращения (валы переключателей, командоконтроллеров и пр., тяги, поворотные якоря).

Корпусные детали машин представляют собой базовые детали, на которые устанавливают различные присоединяемые детали и сборочные единицы, точность относительного положения которых должна обеспечиваться как в статике, так и в процессе работы машины под нагрузкой.

В соответствии с этим корпусные детали должны иметь требуемую точность, обладать необходимыми параметрами жёсткости и виброустойчивости, что обеспечивает постоянство относительного положения соединяемых деталей и сборочных единиц, правильность работы механизмов и отсутствие вибраций.

Кроме механических характеристик к корпусным деталям могут быть предъявлены специальные требования, например, повышенная магнитная проницаемость, хорошая теплопроводность материала, повышенная теплоотдача с поверхности и прочие.

Конструктивное исполнение корпусных деталей, применяемый материал и необходимые параметры точности определяют исходя из служебного назначения деталей, требований к работе механизмов и условий их эксплуатации. При этом учитываются и технологические факторы, связанные с возможностью получения требуемой конфигурации заготовки, возможностями механической обработки и удобства сборки, которую начинают с базовой корпусной детали. В качестве материала

для изготовления корпусных деталей применяют во многих случаях серый чугун. Заготовки из серого чугуна изготавливают методом литья. В машинах малой мощности корпусные детали изготавливают из алюминиевых сплавов методом литья под давлением или методом экструзии. В машинах большой мощности заготовки корпусных деталей изготавливают из стального проката сваркой.

Корпусные детали электрических аппаратов изготавливаются прессованием из листового проката, пластмассы, алюминиевого сплава. Для специальных исполнений возможно изготовление таких деталей литьем с последующей механической обработкой. В качестве материала этих деталей могут использоваться серый чугун, сталь конструкционная, цветные металлы.

Детали магнитных систем электрических аппаратов изготавливаются из низкоуглеродистой стали (Ст.3, Ст.5, Ст.10), обладающие гарантированной магнитной проницаемостью. В качестве заготовок для них используется прокат листовой, валы, полосы.

Детали типа тел вращения электрических машин и аппаратов различны по служебному назначению, конструкции, размерам и материалу. Они могут быть с большим отношением длины к диаметру (валы, оси), с отношением – около единицы (втулки, цилиндры) и с малым отношением – меньше 0,5 (фланцы, крышки).

Различие конструктивных форм и размеров деталей влияет на способ базирования заготовок и последовательность их обработки. Объединяющим признаком этих деталей является то, что они образованы в основном наружными, внутренними и торцовыми поверхностями, имеющими общую ось вращения. Поэтому при обработке таких деталей, кроме общей задачи получения заданных размеров, стоит технологическая задача обеспечения соосности поверхностей и точного расположения торцов относительно оси детали. При изготовлении деталей типа тел вращения наиболее широко применяется токарная обработка.

Наиболее трудоёмки в изготовлении ступенчатые валы, имеющие шейки под подшипники, шпоночные канавки, шлицевые и резьбовые поверхности.

Валы в основном изготавливают из конструкционных и легированных сталей, которые обеспечивают высокую прочность, хорошо обрабатываются, для повышения износостойкости подвергаются термической обработке.

К валам обычно предъявляются следующие требования: точность сопрягаемых поверхностей по 6 качеству, шероховатость поверхности $R_a = 2,5-0,63$ мкм, допуск цилиндричности и круглости шеек под подшипники – 0,25–0,5 допуска на диаметр, допуск радиального бие-

ния посадочных поверхностей относительно шеек под подшипники – 0,25–0,5 допуска на диаметр, допуск соосности шеек под подшипники – 0,01–0,02 мм. Заготовки для валов изготавливают из цилиндрического проката, штамповкой, ковкой.

Фланцы (подшипниковые крышки) служат для ограничения осевого перемещения вала, расположенного в подшипниках в машине, за счёт создания определённого натяга или гарантированного осевого зазора между торцом наружного кольца подшипника и торцом фланца. Фланцы также выполняют роль крышек отверстий под валы, создавая необходимое уплотнение.

Фланцы, как правило, крепятся к корпусу (подшипниковому щиту) винтами или болтами. Основными базами таких фланцев являются посадочная цилиндрическая поверхность по размеру отверстия в корпусе и малый торец центрирующего пояса. Технические требования: точность отверстий по 7–8 квалитету, точность наружных посадочных поверхностей по 6–8 квалитету, шероховатость $R_a = 1,25–2,5$ мкм, допуск соосности цилиндрических поверхностей 0,01–0,03, торцевое биение относительно оси отверстия 0,03–0,5 мм. Заготовками фланцев могут быть стальные или чугунные отливки, поковки, штамповки, диски из стального проката.

Пример 21. *Сформулировать служебное назначение и сделать описание конструкции подшипниковой крышки (Приложение 21).*

Крышка подшипниковая – ФЮРА.711423.016 предназначена для ограничения осевого перемещения вала якоря машины постоянного тока. Крышка устанавливается с наружной стороны подшипникового щита, где расположен выходной конец вала. Высокая точность размера Ø40g6 обеспечивает точность расположения крышки относительно отверстия под подшипник. Отверстие Ø18H6, через которое проходит выходной конец вала, тоже высокой точности, что позволяет стабилизировать зазор между валом и отверстием и эффективней защитить подшипник от внешних воздействий. Этому способствует и оговоренная величина биения наружного диаметра упорного выступа Ø40g6 относительно отверстия Ø18H6. Крышка крепится к подшипниковому щиту с помощью четырёх болтов, ввёртываемых в резьбовые отверстия щита. Крышка будет изготавливаться из качественной конструкционной стали 45. Эта сталь хорошо обрабатывается и имеет высокую прочность. В чертеже не оговорен способ получения заготовки крышки. Учитывая малое отношение длины детали к диаметру (0,111) целесообразно заготовку изготавливать методом объёмной штамповки при серийном производстве или резкой сортового проката на диски при мелкосерийном.

Рекомендуемая литература: [5, с. 9–10], [16, с. 306–312, 319–338], [31, с. 94–99, 114–119, 208–211, 227–229], [32].

Контрольные вопросы:

1. Что должно содержать описание конструкции детали?
2. Что содержит служебное назначение?

8. Оценка технологичности конструкции детали

Совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ, представляет собой технологичность конструкции изделия.

На технологичность конструкции с производственной точки зрения оказывают влияние в основном две группы факторов: технические (обрабатываемость, наличие и особенности баз, форма детали, размеры и т.д.) и организационные (серийность, объем производства, традиции предприятия и пр.). В курсовой работе необходимо оценить влияние технических факторов, которые, в основном, будут установлены при описании детали.

Для оценки технологичности конструкции могут быть применены два метода: количественный и качественный. Для количественной оценки технологичности конструкции необходимо иметь данные по изделию аналогу, которых при выполнении курсовой работы, как правило, нет.

Поэтому в курсовой работе необходимо выполнить качественную оценку технологичности конструкции детали, учитывая технологические требования, предъявляемые к заготовке детали, к детали, как к представителю определенного конструктивного класса (корпусные детали, валы, фланцы, щиты, оси, втулки, рычаги и пр.), к детали, как к изделию, подвергаемому механической обработке резанием.

В ходе оценки технологичности надо будет указать, что в данной конструкции повышает ее технологичность, а что снижает, предложить пути повышения технологичности. При качественной оценке технологичности конструкции изделия обычно сравнивают с аналогом или руководствуются практическим опытом. Но, если нет ни того ни другого, то используют справочники и техническую литературу.

Наиболее технологичной считают конструкцию детали, отвечающую следующим требованиям:

- Конструкция детали должна обеспечивать обработку плоскостей напроход.

- Конструкция детали допускает обработку отверстий одновременно на многошпиндельных станках с учётом расстояний между осями этих отверстий.
- Конструкция отверстий в детали позволяет растачивать их напроход с одной или двух сторон.
- Конструкция детали обеспечивает свободный доступ инструмента к обрабатываемым поверхностям.
- Не желательна подрезка торцов ступиц с внутренних сторон отливки или есть возможность устранить такие операции.
- В конструкции детали не должно быть глухих отверстий.
- В конструкции детали не должно быть обрабатываемых поверхностей, расположенных под тупыми или острыми углами.
- В конструкции детали не должно быть отверстий, расположенных не под прямым углом к плоскости входа и выхода.
- Деталь должна иметь достаточную жёсткость и прочность, при которых исключается возможность вибрации в процессе обработки или недопустимого деформирования от сил резания и закрепления.
- Деталь должна иметь удобные технологические базы, обеспечивающие требуемую ориентацию и надёжное закрепление детали на станке при возможности обработки её с нескольких сторон и свободного подвода инструмента к обрабатываемой поверхности.
- В конструкции детали не должно быть внутренних резьб большого диаметра.
- Обрабатываемые поверхности приливов и платиков на соответствующих наружных сторонах детали желательно располагать в одной плоскости.
- Главные отверстия, требующие точной обработки, следует делать гладкими, сквозными, с минимальным числом ступеней, что позволяет выполнять обработку на проход с меньшим числом инструментов.
- Отверстия, расположенные на одной оси в противоположных стенках, желательно назначать одного диаметра.
- Необходимо следить за тем, правильно ли выбраны элементы конструкции детали, позволяющие выбрать наиболее простой способ изготовления заготовки.
- Крепёжные отверстия в конструкции детали желательно назначать одинаковых размеров с возможностью нарезания в них резьбы метчиками, что позволяет использовать стандартные циклы обработки.
- Конструкция детали типа тела вращения должна обеспечивать обработку поверхности проходными резцами.

- Размеры шеек к концам вала должны уменьшаться.
- Следует учитывать, что открытые шпоночные пазы у валов более производительно обрабатывать дисковыми фрезами, но в закрытых шпоночных пазах нет необходимости дополнительно фиксировать шпонку.
- В конструкции валов желательно уменьшать диаметры фланцев и упорных буртов.
- В конструкции ступенчатых валов желательно иметь меньшее число ступеней и меньшую разницу диаметров ступеней.
- Жёсткость вала должна допускать получение высокой точности обработки.
- Детали, обрабатываемые на протяжных станках, должны иметь равномерную жёсткость по длине и достаточную прочность.
- Размеры поверхностей детали должны соответствовать нормальному ряду длин и диаметров.
- Геометрические элементы детали (канавки, радиусы, центровые отверстия, пазы) должны быть унифицированы по форме и размерам.
- Не следует предусматривать сквозные отверстия с отношением длины к диаметру более 10.
- Если необходимы глухие отверстия, то их длина не должна превышать шесть диаметров.

Пример 22. Произвести оценку технологичности конструкции крышки подшипниковой – ФЮРА.711423.016 (Приложение 21).

Крышка подшипниковая изготавливается из конструкционной стали 45, которая имеет высокую прочность и хорошую обрабатываемость. Способ получения заготовки детали в чертеже не оговорен и будет выбран в ходе проектирования технологического процесса. Деталь представляет собой тело вращения, поэтому в основном будет применяться токарная обработка.

Обработку большинства поверхностей, в том числе и наиболее точных, можно выполнить с одной установки, приняв за базу наружный диаметр заготовки. Это обеспечит и требуемую величину биения поверхности Ø40g6 относительно отверстия Ø18H6.

В детали все отверстия выполнены напроход. Все размеры выбраны из рядов нормальных линейных значений, за исключением размеров Ø72 и Ø6,4, но они низкой точности.

Конструкция крышки обеспечивает свободный доступ инструмента к обрабатываемым поверхностям. Внутреннее отверстие Ø18H6 гладкое, без дополнительных ступеней, что обеспечивает обработку напроход. Следует отметить, что размеры Ø40g6 и Ø18H6 можно в подшипниковой

крышке выполнить только с применением тонкого точения. Но это требование, очевидно, определено особенностями машины, в состав которой входит крышка.

Рекомендуемая литература: [2, с. 488–517], [3, с. 164–197], [27] [5, с. 10–18], [31, с. 110–114], [43, с. 12–17, 77–84, 379–522].

Контрольные вопросы:

1. Что такое технологичность конструкции изделия?
2. Назовите способы оценки технологичности конструкции изделия.
3. Как производится качественная и количественная оценки технологичности конструкции изделия?
4. Назовите факторы, влияющие на технологичность конструкции изделия.
5. Как оценивается точность размера поверхности?

9. Выбор метода получения заготовки

Методы получения заготовок для деталей достаточно разнообразны. Для многих деталей заготовки могут быть получены литьем. В свою очередь различают литье в разовые формы (земляные с ручной и машинной формовкой, оболочковые, с выплавляемыми моделями) и в постоянные формы (литье в кокили статическое, центробежное, вибрационное, под давлением, штамповкой жидкого металла).

В зависимости от способа литья можно получить разную толщину стенок заготовки, различную точность, шероховатость, обеспечить разную производительность. В ряде случаев, как правило, для заготовок крупных деталей применяется ковка свободная и специальная.

Широко применяется для получения заготовок штамповка: горячая объемная, холодная объемная (гибка, вытяжка, высадка), холодная вырубная.

Во многих случаях для получения заготовок используется прокат сортовой круглый, листовой, трубный, профильный, периодический, поперечно-винтовой, поперечно-клиновой. При этом заготовки больших габаритов часто изготавливают сваркой из различных видов проката и гофрированной стали.

Для некоторых деталей получают заготовки методами металлокерамики, экструзии алюминиевых сплавов и прессованием пластмасс.

На выбор метода получения заготовки оказывают влияние материал детали, назначение и технические требования на изготовление детали, объем и серийность выпуска, форма поверхностей и размеры детали.

Для рационального выбора заготовки необходимо одновременно учитывать все вышеперечисленные исходные данные и окончательное

решение можно принять только после экономического комплексного расчёта себестоимости заготовки и механической обработки. Однако в курсовой работе достаточно сложно выполнить полное экономическое обоснование выбора заготовки в виду отсутствия необходимой информации.

В большинстве случаев заготовки для деталей могут быть получены несколькими методами. Поэтому в курсовой работе необходимо выбрать два альтернативных метода получения заготовки для детали по заданию (в ряде случаев один из методов может быть оговорен чертежом) и сравнить их между собой по стоимости заготовки по материалу. Для этого необходимо определить массу заготовки.

Массу заготовки из сортового цилиндрического проката можно определить, зная диаметр выбранного проката и длину заготовки. Длина заготовки равна длине детали плюс припуск на обработку. Припуск в зависимости от способа резки прутков можно предварительно выбрать из табл. 5 [41].

Таблица 5

Припуски (в мм) по длине на отрезку прутков различных диаметров

Инструмент	До 20	20–30	30–75	75–100	100–150
Механическая ножовка	2,5	2,5	2,5	2,5	3
Отрезной резец	3	3,5	4	5	6
Сортовые ножницы	4	4,5	5,5	6,5	8

Заготовки валов диаметром до 50 мм и длиной до 400 мм в ряде случаев получают поперечно-клиновой прокаткой, а для валов диаметром 60–150 мм и длиной 500–1200 мм – радиальной ковкой. В этом случае массу заготовок можно ориентировочно рассчитать, если учесть, что при поперечно-клиновой прокатке припуск на диаметр равен 0,5–1 мм, а на длину 0,7–2 мм и при радиальной ковке припуск на диаметр равен 0,7–2 мм, а на длину – 1–3 мм [1, 14].

Ориентировочную величину расчетной массы заготовок, полученных литьём или объёмной штамповкой (поковки) допускается вычислять по формуле

$$Q = qK_p,$$

где Q – расчётная масса заготовки, кг,

q – масса детали, кг,

K_p – расчётный коэффициент, определяемый из табл. 6.

Стоимость материала заготовок в зависимости от способа их получения, массы заготовки, стоимости материала заготовки и стоимости отходов в стружку определяется по формулам в [5, с. 29–39].

Пример 23. Произвести выбор заготовки для изготовления крышки подшипниковой – ФЮРА.711423.016 (Приложение 21).

Заготовку можно изготовить методом объёмной штамповки на горизонтально-ковочной машине (ГКМ) или резкой сортового проката на дисках на ножницах сортовых модели Н1838.

Стоимость заготовки по материалу, изготовленной методом штамповки на ГКМ определяется выражением [5, с. 31] и равна:

Таблица 6

Коэффициент (K_p) для определения ориентировочной расчётной массы поковки

Группа	Характеристика детали	Типовые представители	K_p
1	Удлинённой формы		
1.1	С прямой осью	Валы, оси, цапфы, шатуны	1,3–1,6
1.2	С изогнутой осью	Рычаги, сошки рулевого управления	1,1–1,4
2	Круглые и многогранные в плане		
2.1	Круглые	Шестерни, ступицы, фланцы	1,5–1,8
2.2	Квадратные, прямоугольные, многогранные	Фланцы, ступицы, гайки	1,3–1,7
2.3	С отрезками	Крестовины, вилки	1,4–1,6
3	Комбинированной формы (сочетающей элементы групп 1-й и 2-й) конфигурации	Кулаки поворотные, коленчатые валы	1,3–1,8
4	С большим объёмом необрабатываемых поверхностей	Балки передних осей, рычаги переключения коробок передач, буксирные крюки	1,1–1,3
5	С отверстиями, углублениями, поднутрениями, не оформляемыми в поковке при штамповке	Полые валы, фланцы, блоки шестерен	1,8–2,2

$$S_{\text{заг}} = (0,001 C_i \cdot Q_{\text{ш}} k_{\text{т}} \cdot k_{\text{с}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{п}}) - (Q_{\text{ш}} - q) \cdot 0,001 \cdot S_{\text{отх}} =$$

$$= (0,001 \cdot 373 \cdot 0,233 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1) - (0,233 - 0,141) \cdot 0,001 \cdot 22,6 = 0,128 \text{ руб},$$

где $C_i = C_4 = 373$ руб. – базовая стоимость 1 т штамповок [5, с. 37];

$Q_{\text{ш}} = q K_p = 0,141 \cdot 1,65 = 0,233$ кг – масса штампованной заготовки;

$q = 0,141$ кг, – масса детали из чертежа;

$K_p = 1,65$ – расчётный коэффициент из табл. 6;

$k_{\text{т}} = 1$ – для нормальной точности штамповок [5, с. 37];

$k_{\text{с}} = 0,75$ – для стали углеродистой, детали первой группы сложности [5, табл. 2.12];

$k_{\text{в}} = 2$ – для стали углеродистой при массе штампованной заготовки не более 0,25 кг [5, табл. 2.12];

$k_m = 1$ – для стали углеродистой [5, с. 37];

$k_{\pi} = 1$ – для массы заготовки менее 0,25 кг при объеме производства 25 тыс. штук [5, табл. 2.13];

$S_{отх} = 22,6$ руб. за 1 т – цена стружки для стали углеродистой [5, табл. 2.7].

Для заготовки из сортового проката выбираем прутки диаметром 75 мм, чтобы обеспечить точность наружного диаметра крышки $\varnothing 72h14$.

Осовой размер крышки равен 8 мм.

Припуск на длину заготовки при резке сортовыми ножницами равен 5,5 мм (табл. 5).

Тогда осевая длина заготовки $L = 8 + 5,5 = 13,5$ мм. Стоимость заготовки из круглого сортового проката по материалу будет равна [5, с. 30]:

$$M = Q_{\text{пр}} \cdot S - (Q_{\text{пр}} - q) \cdot 0,001 \cdot S_{\text{отх}} = 0,466 \cdot 0,169 - (0,466 - 0,141) \cdot 0,001 \cdot 22,6 = 0,071 \text{ руб.,}$$

где $Q_{\text{пр}} = 0,25 \pi \cdot L \cdot \gamma \cdot D^2 = 0,25 \cdot \pi \cdot 0,075^2 \cdot 0,0135 \cdot 7814 = 0,466$ кг – масса заготовки из проката;

$D = 0,075$ м – диаметр заготовки из проката;

$L = 0,0135$ м – осевая длина заготовки;

$\gamma = 7814$ кг/м³ – плотность стали 45 [14];

$S = 0,169$ руб./кг – стоимость стали 45 [5, табл. 2.6].

При заданных условиях производства и конструкции детали наиболее целесообразно заготовку с точки зрения стоимости заготовки по материалу получать резкой сортового проката.

Рекомендуемая литература: [1, с. 43–98], [5, с. 25–39], [6], [16, с. 312–319], [38, с. 114–174], [32].

Контрольные вопросы:

1. Методы получения заготовок.
2. Особенности литых заготовок, штампованных, из различных видов проката, сварных заготовок, полученных методом экструзии, методом свободнойковки.
3. Принципы выбора метода получения заготовки.
4. Обоснование выбора метода получения заготовок.
5. Перечислить виды литья и их особенности.

10. Выбор метода механической обработки, установочных

баз и составление маршрута обработки

Заданные форма, размеры и качество поверхностей деталей достигаются во многих случаях обработкой резанием. Обработку резанием в зависимости от получаемых точности и качества поверхности разделяют на обдирную, черновую, получистовую и чистовую. Для получения

особо точных размеров и минимальной шероховатости поверхности применяют тонкую обработку.

В зависимости от формы, размеров, особенностей и требуемого качества поверхностей применяют различные методы механической обработки. На станках токарного типа выполняют обработку резцами цилиндрических, конических, плоских торцевых и фасонных поверхностей вращения.

Плоские поверхности прямоугольного типа обрабатывают резцами на строгальных и долбежных станках.

На фрезерных станках с применением различных типов фрез обрабатывают большие открытые плоские поверхности, фасонные, сложно-профильные, пазы и гнезда.

На сверлильных станках получают и обрабатывают отверстия сверлением различными сверлами, а для повышения точности зенкуют и развертывают.

Сквозные отверстия, пазы любого сечения, плоские и криволинейные поверхности могут быть получены протягиванием на протяжных станках.

Для получения поверхностей повышенной точности и качества широко применяется шлифование. Обработка ведется абразивными кругами на кругло- и плоскошлифовальных станках.

Для получения поверхностей высокой точности и очень малой шероховатости применяются такие виды абразивной обработки поверхностей как хонингование, суперфиниширование, притирка, полирование.

Выбор того или иного метода механической обработки зависит от требований, предъявляемых к поверхности, которую необходимо получить после обработки, и от стоимости этой обработки. Выбор метода обработки осуществляют либо по опыту, либо по таблицам средней экономической точности обработки, которые приводятся в справочниках и методических пособиях [7, табл. 2.66], [38, табл. 4, с. 8].

После выбора методов механической обработки поверхностей детали необходимо установить последовательность операций обработки деталей, т.е. составить маршрутный технологический процесс (маршрут обработки).

При составлении маршрута указывается наименование операций в последовательности их выполнения, оборудование для выполнения соответствующих операций, оснастку (приспособления и инструменты) и нормы времени.

Составляя маршрут, исходят из следующих принципов: в первую очередь обрабатываются чистовые технологические базы, затем поверхности низкой точности и последними обрабатываются поверхности

высокой точности и поверхности, которые могут быть легко повреждены в процессе обработки.

При составлении маршрута механической обработки важно определиться с базами обработки и, соответственно, со способами закрепления заготовки на станке.

При выборе технологических баз следует придерживаться следующих принципов: базы должны обеспечить удобство установки заготовки на станке и снятия готовой детали; базы должны иметь достаточную протяженность, чтобы обеспечить точную установку заготовки и надежное ее закрепление; базовые поверхности не должны деформироваться при закреплении заготовки; черновая база (предварительно не обработанная поверхность) может быть только одна; желательно технологические базы совмещать с конструкторскими, настроечными и измерительными; желательно обеспечить постоянство баз при обработке всей детали – обычно точность обработки выше с одной установкой.

Составляя схему маршрута, можно воспользоваться описаниями в [1, с. 100–122], [44, с. 23–108], а также типовыми технологическими маршрутами механической обработки деталей в [19, с. 426–467].

В ходе разработки маршрутного технологического процесса осуществляется выбор оборудования. На выбор оборудования влияют следующие факторы: метод обработки, геометрия и размеры заготовки, точность и шероховатость поверхности, величина припуска, объем производства.

Однако на этом этапе проектирования технологического процесса ряд факторов неизвестны, поэтому станки выбираются предварительно, в зависимости от метода обработки, размеров заготовки, точности и шероховатости поверхности и по возможности более дешевые. После расчета режимов резания уточняется тип станка по мощности, а после определения количества станков – по производительности: если количество станков на операцию получается больше двух, то необходимо выбирать станок с большей производительностью. Для выбора оборудования необходимо пользоваться справочниками и каталогами.

С формированием операции и выбором станка необходимо выбрать и инструмент. На выбор инструмента влияют метод обработки, материал заготовки, стоимость инструмента. Предварительно выбранные по справочнику тип, марка и размеры инструмента уточняются после расчета режимов резания.

Пример 24. Составить последовательность маршрутного технологического процесса механической обработки крышки подшипниковой (Приложение 21) и предварительно выбрать оборудование, приспособления и инструменты.

Технологический процесс может включать следующие этапы.

- За черновую базу принять наружный диаметр заготовки и один из торцов и установить в патроне токарного станка. Сверлить центральное отверстие.

- Чистовая база – отверстие. Точить наружный диаметр под размер $\varnothing 72h14$.

- Базировать по наружному диаметру и одному из торцов. Точить торцовые поверхности крышки, обеспечив размеры $\varnothing 36$ и $\varnothing 42$.

- Базировать в патроне по наружному диаметру и обработанному торцу. Точить необработанный торец, обеспечив размер 8, точить $\varnothing 34$, обеспечив глубину 3 мм, точить $\varnothing 40g6$, расточить $\varnothing 18H6$.

- На сверлильном станке по кондуктору сверлить 4 отверстия $\varnothing 6,4$.

Таким образом, для обработки необходимо 2 станка: токарный и сверлильный.

Необходимы приспособления: коническая или разжимная оправка для базирования по внутреннему отверстию при точении поверхности $\varnothing 72h14$ и кондуктор для сверления четырёх отверстий $\varnothing 6,4$.

Необходимы инструменты: резцы с твёрдосплавными пластинами – проходной прямой, отогнутый, расточной и подрезной; два спиральных сверла – одно диаметром 6,4 мм, а диаметр другого определится после расчёта припусков.

Рекомендуемая литература: [1, с. 100–122], [5, с.51–58], [13, с. 541–586], [16, с. 143–192, 319–338], [32], [38, с. 224–452], [39, с. 5–260], [45].

Контрольные вопросы:

1. Принципы выбора метода обработки резанием.
2. Принципы установления последовательности операций обработки резанием.
3. Особенности технологических процессов механической обработки валов, корпусов, подшипниковых щитов, фланцев.
4. Виды металлорежущих станков и инструментов.
5. Принципы выбора металлорежущих станков и инструментов.
6. Базы и их виды.
7. Принципы выбора баз.
8. Способы закрепления заготовок при обработке на станках.

11. Определение припусков на обработку, допусков и операционных размеров

Припуском называют слой металла, удаляемый в процессе механической обработки заготовки для достижения заданных точности и качества обрабатываемой поверхности. Различают припуски промежуточные и общие. Промежуточным припуском называют слой, снимаемый при выполнении данного технологического перехода механической обработки. Общим припуском называют сумму промежуточных припусков по всему технологическому маршруту механической обработки данной поверхности. Общий припуск определяют как разность размеров заготовки и готовой детали.

Для определения припусков на обработку применяют опытно-статистический и расчетно-аналитический методы.

При опытно-статистическом методе общие и промежуточные припуски берут по таблицам, составленным на основе обобщения и систематизации производственных данных передовых заводов.

Согласно расчетно-аналитическому методу определяется минимальный припуск, компенсирующий погрешности, возникающие в процессе предшествующего и выполняемого переходов технологического процесса изготовления детали. При последовательной обработке противоположных или отдельно расположенных поверхностей минимальный припуск $Z_{\min i}$ равен:

$$Z_{\min i} = R_{z(i-1)} + h_{(i-1)} + \rho_{(i-1)} + \varepsilon_i, \quad (19)$$

где $R_{z(i-1)}$ – шероховатость поверхности, полученная на предшествующем переходе;

$h_{(i-1)}$ – глубина дефектного слоя, полученная на предшествующем переходе;

$\rho_{(i-1)}$ – сумма отклонений формы поверхности, полученные на предшествующем переходе;

ε_i – погрешность установки, возникшая на выполняемом переходе.

При обработке наружных и внутренних поверхностей минимальный двухсторонний припуск равен:

$$2Z_{\min i} = 2(R_{z(i-1)} + h_{(i-1)} + \sqrt{\rho_{(i-1)}^2 + \varepsilon_i^2}). \quad (20)$$

Припуски, предельные промежуточные и исходные размеры заготовки удобно рассчитывать, заполняя табл. 7. При заполнении таблицы можно пользоваться источниками [5, 19, 38]. Здесь рассмотрен порядок расчёта припусков на базе справочника [38].

Значения R_z , h и ρ , во многом определяются типом заготовки.

Для заготовок из проката R_z и h определить в [38, табл. 1–3, с. 180] в зависимости от типа проката, а после механической обработки в [38, табл. 5, с. 181]. Сумма отклонений формы поверхности заготовки

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_{\text{ц}}^2} \text{ (мкм)}, \quad (21)$$

где $\rho_k = 0,5\Delta_k L$ (мкм) – кривизна заготовки;

Δ_k (мкм/мм) – удельная кривизна заготовки из проката в [38, табл. 4, с. 180];

L (мм) – длина заготовки;

$\rho_{\text{ц}} = 0,25 T$ (мкм) – смещения оси заготовки в результате погрешности центрования, если заготовка базируется при обработке не в центрах, то $\rho_{\text{ц}} = 0$;

T (мкм) – допуск на диаметральный размер проката заготовки в [38, табл. 62, с. 169].

Для литых заготовок R_z и h определить в [38, табл. 6 или 7, с. 182], а после механической обработки в [38, табл. 10, с. 185] с учётом замечаний в [38, с. 185].

Для поковок и штампованных заготовок R_z и h определить из [38, табл. 11–14, с. 185–186], а после механической обработки – из [38, табл. 25, с. 188]. Параметр ρ_3 для штампованной заготовки складывается из кривизны заготовки ρ_k , смещения половин штампа при штамповке на прессах $\rho_{\text{см}}$ и смещения оси заготовки в результате погрешности центрования $\rho_{\text{ц}}$.

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2} \text{ (мкм)}, \quad (22)$$

где $\rho_k = 0,5\Delta_k L$ (мкм) – кривизна заготовки;

Δ_k (мкм/мм) – удельная кривизна штампованной заготовки в [38, табл. 15–16, 19 с. 186];

L (мм) – длина заготовки;

$\rho_{\text{ц}} = 0,25 T$ (мкм) – смещения оси заготовки в результате погрешности центрования. Если заготовка базируется при обработке в центрах, то $\rho_{\text{ц}} = 0$;

T (мкм) – допуск на диаметральный размер базы заготовки, используемый при центровании заготовки в [38, табл. 23, с. 146];

$\rho_{\text{см}}$ (мкм) – определить из [38, табл. 18, 20, с. 187].

Остаточное отклонение формы и положения поверхностей после различных видов механической обработки заготовки определять по выражению

$$\rho_{\text{ост}} = \rho_3 K_y \text{ (мкм)}, \quad (23)$$

где K_y – коэффициент уточнения, определяемый из [38, табл. 29, с. 190].

Погрешность установки $\varepsilon = 0$ при условии обработки в центрах и определяется из [38, табл. 12–18, с. 41–48] для других способов базирования.

При расчете удобно результаты заносить в табл. 7 (см. пример 25) придерживаясь ниже следующего порядка. При этом следует учесть, что в процессе снятия припуска при обработке вала (внешней поверхности) размер уменьшается, а при обработке отверстия (внутренней поверхности) размер увеличивается. Поэтому в описании порядка расчета припуска особенности, касающиеся расчета припуска для отверстия, указаны в квадратных скобках.

1. По чертежу детали выявить поверхности, подлежащие обработке.
2. Записать для каждой поверхности переходы в порядке их следования от заготовки к готовой детали (графа 1 табл. 7).
3. Записать для каждого перехода, начиная с заготовки, значения R_z , h , ρ , ε (графы 2, 3, 4, 5).
4. По формулам 19 или 20 определить расчетные значения $2Z_{\min}$ ($Z_{\min}$) по всем переходам (графа 6).
5. Записать для конечного перехода в графу 7 наименьший [наибольший] предельный размер поверхности детали по чертежу.
6. Для предыдущего перехода определить расчетный размер путем прибавления к наименьшему предельному размеру [путём вычитания из наибольшего предельного размера] по чертежу расчетного припуска (графа 7).
7. Последовательно определить расчетные размеры для каждого предыдущего перехода путем прибавления к расчетному размеру [вычитания из расчетного размера] расчетного (минимального) припуска следующего за ним смежного перехода (графа 7).
8. Записать в графу 8 для конечного перехода допуск размера по чертежу, а для каждого предыдущего перехода допуск, зависящий от точности метода получения размера на этом переходе [5, 19].
9. Записать наименьшие [наибольшие] предельные размеры по всем переходам, округляя их увеличением [уменьшением] расчетных размеров; округлять до того десятичного знака, с каким дан допуск на размер (графа 9 [графа 10]).
10. Определить наибольшие [наименьшие] предельные размеры путем прибавления [вычитания] допуска к округленному наименьшему [от округлённого наибольшего] предельному размеру (графа 10 [графа 9]).

11. Записать предельные значения припусков $2Z_{\max}$ ($Z_{\max}$) (графа 11) как разность наибольших [наименьших] предельных размеров и $2Z_{\min}$ ($Z_{\min}$) (графа 12) как разность наименьших [наибольших] предельных размеров предыдущего и выполняемого [выполняемого и предыдущего] переходов.

12. Определить общие припуски $2Z_{\max}$ ($Z_{\max}$) и $2Z_{\min}$ ($Z_{\min}$) суммируя промежуточные припуски (графы 11, 12).

13. Проверить правильность расчетов по формулам:

$$\begin{aligned} Z_{\max i} - Z_{\min i} &= T_{(i-1)} - T_i; & 2Z_{\max i} - 2Z_{\min i} &= TD_{(i-1)} - TD_i; \\ Z_{\max} - Z_{\min} &= T_3 - T_d; & 2Z_{\max} - 2Z_{\min} &= TD_3 - TD_d; \end{aligned}$$

где: $T_{(i-1)}$, T_i – допуски линейных размеров по переходам,

$TD_{(i-1)}$, TD_i – допуски диаметральных размеров по переходам,

T_3 , T_d – допуски линейных размеров заготовки и детали,

TD_3 , TD_d – допуски диаметральных размеров заготовки и детали.

В курсовой работе припуски расчетно-аналитическим методом определить для поверхностей, указанных преподавателем.

Пример 25. Для детали крышка подшипниковая (Приложение 21) рассчитать припуски на механическую обработку поверхностей с размерами $\varnothing 18H6$ и $\varnothing 40g6$ расчетно-аналитическим методом.

Заготовка крышки подшипниковой получена резкой круглого сортового проката нормальной точности диаметром 75 мм.

Определим припуски, промежуточные размеры и допуски по переходам на размер $\varnothing 18H6(^{+0,011})$. Эта поверхность обрабатывается в три перехода и два установа. Последовательность обработки: сверление отверстия на токарном станке, чистовое растачивание, тонкое растачивание.

Записываем эти переходы в табл. 7 (графа 1). Заполняем в графы 2, 3, 4, 5 значения параметров R_z , h , ρ , ε . Из [38, табл. 1, стр. 180] для заготовки из проката обычной точности $\varnothing 75$ $R_z = 160$ мкм, $h = 250$ мкм. Отклонение формы поверхности при закреплении в патроне [38, формула 12, с. 177]:

$$\rho_3 = \Delta_K L / (\Delta_K^2 + 0,25) = 0,5 \cdot 13,5 / (0,5^2 + 0,25) = 13,5 \text{ мкм},$$

где $\Delta_K = 0,5$ мкм/мм [38, табл. 4, с. 180];

$L = 13,5$ мм – длина заготовки (см. пример 23).

Переход – сверление отверстия $\varnothing 18H6$ спиральным сверлом: $R_z = 40$ мкм, $h = 60$ мкм [38, табл. 27, стр. 190]; по формуле [5, табл. 4.7] с учётом остаточного значения от ρ_3 определим отклонение формы отверстия:

Таблица 7

Расчёт припусков, допусков и промежуточных размеров

Переход	Элементы припуска (мкм)				Расчётные		Допуск на размер (мкм)	Предельные размеры по переходам (мм)		Предельный припуск (мм)	
					минимальн. припуск $2Z_{\min}$ ($Z_{\min}$) (мкм)	Размер наименьший [наибольший] (мм)		$2Z_{\max}$ ($Z_{\max}$)	$2Z_{\min}$ ($Z_{\min}$)		
	R_z	h	ρ	ε						min	max
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Размер Ø18H6											
Заготовка	160	250	13,5	—		0					
1)Сверление отверстия	40	60	26,6	500	1820,4	17,5603	270	17,29	17,56		
2)Растачивание чистовое	20	20	1,06	80	368,6	17,9289	43	17,885	17,928	0,599	0,373
3)Растачивание тонкое	4,8	—	0,8	0	82,1	18,011	11	18	18,011	0,115	0,083
$\Sigma Z_{\max i}$ и $\Sigma Z_{\min i}$ на растачивание										0,714	0,456
Размер Ø40g6											
Заготовка	160	250	13,5	—		41,9443	1800	42	43,8		
4) Точение черновое	63	60	0,81	400	1620,5	40,323	390	40,33	40,72	3,08	1,67
5) Точение чистовое	20	30	0,54	0	247,7	40,0761	39	40,077	40,116	0,604	0,253
6) Точение тонкое	3,2	—	0,41	0	101,1	39,975	16	39,975	39,991	0,125	0,102
$\Sigma Z_{\max i}$ и $\Sigma Z_{\min i}$										3,809	2,025

$$\rho_{\text{отв}} = \sqrt{(\rho_z \cdot K_y)^2 + C^2 + (\Delta_y L)^2} = \sqrt{(13,5 \cdot 0,06)^2 + 20^2 + (1,3 \cdot 13,5)^2} = 26,6 \text{ мкм},$$

где $K_y = 0,06$ (сверление – черновой вид обработки) [38, табл. 29, с. 190];

$C = 20$ мкм;

$\Delta_y = 1,3$ мкм/мм [38, табл. 28, с. 190];

$\varepsilon = 500$ мкм из [38, табл. 13, с. 42] – радиальное смещение заготовки из прутка обычной точности при установке в самоцентрирующемся трёхкулачковом патроне.

Переход чистового растачивания отверстия выполняется после обтачивания поверхности $\varnothing 72$, по которой базируется заготовка в патроне. Для чистового растачивания из [38, табл. 27, с. 190] $R_z = 20$ мкм, $h = 20$ мкм.

Отклонение формы на этом переходе определяется как остаточное от $\rho_{\text{отв}}$.

Из [38, табл. 27, с. 190] для чистового точения $K_y = 0,04$.

Тогда $\rho = \rho_{\text{отв}} \cdot K_y = 26,6 \cdot 0,04 = 1,06$ мкм.

$\varepsilon = 80$ мкм из [38, табл. 13, с. 42] – радиальное смещение заготовки из прутка обычной точности при установке в самоцентрирующемся трёхкулачковом патроне при чисто обработанной базе.

При тонком растачивании в среднем $R_z = 4,8$ мкм, $h = 0$ мкм из [38, табл. 5, с. 181]. $\rho = \rho_{\text{отв}} \cdot K_y = 26,6 \cdot 0,03 = 0,8$ мкм.

Поскольку чистовое и тонкое растачивание производится с одной установки, то для тонкого растачивания $\varepsilon = 0$.

На основании записанных в табл. 7 данных по формуле 20 рассчитываем минимальные припуски $2Z_{\text{min}}$ для размера $\varnothing 18H6$ на каждый переход:

— сверление отверстия:

$$2Z_{\text{min}1} = 2 \cdot \left(160 + 250 + \sqrt{13,5^2 + 500^2} \right) = 1820,4 \text{ мкм};$$

— растачивание чистовое:

$$2Z_{\text{min}2} = 2 \cdot \left(40 + 60 + \sqrt{26,6^2 + 80^2} \right) = 368,6 \text{ мкм};$$

— растачивание тонкое:

$$2Z_{\text{min}3} = 2 \cdot (20 + 20 + 1,06) = 82,1 \text{ мкм}.$$

Занести полученные значения $2Z_{\text{min}}$ в табл. 7 (графа 6).

Графу 7 таблицы заполняем, начиная с третьего перехода (снизу). Запишем в графу 7 для конечного перехода (тонкое растачивание), что наибольший предельный размер отверстия по чертежу равен 18,011 мм.

Начиная с конечного размера (18,011 мм) последовательным вычитанием расчётного минимального пропуска каждого технологического перехода получим расчётные размеры d_p для остальных переходов:

— для чистового растачивания $d_{p2} = 18,011 - 0,0821 = 17,9289$ мм,

— для сверления отверстия $d_{p1} = 17,9289 - 0,3686 = 17,5603$ мм

— и для заготовки $d_{p3} = 17,5603 - 1,8204 = 15,7399$ мм, если бы в заготовке было отверстие (например, заготовка штампованная), но отверстия нет и для заготовки $d_{p3} = 0$.

Запишем в графу 8 для конечного перехода допуск размера по чертежу, равный 11 мкм, а для предыдущих переходов допуски средней экономической точности [7, табл. 2.66]: для чистового растачивания $T = 43$ мкм (9 квалитет), для сверления $T = 270$ мкм (13 квалитет).

Запишем в графу 10 наибольшие предельные размеры, округляя значения из графы 7.

Запишем в графу 9 наименьшие предельные размеры, вычитая допуски (графа 8) из наибольших (графа 10).

Запишем максимальные значения припусков $2Z_{\max}$ в графу 11 как разность наименьших предельных размеров и минимальные значения припусков $2Z_{\min}$ в графу 10 как разность наибольших предельных размеров выполняемого и предыдущего.

Поскольку в заготовке нет отверстия, то размеры $\varnothing 17,29$ и $\varnothing 17,56$ практически являются припусками на сверление и в данной задаче могут служить для выбора размеров сверла.

Выбираем спиральное сверло с коническим хвостовиком, диаметр сверла 17,25 мм, длина сверла 270 мм, длина рабочей части 170 мм [39 **17**, табл. 42, с. 146]. При сверлении с точностью по 13 квалитету, выбранное сверло обеспечит предельные размеры отверстия $\varnothing 17,25$ и $\varnothing 17,52$ мм. Следовательно, припуски для чистового растачивания увеличатся до $2Z_{\max} = 0,599$, $2Z_{\min} = 0,373$.

Определим припуски, промежуточные размеры и допуски по переходам на размер $\varnothing 40g6\left(\begin{smallmatrix} -0.009 \\ -0.025 \end{smallmatrix}\right)$. Эта поверхность обрабатывается в три перехода с одного установа при базировании по предварительно обработанной поверхности $\varnothing 72$ мм. Последовательность обработки на токарном станке: черновое точение, чистовое точение и тонкое точение.

Как и выше записываем эти переходы в табл. 7 (графа 1). Заполняем в графы 2, 3, 4, 5 значения параметров R_z , h , ρ , ε . Эти параметры для заготовки определены выше. Запишем их без изменений.

Для переходов:

- точение черновое $R_z = 63$ мкм, $h = 60$ мкм;
- точение чистовое (10 квалитет) $R_z = 20$ мкм, $h = 30$ мкм;
- точение тонкое $R_z = 3,2$ мкм [38, табл. 5, стр. 181].

Отклонение формы для переходов точения определяется как остаточное от отклонения формы заготовки ρ_3 по формуле $\rho_{отв} = \rho_3 \cdot K_y$, где K_y из [38, табл. 29, с. 190] равно

- для чернового точения 0,06;
- для чистового точения 0,04;
- для тонкого точения 0,03.

Получим для точения:

- чернового $\rho = 13,5 \cdot 0,06 = 0,81$;
- для чистового $\rho = 13,5 \cdot 0,04 = 0,54$;
- для тонкого $\rho = 13,5 \cdot 0,03 = 0,41$.

Погрешность установки в самоцентрирующемся трёхкулачковом патроне (радиальное смещение) для чернового точения $\varepsilon = 400$ мкм [38, табл. 13, с. 42]. Т.к. чистовое и тонкое точение выполняются без смены базы, то погрешность базирования в этом случае равна нулю. По формуле 20 рассчитываем минимальные припуски $2Z_{\min}$ для размера $\varnothing 40g6$ на каждый переход:

- точение черновое:

$$2Z_{\min 4} = 2 \cdot \left(160 + 250 + \sqrt{13,5^2 + 400^2} \right) = 1620,5 \text{ мкм};$$

- точение чистовое:

$$2Z_{\min 5} = 2 \cdot (63 + 60 + 0,81) = 247,7 \text{ мкм};$$

- точение тонкое:

$$2Z_{\min 6} = 2 \cdot (20 + 30 + 0,54) = 101,1 \text{ мкм}.$$

Занести полученные значения $2Z_{\min}$ в табл. 7 (графа 6).

Графу 7 таблицы заполняем, начиная с третьего перехода (снизу). Запишем в графу 7 для конечного перехода (точение тонкое) наименьший предельный размер поверхности $\varnothing 40g6 \left(\begin{smallmatrix} -0.009 \\ -0.025 \end{smallmatrix} \right)$ по чертежу равный 39,975 мм. Начиная с конечного размера (39,975 мм) последовательным прибавлением расчётного минимального пропуска каждого

технологического перехода получим расчётные размеры d_p для остальных переходов:

— для чистового точения: $d_{p5} = 39,975 + 0,1011 = 40,0761$ мм;

— для чернового точения: $d_{p4} = 40,0761 + 0,2477 = 40,3238$ мм;

— для заготовки: $d_{p3} = 40,3238 + 1,6205 = 41,9443$ мм.

Запишем в графу 8 для конечного перехода допуск размера по чертежу, равный 16 мкм, а для предыдущих переходов допуски средней экономической точности [7, табл. 2.66]:

— для чистового точения $T = 39$ мкм (8 квалитет);

— для чернового точения $T = 390$ мкм (13 квалитет);

— у заготовки $T = 1800$ мкм из [38, табл. 62, с. 169] для горячекатаного круглого проката обычной точности.

Запишем в графу 9 наименьшие предельные размеры, округляя увеличением их значения из графы 7.

Запишем в графу 10 наибольшие предельные размеры, прибавляя допуски (графа 8) к наименьшим (графа 10).

Запишем максимальные значения припусков $2Z_{\max}$ в графу 11 как разность наибольших предельных размеров и минимальные значения припусков $2Z_{\min}$ в графу 10 как разность наименьших предельных размеров предыдущего и выполняемого переходов.

Определим значения суммарных припусков:

$$\Sigma 2Z_{\max} = 3,08 + 0,604 + 0,125 = 3,809 \text{ мм};$$

$$\Sigma 2Z_{\min} = 1,67 + 0,253 + 0,102 = 2,025 \text{ мм}.$$

Проверим правильность расчётов:

$$\Sigma 2Z_{\max} - \Sigma 2Z_{\min} = 3,809 - 2,025 = 1,784 \text{ мм}$$

$$TD_3 - TD_d = 1,8 - 0,016 = 1,784 \text{ мм}$$

Рекомендуемая литература: [5, с. 59–92], [7, с. 13–60, 517–522], [16, с. 253–264], [19, с. 581–608], [38, с. 175–196].

Контрольные вопросы:

1. Что называют припуском?
2. Виды припусков.
3. К чему приводит увеличение и уменьшение припуска?
4. Методы определения припусков, их достоинства и недостатки.
5. Факторы, определяющие минимальную величину припуска.
6. От чего зависит величина общего припуска?
7. Что называют допуском?
8. Какой допуск называют правильным?

9. Что называют предельным отклонением?
10. Какое предельное отклонение называют основным?

12. Расчёт режимов резания

Точность и качество поверхности после механической обработки в основном зависит от состояния системы станок – приспособление – инструмент – деталь (СПИД) и от режимов резания. К элементам режимов резания относятся: глубина резания t (мм), подача s (мм/об или мм/мин) и скорость резания v (м/мин). При назначении элементов режимов резания учитывают характер обработки, тип и размеры инструмента, материал его режущей части, материал и состояние заготовки, тип и состояние оборудования. Глубина резания и подача в основном сказываются на деформациях в системе СПИД, а скорость резания – на стойкости инструмента.

Элементы режимов резания обычно устанавливаются в следующем порядке.

В первую очередь выбирают глубину резания. При черновой обработке глубину резания t назначают по возможности максимальную, чтобы припуск снять за один проход или минимальное число проходов. При чистовой обработке глубина резания выбирается в зависимости от точности размеров и шероховатости обработанной поверхности – чем точнее и качественнее должна быть поверхность, тем меньше глубина резания.

Зная глубину резания, определяют подачу s . При черновой обработке подачу выбирают максимально возможную, исходя из жесткости и прочности системы СПИД, мощности привода станка, прочности твердосплавной пластинки и ряда других факторов. При чистовой обработке подачу выбирают в зависимости от требуемой точности и шероховатости поверхности: чем выше требования по точности и качеству поверхности, тем меньше подача.

Скорость резания рассчитывается по эмпирическим формулам в зависимости от глубины резания и подачи. Критериями при выборе скорости резания являются либо экономическая стойкость резца, либо стойкость резца при наибольшей производительности.

В курсовой работе следует придерживаться следующего порядка расчета:

1. Выбрать глубину резания t (мм) для черновой обработки в зависимости от величины установленного припуска. Если окажется, что мощность станка меньше полученной в результате расчетов, то необходимо будет увеличить число проходов черновой обработки. Глубину ре-

зания при чистовой обработке выбрать в зависимости от требуемой шероховатости. Обычно припуск при чистовой обработке снимается за два прохода и более; причем каждый последующий проход необходимо выполнять при меньшей глубине резания.

2. Выбрать по таблицам подачу s (мм/об или мм/мин) в зависимости от характера обработки, требуемого качества поверхности и заданной глубины резания.

3. Рассчитать скорость резания v (м/мин) по эмпирическим формулам в зависимости от метода обработки.

Выбранную подачу s и определенную после расчета скорости резания v частоту вращения n (об/мин) шпинделя или патрона станка необходимо согласовать со шкалой подач и частот вращения станка, выбирая из шкалы значения, полученные округлением в меньшую сторону расчетных значений.

В справочниках обычно не приводят всю шкалу значений подач и частот вращения, а указывают крайние значения шкалы ($s_{\min}$ и $s_{\max}$ или $n_{\min}$ и $n_{\max}$) и число ступеней m . Эти значения связаны между собой выражением

$$n_{\max} = n_{\min} \varphi^{m-1},$$

где φ – знаменатель геометрического ряда.

Для станков установлено семь рядов значений при $\varphi = 1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78$ и 2 .

Наиболее часто применяются ряды с $\varphi = 1,26; 1,41$ и $1,58$.

Для расчета шкалы значений частот вращения или подач необходимо найти знаменатель геометрического ряда для станка:

$$\varphi = \sqrt[m-1]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}}. \quad (24)$$

Округлив полученное значение до стандартного, рассчитать значения шкалы по формуле

$$n_i = n_{i-1} \cdot \varphi, \quad (25)$$

округляя каждый раз полученное значение до значения из рядов предпочтительных чисел [7, табл. 1.2].

4. Рассчитать силу или момент и мощность резания по формулам в зависимости от метода обработки и сравнить результаты расчета с характеристиками выбранного станка.

Пример 26. Рассчитать режимы резания для чернового точения при обработке на токарном станке поверхности с размером $\varnothing 40g6$

подшипниковой крышки (Приложение 21). Наибольший припуск на этом переходе равен 3,08 мм (см. табл. 7)

Для токарной обработки крышки выбираем универсальный токарно-винторезный станок типа 16К20 [39, табл. 9, с. 15].

Глубина резания при черновой обработке принимается обычно равной наибольшей величине припуска. В данном случае $t = 3,08$ мм.

Выбираем подачу для глубины резания до 4 мм и толщины твёрдосплавной пластины резца 4 мм $s = 1,3$ мм/об [39, табл. 13, с. 268]. Т.к. для стали 45 (см. чертёж – Приложение 21) временное сопротивление $\sigma_b = 610$ МПа [17] меньше 640 МПа, выбранное значение подачи необходимо умножить на 1,2 и умножить на 0,4, т.к. выбрали отогнутый резец с углом в плане 90° [39, табл. 6 с. 120]. Тогда

$$s = 1,3 \cdot 1,2 \cdot 0,4 = 0,624 \text{ мм/об.}$$

Проверяем полученное значение по [39, табл. 11 с. 266]. Для детали диаметром 72 мм, размерах державки резца 16×25 и при глубине резания свыше 3 до 5 подача лежит в пределах 0,5–1,1 мм/об, что соответствует расчёту.

Скорость резания определяем по формуле [39, с. 266].

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} K_v = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 3,08^{0,15} \cdot 0,624^{0,35}} \cdot 0,984 = 151,3 \text{ м/мин,}$$

где $T = 60$ мин – среднее значение стойкости при одноинструментальной обработке;

$$C_v = 350 \text{ [39, табл. 17, с. 269];}$$

$$x = 0,15 \text{ [39, табл. 17, с. 269];}$$

$$y = 0,35 \text{ [39, табл. 17, с. 269];}$$

$$m = 0,2 \text{ [39, табл. 17, с. 269];}$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} = 1,23 \cdot 1 \cdot 0,8 \text{ [39, с. 268];}$$

$$K_{mv} = K_\Gamma \cdot \left(\frac{750}{\sigma_b} \right)^{n_v} = 1 \cdot \left(\frac{750}{610} \right)^1 = 1,23 \text{ [39, табл. 1, с. 261];}$$

$$K_\Gamma = 1 \text{ [39, табл. 2, с. 262];}$$

$$n_v = 1 \text{ [39, табл. 2, с. 262];}$$

$K_{nv} = 1$ [39, табл. 5, с. 263], для состояния поверхности «без корки», т.к. заготовка предварительно обрабатывалась до размера $\varnothing 72$;

$K_{uv} = 0,8$ [39, табл. 6, с. 263], марка твёрдого сплава Т14К8 выбрана по [39, табл. 3, с. 116].

Расчётная частота вращения шпинделя станка

$$n_p = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 151,3}{\pi \cdot 43,8} = 1099,5 \text{ об/мин,}$$

где $D = 43,8$ мм – наибольший расчётный размер детали перед черновой обработкой.

Расчётную частоту вращения шпинделя необходимо согласовать с частотой вращения станка.

В справочнике для станка 16К20 приведена минимальная частота вращения патрона $n_{\min} = 12,5$ об/мин, максимальная – $n_{\max} = 1600$ об/мин и число ступеней $m = 22$ [39, табл. 9, с. 15].

Необходимо определить шкалу частот вращения шпинделя.

Знаменатель геометрического ряда в этом случае (формула 24)

$$\phi = m^{-1} \sqrt[m]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}} = 22^{-1} \sqrt[22]{\frac{1600}{12,5}} = 1,2599.$$

Округлив до стандартного, получим $\phi = 1,26$. Рассчитаем ряд частот вращения шпинделя станка, округляя получаемые значения до значений чисел нормального ряда [7, табл. 1.2]. Результаты занесём в табл. 8.

Таблица 8

Шкала частот вращения шпинделя

№ п/п	Частота вращения шпинделя (об/мин)		№ п/п	Частота вращения шпинделя (об/мин)	
	расчётная	округлённая		расчётная	округлённая
1	–	12,5	12	157,5	160
2	15,75	16	13	201,6	200
3	20,16	20	14	252	250
4	25,2	25	15	315	315
5	31,5	31,5	16	396,9	400
6	39,69	40	17	504	500
7	50,4	50	18	630	630
8	63	63	19	793,8	800
9	79,38	80	20	1008	1000
10	100,8	100	22	1260	1250
11	126	125	22	1575	1600

Ближайшая частота вращения меньше расчетной и равна: $n_p = 1000$ об/мин.

Тогда скорость резания будет равна:

$$v = 0,001 \cdot \pi \cdot D \cdot n = 0,001 \cdot \pi \cdot 43,8 \cdot 1000 = 137,6 \text{ м/мин.}$$

Рассчитаем силы резания [39, с. 271]:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 3,08^1 \cdot 0,624^{0,75} \cdot 137,6^{-0,15} \cdot 0,838 = 2597 \text{ Н,}$$

где $C_p = 300$ [39, табл. 22, с. 273];

$x = 1$ [39, табл. 22, с. 273];

$y = 0,75$ [39, табл. 22, с. 273];

$n = -0,15$ [39, табл. 22, с. 273];

$K_p = K_{mp} \cdot K_{фp} \cdot K_{yp} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{tp} = 0,856 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 = 0,838$, [39, с. 271];

где $K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{610}{750} \right)^{0,75} = 0,856$ [39, табл. 9, с. 264];

$K_{фp} = 0,89$ [39, табл. 23, с. 275];

$K_{yp} = 1,1$ [39, табл. 23, с. 275];

$K_{\lambda p} = 1$, [39, табл. 23, с. 275];

$n = 0,75$. [39, табл. 9, с. 264].

Мощность резания равна [39, с. 271]:

$$N = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60} = \frac{2597 \cdot 137,6}{1020 \cdot 60} = 5,84 \text{ кВт}$$

Мощность двигателя главного привода станка 16K20 11 кВт обеспечивает процесс обработки детали.

Рекомендуемая литература: [5, с. 92–101], [23, 24], [32], [39, с. 261–303].

Контрольные вопросы:

1. Какие параметры механической обработки называют режимами резания?
2. На что влияют режимы резания?
3. От чего зависят режимы резания?
4. Как определяют режимы резания?
5. Особенности режимов резания для разных методов обработки.

13. Техническое нормирование операций

Техническое нормирование в широком смысле этого понятия представляет собой установление технически обоснованных норм производственных ресурсов (энергии, сырья, материалов, инструмента, рабочего времени и т.д.). Одной из важных задач при проектировании технологического процесса является задача технического нормирования рабочего времени, т.е. нормирование труда.

Технически обоснованной нормой времени называют регламентированное время выполнения технологической операции в определенных организационно-технических условиях, наиболее благоприятных для данного производства.

Нормирование труда осуществляется методами опытно-статистического нормирования и технического нормирования.

Опытнo-статистический метод нормирования применяется в условиях единичного и мелкосерийного производства. Норма времени устанавливается на всю операцию путем сравнения с трудоемкостью аналогичных работ. Опытнo-статистические нормы, как правило, завышены.

Техническое нормирование труда – это совокупность методов и приемов по выявлению резервов рабочего времени и установлению необходимой меры труда. Технически обоснованная норма устанавливается с учетом наличия рационального технологического процесса, правильной для данных производственных условий организации труда и выполнения работы рабочим соответствующей квалификации с учетом передового производственного опыта.

В условиях массового производства рассчитывается норма штучного времени. Норма штучного времени – это норма времени на выполнение объема работы, равного единице нормирования. Обычно единицей нормирования является операция. Как правило, штучным временем называют отношение времени выполнения технологической операции к числу изделий, одновременно изготавливаемых на одном рабочем месте.

Норма штучного времени $T_{шт}$ рассчитывается по формуле

$$T_{шт} = T_0 + T_в + T_{обсл} + T_{отд}, \quad (26)$$

где T_0 – норма основного (машинного) времени. При сборке основное время учитывает изменение состояния продукта производства в процессе сборки. Оно затрачивается на выполнение соединений, регулирование, пригонку сопрягаемых деталей, подбор и размерную сортировку деталей, подготовку деталей к сборке. При слесарных работах и сборке основное время нормируют по соответствующим нормативам. При механической обработке основное время – это время, в течение которого осуществляется изменение размеров и формы заготовки, внешнего вида и шероховатости поверхности, состояния поверхностного слоя и т.п.;

$T_в$ – норма вспомогательного времени. Вспомогательное время учитывает действия, которые сопровождают и обеспечивают выполнение основной работы. При сборке оно включает время на установку, закрепление и снятие собираемой части изделия, управление механизмом и оборудования, а также на контроль выдерживаемых при сборке размеров. Вспомогательное время находят суммированием элементов времени на выполнение перечисленных действий по всем переходам операции, устанавливаемых по нормативам вспомогательного времени. Как и основное, вспомогательное время может быть ручным, машинно-ручным и машинным. При механической обработке вспомогательное времени представляет собой норму времени на осуществление дейст-

вий, создающих возможность выполнения основной работы (установка и снятие изделия, пуск и выключение станка, подвод и отвод инструмента, перемещение стола или суппорта, промеры изделия, смена инструмента или его переустановка, если это производится на каждое изделие или через определенное число изделий и т.д.);

$T_{\text{оп}} = T_o + T_v$ – оперативное время (сумма основного и вспомогательного);

$T_{\text{обсл}}$ – время обслуживания рабочего места – время, затрачиваемое рабочим на поддержание средств технологического оснащения в работоспособном состоянии и уход за ним и рабочим местом. Оно включает в себя время технического обслуживания (смена затупившегося инструмента, регулировка инструмента, подналадка оборудования, удаление стружки и пр.), определяемое в процентах к основному времени, и время организационного обслуживания (раскладка и уборка инструмента, осмотр и опробование оборудования, смазка оборудования и т.п.), определяемое в процентах к оперативному времени по нормативам (обычно в пределах 0,6-8%).

$T_{\text{отд}}$ – время на личные надобности – это часть штучного времени, затрачиваемая на личные потребности и при тяжелых условиях труда на дополнительный отдых, определяемое в процентах к оперативному времени (в среднем 2,5%).

В условиях серийного производства, когда изделия изготавливаются партиями, рассчитывается норма штучно-калькуляционного времени $T_{\text{шт-к}}$ равная

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n}, \quad (27)$$

где $T_{\text{пз}}$ – подготовительно-заключительное время – это время на подготовку рабочих и средств производства к выполнению технологической операции и приведение их в первоначальное состояние после ее окончания (получение материалов, инструментов, приспособлений, технологической документации, наряда на работу; ознакомление с работой, технологической документацией, чертежом; получение инструктажа; установка инструментов, приспособлений; наладка оборудования; снятие приспособлений и инструмента; сдача готовой продукции, остатков материалов, приспособлений, инструмента, технической документации и наряда). Подготовительно-заключительное время затрачивается один раз на всю партию обрабатываемых изделий и не зависит от числа изделий в партии;

n – количество изделий в партии.

При сборке оперативное (основное плюс вспомогательное) и подготовительно-заключительное время определяют по нормативам [21, 22].

В курсовой работе необходимо каждую операцию (вспомним, что операцией называют часть технологического процесса, выполненную на одном рабочем месте) разбить по технологическим переходам и все расчёты занести в таблицу 9 (см. пример 27).

Пример 27. *Определить норму времени на запрессовку вала в ротор без вала на гидравлическом прессе. Расчет выполнить для мелкосерийного производства. Исходные данные в Приложениях 4, 5, 6.*

В условиях мелкосерийного производства экономически нецелесообразно расчленять операции на дифференцированные элементы для

Таблица 9

№ перехода	Содержание работы	Факторы, влияющие на время сборки	№ карты и позиции	Время в мин.
1	Взять ротор без вала, протереть отверстие под вал. Протереть и смазать поверхность вала под ротор без вала. Установить ротор без вала на стол прессы в оправку.	Диаметр отверстия в оправке 69 мм, масса ротора без вала 1,063 кг (до 2 кг), длина продвижения 25 мм, посадка Н11/d11 (ходовая)	Карта 57, поз. 7	0,35
2	Установить вал в отверстие ротора без вала	Установочный диаметр вала 15 мм, масса вала 0,307 кг (до 0,5 кг), длина продвижения 55 мм, посадка Н11/d11 (ходовая)	Карта 57, поз. 2	0,22
3	Установить оправку на вал	Диаметр отверстия в оправке 15 мм, масса оправки 2,7 кг (до 3 кг), длина продвижения 15 мм, посадка Н11/h11 (скольжения)	Карта 57, поз. 1	0,47
4	Включить пресс, запрессовать вал в ротор без вала, выключить пресс. Установить и снять оправку	Масса вала 0,307 кг (до 0,5 кг), длина запрессовки 71,5 мм (до 100 мм), посадка Н7/u8 (прессовая) Оправка массой 2,7 кг (до 3 кг).	Карта 63, поз. 1	0,45 0,11
Итого				1,6

определения норм времени. В этом случае определение норм времени производится по укрупнённым нормативам (на технологические переходы) или по типовым нормам, составленным аналитическим методом для типовых технологических процессов.

В нормировочном справочнике для мелкосерийного производства [21] в специальных подразделах («картах») приведены различные операции с разбивкой на технологические переходы. Для каждого перехода приведены возможные варианты их выполнения в зависимости от факторов, влияющих на процесс сборки (масса, диаметр, вид посадки, величина перемещения, способ перемещения, число точек ориентации и пр.). для каждого перехода приведены значения штучного времени, т.е. в этих значениях учтено не только операционное время, но и время на обслуживание рабочего места и время на личные потребности и отдых. Расчёт штучного времени на операцию производится с помощью табл. 9.

При механической обработке основное (машинное время) T_o определяется расчётом после установления режимов резания по формуле

$$T_o = \frac{L_p i}{S_m}, \quad (28)$$

где $L_p = L_o + l_1 + l_2$ – расчётная длина рабочего хода инструмента, мм;

i – число рабочих ходов в переходе;

S_m – минутная подача инструмента или заготовки в направлении подачи, мм/мин;

L_o – длина обрабатываемой поверхности в направлении подачи, мм;

l_1 и l_2 – длина врезания и схода инструмента, мм (выбрать из [19, с. 621–625] в зависимости от метода обработки).

Трансформация формулы 28 для различных видов обработки приведена в [19, с. 610–620].

Вспомогательное время состоит из затрат на отдельные приёмы

$$T_B = T_{yc} + T_{zo} + T_{yn} + T_{из}, \quad (29)$$

где T_{yc} – время на установку и снятия детали, мин;

T_{zo} – время на закрепление и открепление детали, мин;

T_{yn} – время на приёмы управления, мин;

$T_{из}$ – время на измерение детали, мин.

Норму вспомогательного времени для серийного производства можно определить из [20] или из [5, с. 197–212], для массового производства умножив затем на коэффициент 1,85.

Для серийного производства определяют, как правило, сумму времён $T_{об.от} = T_{обсл} + T_{отд}$ в процентах от оперативного по формуле

$$T_{\text{об.от}} = T_{\text{оп}} \cdot \Pi_{\text{об.от}} / 100, \quad (30)$$

где $\Pi_{\text{об.от}}$ – определить в процентах от оперативного времени из [5, табл. 6.1, 6.2].

Норму подготовительно-заключительного времени $T_{\text{пз}}$ для расчёта нормы штучно-калькуляционного определить из [5, табл. 6.3–6.9].

Пример 28. *Рассчитать штучно-калькуляционное время для чернового точения при обработке на токарном станке поверхности с размером $\varnothing 40g6$ подшипниковой крышки (Приложение 21).*

Определяем составляющие к формуле 28.

$L_o = 2$ мм – из чертежа.

$l_1 = 3$ мм для глубины резания 3,08 мм (см. пример 26) и резца с углом в плане 90 из [19, табл. 2, с. 621].

$l_2 = 0$, так как обработка выполняется отогнутым резцом в упор. Следовательно, $L_p = 2 + 3 + 0 = 5$ мм.

Минутная подача инструмента $S_m = s \cdot n_p = 0,624 \cdot 1000 = 624$ м/мин (значения из примера 26).

Число проходов $i = 1$.

Основное время точения (формула 28) равно:

$$T_o = \frac{L_p \cdot i}{S_m} = \frac{5 \cdot 1}{624} = 0,008 \text{ мин.}$$

Определим вспомогательное время. Для этого определим составляющие.

$T_{\text{ус}} = 0,06$ мин [5, табл. 5.1, с. 197] (деталь массой менее 0,25 кг, крепление в самоцентрирующем патроне с пневматическим зажимом).

$T_{\text{зо}} = 0,024$ мин [5, табл. 5.7, с. 201] (масса детали меньше 1 кг, крепление рукояткой пневматического зажима).

$T_{\text{уп}} = 0,02$ мин [5, табл. 5.8, с. 202] (включить и выключить станок рычагом).

$T_{\text{из}} = 0,03$ мин [5, табл. 5.12, с. 207] (измерение скобой односторонней предельной, при точности 12 квалитет и длине поверхности менее 50 мм). Эти данные получены для массового производства. Для серийного производства учтём коэффициент 1,85. Тогда вспомогательное время будет равно

$$T_b = 1,85(T_{\text{ус}} + T_{\text{зо}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{из}}) = 1,85(0,06 + 0,024 + 0,02 + 0,03) = 0,248 \text{ мин.}$$

Оперативное время $T_{\text{оп}} = T_o + T_b = 0,008 + 0,248 = 0,256$ мин.

Процент времени на обслуживание и отдых оперативного $\Pi_{\text{об.от}} = 7\%$ для токарного станка при высоте центров до 300 мм [5, табл. 6.1, с. 214].

Время на обслуживание оборудования и отдых

$$T_{\text{об.от}} = T_{\text{оп}} \cdot \Pi_{\text{об.от}} / 100 = 0,256 \cdot 7 / 100 = 0,018 \text{ мин.}$$

Время подготовительно-заключительное $T_{пз}=14$ мин для токарного станка с высотой центров до 300 мм при закреплении заготовки в самоцентрирующем пневматическом патроне [5, табл. 6.3, с. 215].

При серийном производстве изделия, как правило, выпускаются месячными партиями. При заданной годовой программе (см. Приложение 20)

$N = 25000$ шт., количество изделий в партии $n = 2084$.

По формуле 27 с учётом формулы 26 определим штучно-калькуляционное время.

$$\begin{aligned} T_{шт-к} &= T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} = T_{оп} + T_{об.ом} + \frac{T_{пз}}{n} = \\ &= 0,256 + 0,018 + \frac{14}{2084} = 0,281 \text{ мин} \end{aligned}$$

В курсовой работе припуски и режимы резания рассчитываются только для одной поверхности. Поэтому, чтобы рассчитать штучно-калькуляционное время по всем операциям, необходимо выбрать режимы резания по таблицам в зависимости от метода обработки [16, с. 271–281], [19, с. 627–671], [23], [24]. [39, с. 261–303].

Рекомендуемая литература: [5, с. 101–105, 197–214], [10], [12], [16, с. 271–281, 476–477], [18], [19, с. 609–625], [21], [22]. [32, с. 88–91], [35], [39, 40–46].

Контрольные вопросы:

1. Задачи технического нормирования.
2. Методы нормирования и их особенности.
3. Структура технических норм.
4. Методика определения штучного и штучно-калькуляционного времени.

14. Определение необходимого количества оборудования

Количество оборудования, необходимое для организации производства, и его загрузка являются исходными данными для проектирования участка цеха. Для определения количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий, суммарные нормы времени по каждому виду оборудования и эффективный годовой фонд производственного времени оборудования. Объем выпуска изделий в задании на курсовую работу, нормы времени рассчитываются в предыдущем разделе, а эффективный годовой фонд времени работы одного вида оборудования при 40-часовой рабочей неделе с двумя выходными можно рассчитать по формуле:

$$F_d = [(365 - B_d - П_d) \cdot 8 - П_{пд}] \cdot z \cdot K_p, \quad (31)$$

где B_d – количество выходных дней в году;

$П_d$ – количество праздничных дней в году;

$П_{пд}$ – количество предпраздничных дней в году;

z – число смен работы оборудования;

K_p – коэффициент, учитывающий время пребывания оборудования в ремонте.

B_d , $П_d$, $П_{пд}$ – определяются в соответствии с календарем года. Число смен работы оборудования z , с точки зрения повышения эффективности использования оборудования, целесообразно принимать равным двум.

Коэффициент, учитывающий время пребывания станка в ремонте, можно принять:

— для крупных станков (массой до 30 т) $K_p = 0,9–0,94$;

— для средних (массой до 10 т) $K_p = 0,95–0,97$;

— для мелких (массой до 1 т) $K_p = 0,96–0,98$;

— для автоматических линий $K_p = 0,88–0,9$.

Расчетное число станков равно $C_p = \frac{T_{шт-к} \cdot N}{60F_d}, \quad (32)$

где $T_{шт-к}$ – сумма штучно-калькуляционного времени по всем операциям для одного станка;

N – годовая программа выпуска изделий.

Определить принятое число станков $C_{п}$, округлив расчетное число станков в большую сторону, и рассчитать коэффициент загрузки оборудования по формуле

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{п}} \cdot 100\%.$$

Пример 29. *Определить количество гидравлических прессов типа П6320 (см. пример 19) для запрессовки вала в ротор без вала при годовой программе выпуска 34000 штук (см. Приложение 4).*

Определяем составляющие к формуле 31 на 2013 год, число дней в котором 365.

$B_d = 104$ – количество выходных дней;

$П_d = 14$ – количество праздничных дней;

$П_{пд} = 6$ – количество предпраздничных дней;

$z = 1$ – число смен работы оборудования;

$K_p = 0,97$, т.к. масса пресса равна 1,208 т.

Эффективный годовой фонд времени работы пресса П6320 при запрессовке вала в ротор (формула 31) равен

$$F_d = [(365 - B_d - П_d) \cdot 8 - П_{пд}] \cdot z \cdot K_p =$$

$$= [(365 - 104 - 14) \cdot 8 - 6] \cdot 1 \cdot 0,97 = 1910,9 \text{ часов}$$

Расчетное число прессов для запрессовки вала равно

$$C_p = \frac{T_{шт-к} \cdot N}{60F_d} = \frac{1,6000198 \cdot 34000}{60 \cdot 1910,9} = 0,475, \text{ где}$$

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n_{изд}} = 1,6 + \frac{0,056}{2834} = 1,6000198 \text{ мин, } T_{шт} = 1,6 \text{ мин (см. табл.9),}$$

для мелкосерийного производства можно принять $T_{пз} = 0,035 \cdot T_{шт} = 0,035 \cdot 1,6 = 0,056$ мин, $n_{изд} = \frac{N}{12} = \frac{34000}{12} = 2834$ – число изделий в месячной партии.

Принимаем число прессов равным $C_p=1$ и определяем коэффициент загрузки пресса $K_z = C_p / C_{п} \cdot 100 = 0,475 / 1 \cdot 100 = 47,5 \%$.

По результатам расчета количества всех видов оборудования построить график его загрузки.

Рекомендуемая литература: [5, с. 114–119], [12].

Контрольные вопросы:

1. Назначение расчета количества оборудования.
2. Виды фондов времени и как их определить.
3. Что определяет коэффициент загрузки оборудования?
4. Назовите рациональные коэффициенты загрузки оборудования для различных видов производства.

15. Оформление маршрутной документации

Технологический процесс, разработанный в технологической части работы, оформляется на маршрутных картах (МК). Маршрутные карты располагаются по тексту после соответствующего указания. Для описания технологического процесса применяются следующие формы маршрутных карт по ГОСТ3.1118-82: маршрутная карта – заглавный лист и маршрутные карты – последующие листы.

Форма, размеры маршрутных карт приведены в *Приложениях 22, 23, 24, 25*.

Для изложения технологических процессов в маршрутных картах используют способ заполнения, при котором информацию вносят построчно несколькими типами строк. Каждому типу строки соответствует свой служебный символ. Служебные символы условно выражают состав информации, размещаемой в графах данного типа строки документа, и предназначены для обработки содержащейся информации средствами механизации и автоматизации. Простановка служебных символов

является обязательной и не зависит от применяемого метода проектирования документа.

В маршрутных картах пояснительной записки следует использовать следующие служебные символы: А, Б, К, М, О, Т, проставляемые перед номером соответствующей строки. Каждый из символов содержит следующую информацию, вносимую в графы, расположенные на строке:

А – номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция, номер операции, код и наименование операции, обозначение документов, применяемых при выполнении операции (соответственно графы 14 – 19). Код операции проставлять согласно *Приложению 29, табл.1*;

Б – код, наименование оборудования и информация по трудозатратам (графы 20 – 26, 6Б, 27 – 30). Код оборудования проставлять согласно прил. 28, табл.2 перед наименованием оборудования (графа 20). В графе 21 (СМ) – степень механизации труда (1 – наблюдение за работой автоматов, 2 – работа с помощью машин и автоматов, 3 – вручную при машинах и автоматах, 4 – вручную без машин и автоматов, 5 – вручную при наладке машин и ремонте). В графе 22 (Проф.) – код профессии согласно прил. 28, табл.3. В графе 23 (Р) – разряд работы, необходимый для выполнения операции, включает три цифры: первая - разряд работы по тарифно-квалификационному справочнику (согласно прил. 28, табл.3), две следующие – код формы и оплаты труда (10 – сдельная форма оплаты труда, 11 – сдельная система оплаты труда прямая, 12 – сдельная система оплаты труда премиальная, 13 – сдельная система оплаты труда прогрессивная, 20 – повременная форма оплаты труда, 21 – повременная система оплаты труда простая, 22 – повременная система оплаты труда премиальная). В графе 24 (УТ) – код условий труда и вид нормы времени, который включает в себя цифру, характеризующую условия труда (1 – нормальные, 2 – тяжелые и вредные, 3 – особо тяжелые и особо вредные) и букву, указывающую вид нормы времени (Р – аналитически-расчетная, И – аналитически-исследовательская, Х – хронометражная, О – опытно-статистическая). В графе 25 (КР) – количество исполнителей, занятых при выполнении операции. В графе 26 (КОИД) – количество одновременно изготавливаемых деталей (сборочных единиц) при выполнении одной операции. В графе 6Б (ЕН) – единица нормирования, на которую установлена норма расхода материала или норма времени, например 1, 10, 100. В графе 27 (ОП) – объем производственной партии в штуках. В графе 28 (Кшт) – коэффициент штучного времени при многостаночном обслуживании зависит от количества обслуживаемых станков (см. табл. 10). В графе 29 (Тпз) – норма подготовительно-заключительного времени на операцию.

В графе 30 (Тшт) – норма штучного времени на операцию;

Таблица 10

Количество станков	1	2	3	4	5	6
Коэффициент Кшт	1	0,65	0,48	0,39	0,35	0,32

К - информация по комплектации изделия (сборочной единицы) составными частями с указанием наименования деталей, сборочных единиц, их обозначений, обозначения подразделений, откуда поступают комплектующие составные части, кода единицы величины, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода (графы 31 – 33, 4К, 6К, 34, 7К). В графе 31 – наименование деталей, сборочных единиц материалов, применяемых при выполнении операции. В графе 32 – обозначение деталей, сборочных единиц по конструкторскому документу или материалов по классификатору. В графе 4К (ЕВ) – код единицы величины (массы, длины, площади и т.п.) детали, заготовки, материала согласно *Приложению 29, табл.5*. В графе 6К (ЕН) – единица нормирования, на которую установлена норма расхода материала или норма времени, например 1, 10, 100. В графе 34 (КИ) – количество деталей, сборочных единиц, применяемых при сборке изделия; при разборке – количество получаемых. В графе 7К (Н. расх.) – норма расхода;

М – информация о применяемом основном материале и исходной заготовке, информация о применяемых вспомогательных и комплектующих материалах с указанием наименования и кода материала, обозначения подразделений, откуда поступают материалы, кода единицы величины, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода (графы 3 – 12). В графе 2 – наименование, сортамент, размер и марка материала, обозначение стандарта, технических условий. Запись выполняется на уровне одной строки с применением разделительного знака «/», например, круг В25 ГОСТ 2590-71 / 45 ГОСТ 1050-74. В графе 3 (Код) – код материала согласно *Приложению 29, табл.4*. В графе 4 (ЕВ) – код единицы величины (массы, длины, площади и т.п.) детали, заготовки, материала согласно *Приложению 29, табл.5*. В графе 5 (МД) – масса детали по конструкторскому документу, В графе 6 (ЕН) – единица нормирования, на которую установлена норма расхода материала или норма времени, например 1, 10, 100. В графе 7 (Н. расх.) – норма расхода материала. В графе 8 (КИМ) – коэффициент использования материала. В графе 9 (Код загот.) – Код заготовки согласно *Приложению 29, табл.6*. Допускается указывать вид заготовки (отливка, прокат,ковка и т.п.). В графе 10 – профиль и размеры исходной заготовки, на-

пример, $\varnothing 25 \times 3000$. В графе 11 (КД) – количество деталей, изготавливаемых из одной заготовки. В графе 12 (МЗ) – масса заготовки;

О – содержание операции, запись следует выполнять в технологической последовательности по всей длине строки с возможностью, при необходимости, переноса информации на последующие строки;

Т - информация о применяемой при выполнении операции технологической оснастке. Информация записывается в следующей последовательности: приспособления, вспомогательный инструмент; режущий инструмент; слесарно-монтажный инструмент; специальный инструмент, применяемый при выполнении специфических технологических процессов, например, при штамповке, пропитке и т.п.; средства измерения. Запись следует выполнять по всей длине строки с возможностью, при необходимости, переноса информации на последующие строки. Разделение информации по каждому средству технологической оснастки следует выполнять через точку с запятой. Перед наименованием каждого вида оснастки проставлять код согласно *Приложению 29, табл. 7*. Количество одновременно применяемых единиц технологической оснастки следует указывать после кода оснастки, заключая в скобки, например, «391800, (2) фреза дисковая».

Служебные символы в маршрутных картах заполняются в следующих последовательностях: маршрутная карта технологического процесса, выполняемого с применением различных методов обработки – заглавный лист: М01, М02, А, Б, О, Т; - последующие листы: А, Б, О, Т; маршрутная карта технологического процесса сборки – заглавный и последующие листы: А, Б, К, М, О, Т.

В маршрутных картах пояснительной записки графы 13 – 16, 19, 33 можно не заполнять.

Все виды технологической документации имеют единую форму основной надписи, содержание и правила заполнения которой регламентированы ГОСТ 3.1103-82. В пояснительной записке графы 35 – 40, 49, 50, 51, 54 (приложение Е) основной надписи не заполнять. В графе 41 – общее количество листов документа (техпроцесса). В графе 42 – порядковый номер листа документа. В графе 44 – фамилии лиц, участвующих в разработке и оформлении документа. В графе 45 – подписи лиц, участвующих в разработке и оформлении документа. В графе 46 – дата подписи. В графе 47 – краткое наименование организации – разработчика документации (ТПУ, ЭКМ). В графе 48 – обозначение изделия по основному конструкторскому документу. В графе 52 – наименование изделия по основному конструкторскому документу. В графе 53 – Литера, присвоенная документу по ГОСТ 3.1102-81. Графу заполнять

слева на право. В графе 55 – порядковый номер страницы пояснительной записки.

Примеры заполнения маршрутных карт в *Приложениях 26 и 27*.

Графические изображения изделий (деталей, сборочных единиц) или технологических установок выполнять на картах эскизов, которые располагаются после маршрутной карты, в которой есть ссылка на карту эскизов. Форма карты эскизов приведена в *Приложении 28*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов М.В. Технология производства электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 592 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1982. – 736 с.
3. Балабанов А.Н. Технологичность конструкций машин. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.
4. Гольдберг О.Д. Испытания электрических машин. – М.: Высш. шк., 1990. – 255 с.
5. Горбачевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. – М.: ООО ИД «Аль-янс», 2007. – 256 с.
6. ГОСТ 7505–89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 54 с.
7. Допуски и посадки. Ч. 1: Справочник. В 2-х частях / В.Д. Мягков [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1982. – 543 с.
8. Допуски и посадки: Справочник. В 2-х ч./В.Д.Мягков, М.А.Палей, А.Б.Романов, В.А.Брагинский. Ч.2.-Л.:Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1983. -448 с.
9. Зайцев И.В. Технология электроаппаратостроения / Зайцев И.В. – М.: Высш. шк., 1982. 215 с.
10. Замятин В.К. Технология и оснащение сборочного производства машиноприборостроения: Справочник. / Замятин В.К. – М.: Машиностроение, 1995. – 608 с.
11. Итоговая аттестация инженеров: метод. указ. по оформлению выпускных квалификационных работ / сост. А.Д. Чесалин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 80 с.
12. Калинин В.С. Курсовое и дипломное проектирование по технологии электромашиностроения / В.С. Калинин, Н.Г. Карельская. – М.: Высш. шк., 1989. – 79 с.
13. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения. – М.: Высш. шк., 1999. – 591 с.
14. Краткий справочник металлиста / под общ. ред. П.Н. Орлова, Е.А. Скороходова. – М.: Машиностроение, 1987. – 960 с.
15. Кухлинг Х. Справочник по физике.– М.: Мир, 1982. – 520 с.
16. Маталин А.А. Технология машиностроения. – СПб.: Лань, 2008. – 512 с.
17. Машиностроительные материалы: краткий справочник / В.М. Раскатов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1980. – 511 с.

18. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. – М.: Высш.шк., 1986. –239 с.
19. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / А.А. Панов [и др.]; под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.
- 20.Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Среднесерийное и крупносерийное производство. – М., 1984. – 470 с.
21. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин. Мелкосерийное и единичное производство. – М.:Машиностроение, 1974
22. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин и приборов в условиях массового, крупносерийного и среднесерийного типов производства.– М.: Машиностроение, 1991.
23. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч.1. Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, строгальные, долбежные и фрезерные станки. – М.: Машиностроение, 1974. – 416 с.
24. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч.2. Зуборезные, горизонтально-расточные, резьбонакатные и отрезные станки.– М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.
25. Общемашиностроительные укрупненные нормативы времени на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Ч.1. Токарно-винторезные и токарно-карусельные станки. – М.: Экономика, 1989. – 427 с.
26. Общемашиностроительные укрупненные нормативы времени на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Ч.2. Фрезерные станки. – М.: Экономика, 1988. – 377 с.
27. Общемашиностроительные укрупненные нормативы времени на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Ч.3. Сверлильные станки. – М.: Экономика, 1988. – 145 с.
28. Общемашиностроительные укрупненные нормативы времени на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Ч.4. Строгальные и долбежные станки. – М.: Экономика, 1989. – 207 с.
29. Общемашиностроительные укрупненные нормативы времени на работы, выполняемые на токарно-револьверных станках. Мелкосерийное и среднесерийное производство. – М.: Экономика, 1989. – 151 с.

30. Поспелов Л.И. Конструкции авиационных электрических машин. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.
31. Проектирование технологий./ под общ.ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.
32. Проектирование технологических процессов в машиностроении / под общ. ред. И.П. Филонова. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.
33. Проектирование технологических процессов сборки машин / под общ. ред. А.А. Жолобова. – Мн.: Новое знание, 2005. – 410 с.
34. Сахаров П.В., Селянин В.И. Технология и оборудование производства электрических аппаратов. – М.: «Энергия», 1972 – 464 с.
35. Сборка и монтаж изделий машиностроения: Справочник в 2-х т. Т.1/ Под ред. В.С. Корсакова, В.К. Замятина. – М.: Машиностроение, 1983. – 480 с.
36. Справочник по электрическим машинам: В 2 т./Под общ. ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова, Т. 1.–М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
37. Справочник по электрическим машинам: В 2 т/Под общ. ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова. Т.2. – М.: Энергоатомиздат, 1989. –688 с.
38. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
39. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
40. Справочник технолога-приборостроителя: в 2-х т. Т.1 / под ред. П.В. Сыроватченко. – М.: Машиностроение, 1980. – 607 с.
41. Справочник технолога-приборостроителя: в 2-х т. Т.2 / под ред. П.В. Сыроватченко. – М.: Машиностроение, 1980. – 463 с.
- 42.Технология электроаппаратостроения / под ред. Ю.А. Филиппова. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 360 с.
43. Технологичность конструкции изделия / под общ. ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
44. Технология механической обработки в массовом производстве электродвигателей / Ю.Л. Мощицкий [и др.]. – М.: Энергоиздат, 1981. – 176 с.
45. Технология обработки конструкционных материалов / под ред. П.Г. Петрухи. – М.: Высш. шк., 1991.– 512 с.
46. Цветков Н.М. Технология производства обмоток для приборов и средств автоматики. – М.: Машиностроение, 1971. – 96 с.
47. Шлыгин В.В. Прочностные и размерные расчёты электрических машин. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 320 с.

Пример задания на курсовую работу по общей сборке

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

Кафедра электромеханических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой _____ А.Г. Гарганеев

«_____» _____ 2014 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение курсовой работы

**по дисциплине «Специальные технологические процессы в электромашино-
строении»**

Студент гр. 3-73XX **Сергеев Максим Сергеевич**

1 Тема курсовой работы: *Технологический процесс сборки асинхронного двигателя.*

2 Срок сдачи готовой работы: *23.12.14*

3 Исходные данные к работе: *чертеж и спецификация двигателя; годовая программа выпуска – 24000 штук; обеспечить $X_3 = 1 \pm 1$ – превышение длины сердечника ротора над длиной сердечника статора с одной стороны; закон распределения действительных значений размеров подшипников нормальный, прочих по треугольнику; $\alpha_{oi} = -0,21$, $\alpha_{gi} = 0,24$, $\alpha_{ci} = 0,02$.*

4 Содержание пояснительной записки: *введение, анализ исходных данных, оценка технологичности конструкции двигателя и размерный анализ, схема сборки двигателя, маршрутная технология сборки, выбор оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств, расчет норм времени, расчет количества оборудования для выполнения годовой программы, заключение. Эскизы: схема двигателя для размерного анализа, схемы размерных цепей, схема сборки, график загрузки оборудования.*

5.Дата выдачи задания на выполнение работы «_____» _____ 201_ г.

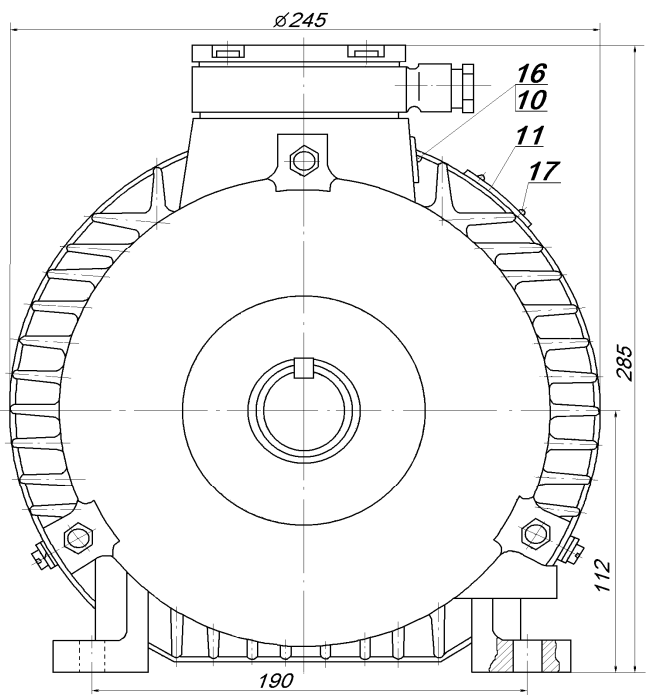
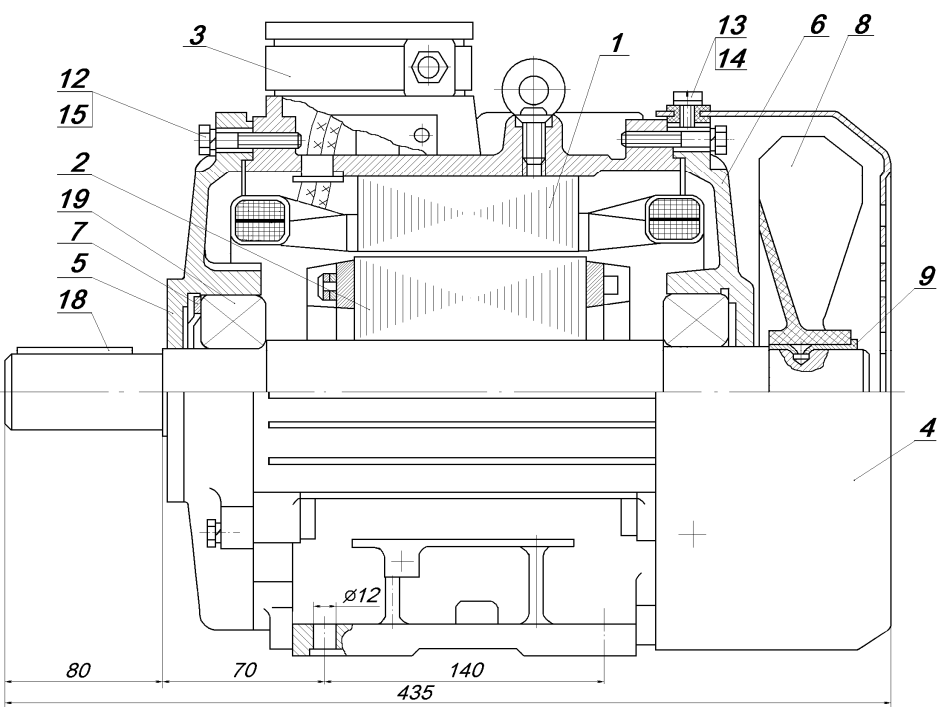
Руководитель работы _____ (А.Д. Иванов)

Задание принял к исполнению _____ (М.С. Сергеев)

Пример спецификации на асинхронный двигатель

Лист 1		Лист 2		Лист 3		Лист 4		Лист 5		Лист 6		Лист 7		Лист 8		Лист 9		Лист 10		Лист 11		Лист 12		Лист 13		Лист 14		Лист 15		Лист 16		Лист 17		Лист 18		Лист 19		Лист 20		Лист 21		Лист 22		Лист 23		Лист 24		Лист 25		Лист 26		Лист 27		Лист 28		Лист 29		Лист 30		Лист 31		Лист 32		Лист 33		Лист 34		Лист 35		Лист 36		Лист 37		Лист 38		Лист 39		Лист 40		Лист 41		Лист 42		Лист 43		Лист 44		Лист 45		Лист 46		Лист 47		Лист 48		Лист 49		Лист 50		Лист 51		Лист 52		Лист 53		Лист 54		Лист 55		Лист 56		Лист 57		Лист 58		Лист 59		Лист 60		Лист 61		Лист 62		Лист 63		Лист 64		Лист 65		Лист 66		Лист 67		Лист 68		Лист 69		Лист 70		Лист 71		Лист 72		Лист 73		Лист 74		Лист 75		Лист 76		Лист 77		Лист 78		Лист 79		Лист 80		Лист 81		Лист 82		Лист 83		Лист 84		Лист 85		Лист 86		Лист 87		Лист 88		Лист 89		Лист 90		Лист 91		Лист 92		Лист 93		Лист 94		Лист 95		Лист 96		Лист 97		Лист 98		Лист 99		Лист 100		Лист 101		Лист 102		Лист 103		Лист 104		Лист 105		Лист 106		Лист 107		Лист 108		Лист 109		Лист 110		Лист 111		Лист 112		Лист 113		Лист 114		Лист 115		Лист 116		Лист 117		Лист 118		Лист 119		Лист 120		Лист 121		Лист 122		Лист 123		Лист 124		Лист 125		Лист 126		Лист 127		Лист 128		Лист 129		Лист 130		Лист 131		Лист 132		Лист 133		Лист 134		Лист 135		Лист 136		Лист 137		Лист 138		Лист 139		Лист 140		Лист 141		Лист 142		Лист 143		Лист 144		Лист 145		Лист 146		Лист 147		Лист 148		Лист 149		Лист 150		Лист 151		Лист 152		Лист 153		Лист 154		Лист 155		Лист 156		Лист 157		Лист 158		Лист 159		Лист 160		Лист 161		Лист 162		Лист 163		Лист 164		Лист 165		Лист 166		Лист 167		Лист 168		Лист 169		Лист 170		Лист 171		Лист 172		Лист 173		Лист 174		Лист 175		Лист 176		Лист 177		Лист 178		Лист 179		Лист 180		Лист 181		Лист 182		Лист 183		Лист 184		Лист 185		Лист 186		Лист 187		Лист 188		Лист 189		Лист 190		Лист 191		Лист 192		Лист 193		Лист 194		Лист 195		Лист 196		Лист 197		Лист 198		Лист 199		Лист 200		Лист 201		Лист 202		Лист 203		Лист 204		Лист 205		Лист 206		Лист 207		Лист 208		Лист 209		Лист 210		Лист 211		Лист 212		Лист 213		Лист 214		Лист 215		Лист 216		Лист 217		Лист 218		Лист 219		Лист 220		Лист 221		Лист 222		Лист 223		Лист 224		Лист 225		Лист 226		Лист 227		Лист 228		Лист 229		Лист 230		Лист 231		Лист 232		Лист 233		Лист 234		Лист 235		Лист 236		Лист 237		Лист 238		Лист 239		Лист 240		Лист 241		Лист 242		Лист 243		Лист 244		Лист 245		Лист 246		Лист 247		Лист 248		Лист 249		Лист 250		Лист 251		Лист 252		Лист 253		Лист 254		Лист 255		Лист 256		Лист 257		Лист 258		Лист 259		Лист 260		Лист 261		Лист 262		Лист 263		Лист 264		Лист 265		Лист 266		Лист 267		Лист 268		Лист 269		Лист 270		Лист 271		Лист 272		Лист 273		Лист 274		Лист 275		Лист 276		Лист 277		Лист 278		Лист 279		Лист 280		Лист 281		Лист 282		Лист 283		Лист 284		Лист 285		Лист 286		Лист 287		Лист 288		Лист 289		Лист 290		Лист 291		Лист 292		Лист 293		Лист 294		Лист 295		Лист 296		Лист 297		Лист 298		Лист 299		Лист 300		Лист 301		Лист 302		Лист 303		Лист 304		Лист 305		Лист 306		Лист 307		Лист 308		Лист 309		Лист 310		Лист 311		Лист 312		Лист 313		Лист 314		Лист 315		Лист 316		Лист 317		Лист 318		Лист 319		Лист 320		Лист 321		Лист 322		Лист 323		Лист 324		Лист 325		Лист 326		Лист 327		Лист 328		Лист 329		Лист 330		Лист 331		Лист 332		Лист 333		Лист 334		Лист 335		Лист 336		Лист 337		Лист 338		Лист 339		Лист 340		Лист 341		Лист 342		Лист 343		Лист 344		Лист 345		Лист 346		Лист 347		Лист 348		Лист 349		Лист 350		Лист 351		Лист 352		Лист 353		Лист 354		Лист 355		Лист 356		Лист 357		Лист 358		Лист 359		Лист 360		Лист 361		Лист 362		Лист 363		Лист 364		Лист 365		Лист 366		Лист 367		Лист 368		Лист 369		Лист 370		Лист 371		Лист 372		Лист 373		Лист 374		Лист 375		Лист 376		Лист 377		Лист 378		Лист 379		Лист 380		Лист 381		Лист 382		Лист 383		Лист 384		Лист 385		Лист 386		Лист 387		Лист 388		Лист 389		Лист 390		Лист 391		Лист 392		Лист 393		Лист 394		Лист 395		Лист 396		Лист 397		Лист 398		Лист 399		Лист 400		Лист 401		Лист 402		Лист 403		Лист 404		Лист 405		Лист 406		Лист 407		Лист 408		Лист 409		Лист 410		Лист 411		Лист 412		Лист 413		Лист 414		Лист 415		Лист 416		Лист 417		Лист 418		Лист 419		Лист 420		Лист 421		Лист 422		Лист 423		Лист 424		Лист 425		Лист 426		Лист 427		Лист 428		Лист 429		Лист 430		Лист 431		Лист 432		Лист 433		Лист 434		Лист 435		Лист 436		Лист 437		Лист 438		Лист 439		Лист 440		Лист 441		Лист 442		Лист 443		Лист 444		Лист 445		Лист 446		Лист 447		Лист 448		Лист 449		Лист 450		Лист 451		Лист 452		Лист 453		Лист 454		Лист 455		Лист 456		Лист 457		Лист 458		Лист 459		Лист 460		Лист 461		Лист 462		Лист 463		Лист 464		Лист 465		Лист 466		Лист 467		Лист 468		Лист 469		Лист 470		Лист 471		Лист 472		Лист 473		Лист 474		Лист 475		Лист 476		Лист 477		Лист 478		Лист 479		Лист 480		Лист 481		Лист 482		Лист 483		Лист 484		Лист 485		Лист 486		Лист 487		Лист 488		Лист 489		Лист 490		Лист 491		Лист 492		Лист 493		Лист 494		Лист 495		Лист 496		Лист 497		Лист 498		Лист 499		Лист 500		Лист 501		Лист 502		Лист 503		Лист 504		Лист 505		Лист 506		Лист 507		Лист 508		Лист 509		Лист 510		Лист 511		Лист 512		Лист 513		Лист 514		Лист 515		Лист 516		Лист 517		Лист 518		Лист 519		Лист 520		Лист 521		Лист 522		Лист 523		Лист 524		Лист 525		Лист 526		Лист 527		Лист 528		Лист 529		Лист 530		Лист 531		Лист 532		Лист 533		Лист 534		Лист 535		Лист 536		Лист 537		Лист 538		Лист 539		Лист 540		Лист 541		Лист 542		Лист 543		Лист 544		Лист 545		Лист 546		Лист 547		Лист 548		Лист 549		Лист 550		Лист 551		Лист 552		Лист 553		Лист 554		Лист 555		Лист 556		Лист 557		Лист 558		Лист 559		Лист 560		Лист 561		Лист 562		Лист 563		Лист 564		Лист 565		Лист 566		Лист 567		Лист 568		Лист 569		Лист 570		Лист 571		Лист 572		Лист 573		Лист 574		Лист 575		Лист 576		Лист 577		Лист 578		Лист 579		Лист 580		Лист 581		Лист 582		Лист 583		Лист 584		Лист 585		Лист 586		Лист 587		Лист 588		Лист 589		Лист 590		Лист 591		Лист 592		Лист 593		Лист 594		Лист 595		Лист 596		Лист 597		Лист 598		Лист 599		Лист 600		Лист 601		Лист 602		Лист 603		Лист 604		Лист 605		Лист 606		Лист 607		Лист 608		Лист 609		Лист 610		Лист 611		Лист 612		Лист 613		Лист 614		Лист 615		Лист 616		Лист 617		Лист 618		Лист 619		Лист 620		Лист 621		Лист 622		Лист 623		Лист 624		Лист 625		Лист 626		Лист 627		Лист 628		Лист 629		Лист 630		Лист 631		Лист 632		Лист 633		Лист 634		Лист 635		Лист 636		Лист 637		Лист 638		Лист 639		Лист 640		Лист 641		Лист 642		Лист 643		Лист 644		Лист 645		Лист 646		Лист 647		Лист 648		Лист 649		Лист 650		Лист 651		Лист 652		Лист 653		Лист 654		Лист 655		Лист 656		Лист 657		Лист 658		Лист 659		Лист 660		Лист 661		Лист 662		Лист 663		Лист 664		Лист 665		Лист 666		Лист 667		Лист 668		Лист 669		Лист 670		Лист 671		Лист 672		Лист 673		Лист 674		Лист 675		Лист 676		Лист 677		Лист 678		Лист 679		Лист 680		Лист 681		Лист 682		Лист 683		Лист 684		Лист 685		Лист 686		Лист 687		Лист 688		Лист 689		Лист 690		Лист 691		Лист 692		Лист 693		Лист 694		Лист 695		Лист 696		Лист 697		Лист 698		Лист 699		Лист 700		Лист 701		Лист 702		Лист 703		Лист 704		Лист 705		Лист 706		Лист 707		Лист 708		Лист 709		Лист 710		Лист 711		Лист 712		Лист 713		Лист 714		Лист 715		Лист 716		Лист 717		Лист 718		Лист 719		Лист 720		Лист 721		Лист 722		Лист 723		Лист 724		Лист 725		Лист 726		Лист 727		Лист 728		Лист 729		Лист 730		Лист 731		Лист 732		Лист 733		Лист 734		Лист 735		Лист 736		Лист 737		Лист 738		Лист 739		Лист 740		Лист 741		Лист 742		Лист 743		Лист 744		Лист 745		Лист 746		Лист 747		Лист 748		Лист 749		Лист 750		Лист 751		Лист 752		Лист 753		Лист 754		Лист 755		Лист 756		Лист 757		Лист 758		Лист 759		Лист 760		Лист 761		Лист 762		Лист 763		Лист 764		Лист 765		Лист 766		Лист 767		Лист 768		Лист 769		Лист 770		Лист 771		Лист 772		Лист 773		Лист 774		Лист 775		Лист 776		Лист 777		Лист 778		Лист 779		Лист 780		Лист 781		Лист 782		Лист 783		Лист 784		Лист 785		Лист 786		Лист 787		Лист 788		Лист 789		Лист 790		Лист 791		Лист 792		Лист 793		Лист 794		Лист 795		Лист 796		Лист 797		Лист 798		Лист 799		Лист 800		Лист 801		Лист 802		Лист 803		Лист 804		Лист 805		Лист 806		Лист 807		Лист 808		Лист 809		Лист 810		Лист 811		Лист 812		Лист 813		Лист 814		Лист 815		Лист 816		Лист 817		Лист 818		Лист 819		Лист 820		Лист 821		Лист 822		Лист 823		Лист 824		Лист 825		Лист 826		Лист 827		Лист 828		Лист 829		Лист 830		Лист 831		Лист 832		Лист 833		Лист 834		Лист 835		Лист 836		Лист 837		Лист 838		Лист 839		Лист 840		Лист 841		Лист 842		Лист 843		Лист 844		Лист 845		Лист 846		Лист 847		Лист 848		Лист 849		Лист 850		Лист 851		Лист 852		Лист 853		Лист 854		Лист 855		Лист 856		Лист 857		Лист 858		Лист 859		Лист 860		Лист 861		Лист 862		Лист 863		Лист 864		Лист 865		Лист 866		Лист 867		Лист 868		Лист 869		Лист 870		Лист 871		Лист 872		Лист 873		Лист 874		Лист 875		Лист 876		Лист 877		Лист 878		Лист 879		Лист 880		Лист 881		Лист 882		Лист 883		Лист 884		Лист 885		Лист 886		Лист 887		Лист 888		Лист 889		Лист 890		Лист 891		Лист 892	
--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--	----------	--

Чертёж асинхронного двигателя



- щитов и кольцо пружинное поз.2 покрыть смазкой ЛЗ-31 ТУ38. 1011144-88 в количестве 0,003 кг на двигатель.
- 3.Подшипники поз.19 перед сборкой нагреть.
- 4.Покрытие двигателя эмаль МЛ-12 серая ГОСТ9754-76. Шпатлёвка ПФ-00-2 ГОСТ10277-90.
- 5.Покрытие рельефа знака заземления эмаль НЦ-132К красная ГОСТ 6631-74.
- 6.Допускается кольцо пружинное поз. 2 покрывать смазкой К=17 ГОСТ 10877-76.

- 1.Допуски на габаритные, установочные и присоединительные размеры по ГОСТ 8592-79.
- 2.При сборке двигателя жировые канавки подшипниковых

					ФЮРА.525622.011 СБ						
Изм./Лист	№ докум.	Полн.	Взам.		Двигатель асинхронный АИР112М4У3 Сборочный чертеж	Лист		Масса	Масштаб		
						И	Л	49	11		
						Лист		Листов		1	
						ТПУ ЭМА					
Исполнитель											
Удп.											

Пример задания на курсовую работу по изготовлению составной части электрической машины

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра электромеханических комплексов и материалов
УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой _____ А.С.Ивашутенко
« _____ » _____ 2012 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение курсовой работы
по дисциплине «Специальные технологические процессы в
электромашиностроении»

Студент гр. 3-73XX **Михайлов Иван Семёнович**

1 Тема курсовой работы: *Технологический процесс изготовления ротора асинхронного двигателя.*

2 Срок сдачи готовой работы: *23.12.12*

3 Исходные данные к работе: *чертеж и спецификация двигателя; годовая программа выпуска – 34000 штук; диаметр отверстия в роторе без вала под вал Ø18H7, посадочный диаметр вала под ротор без вала Ø18и8.*

4 Содержание пояснительной записки: *введение, анализ исходных данных, оценка технологичности конструкции ротора, расчёт усилия напрессовки ротора без вала на вал и выбор способа, оборудования и оснастки для напрессовки, схема сборки ротора, маршрутная технология сборки, выбор оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств, расчет норм времени, расчет количества оборудования для выполнения годовой программы, заключение. Эскизы: схема сборки, эскиз прессования ротора, график загрузки оборудования.*

5.Дата выдачи задания на выполнение работы « _____ » _____ 201_ г.

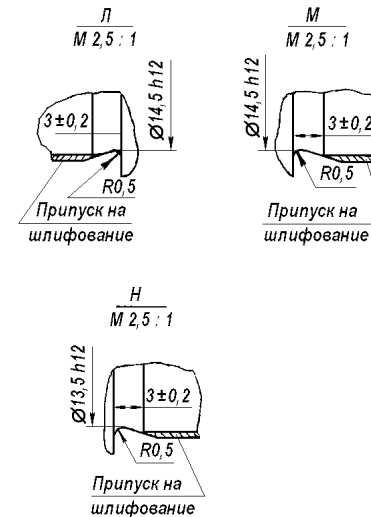
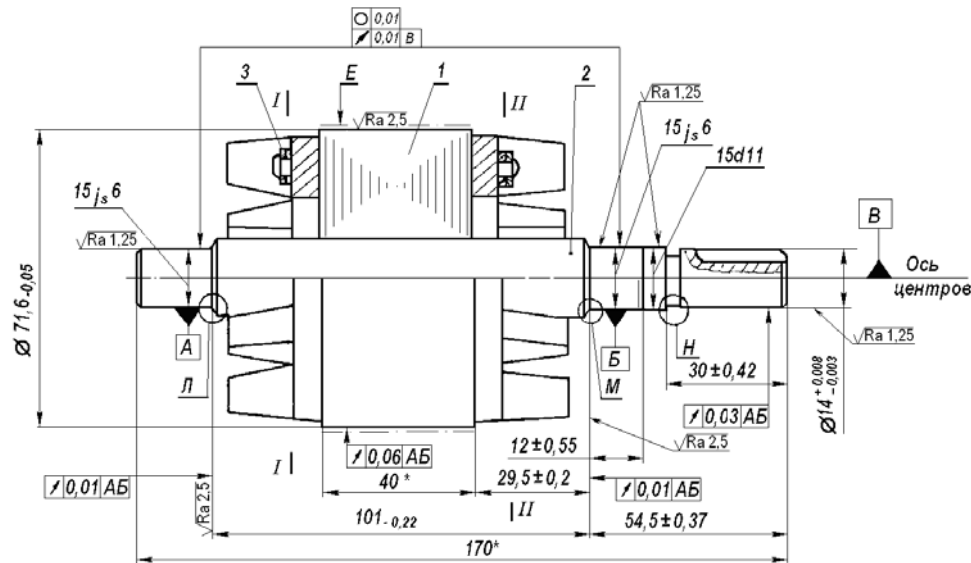
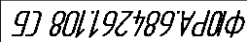
Руководитель работы _____ (А.Д. Иванов)

Задание принял к исполнению _____ (И.С. Михайлов)

Пример спецификации на ротор

Ид. № подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №		Ид. № з/д		Подп. и дата		Лист		
										Лист	Лист	Листов
Изм.		Лист		№ докум.		Подп.		Дата		ФЮРА.684261.108 Ротор ТПУ, каф. ЭМА		
Разработ.										1		
Проб.												
Исполн.												
Утв.												

114



1. Покрытие наружной поверхности ротора Е: эмаль ГФ-92ГС серая или эмаль ЭП-91 тёмно-зелёная ГОСТ 15943-80.

3. *Размер для справок.

						ФЮРА.684261.108 СБ						
Изм./Лист	№ докум.	Полн.	Взам	Ротор Сборочный чертёж			Лист	Масштаб	Масштаб			
Резерв							III		137	11		
Лист	Листов						Лист	Листов	1			
Исполн.							ТПУ ЭМА					
Удк							Копирован					
						Формат А3						

Пример задания на курсовую работу по общей сборке электрического аппарата

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

Кафедра электромеханических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой _____ А.С.Ивашутенко

«_____» _____ 2012 г.

ЗАДАНИЕ

**на выполнение курсовой работы
по дисциплине «Технология электроаппаратостроения»**

Студент гр. 7А75 **Серов Демьян Степанович**

1 Тема курсовой работы: *Технологический процесс общей сборки контактора постоянного тока КПВ605 для экскаватора*

2 Срок сдачи готовой работы: *25.11.10*

3 Исходные данные к работе: *рисунок и описание контактора КПВ605; годовая программа выпуска – 30000 штук.*

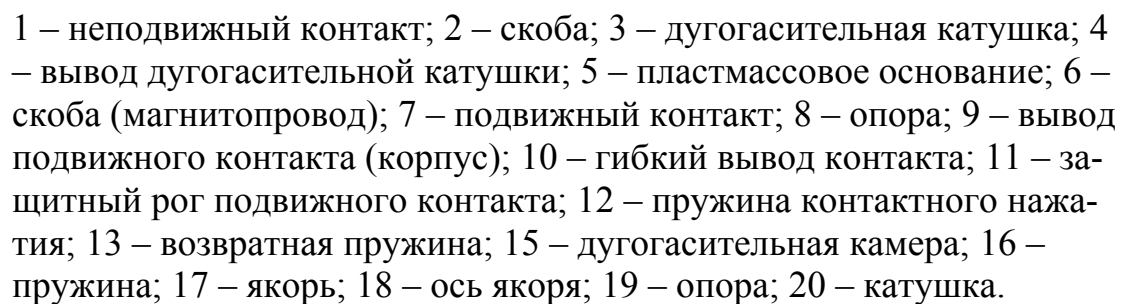
4 Содержание пояснительной записки: *титальный лист; служебное назначение и особенности конструкции контактора; оценка технологичности конструкции; составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки контактора постоянного тока; выбор сборочного оборудования и оснастки; нормирование сборочных работ и расчет количества технологического оборудования для обеспечения заданной программы; заключение. Эскизы: схема сборки, график загрузки оборудования.*

5.Перечень графического материала (листы формата А3): *чертёж контактора постоянного тока КПВ605.*

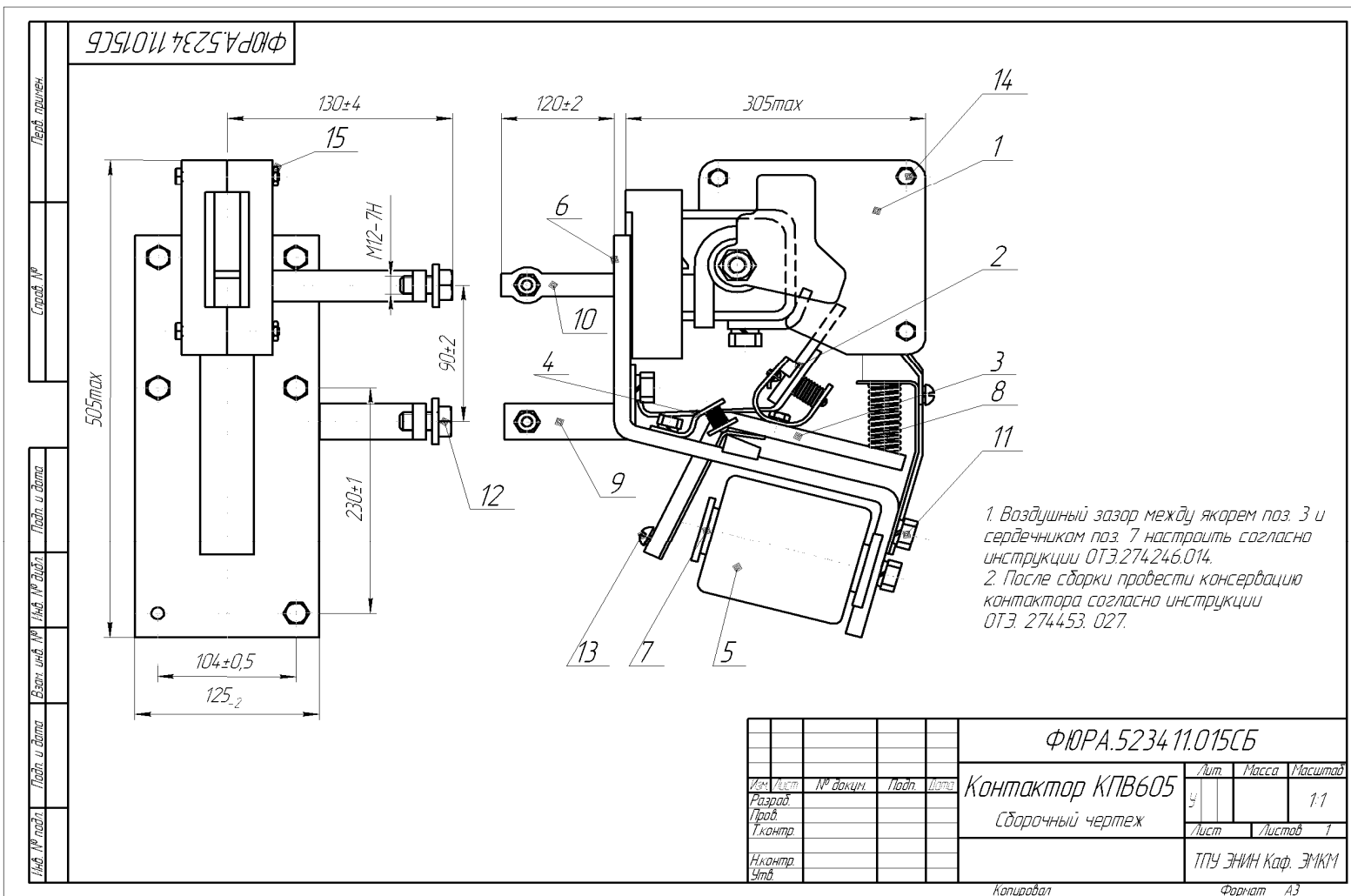
6.Дата выдачи задания на выполнение работы «_____» _____ 201_ г.

Руководитель работы _____ (А.Д. Иванов)

Задание принял к исполнению _____ (Д.С. Серов)



Сборочный чертёж контактора постоянного тока КПВ605



Копировал

Пример задания на курсовую работу по изготовлению составной части электрического аппарата

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

Кафедра электромеханических комплексов и материалов
УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой _____ А.Г. Гарганеев

« _____ » _____ 2014 г.

ЗАДАНИЕ

**на выполнение курсовой работы
по дисциплине «Технология электроаппаратостроения»**

Студент гр. 3-5А1С **Степанов Иван Семёнович**

1 Тема курсовой работы: *Технологический процесс изготовления сердечника с катушкой электромагнита тормозной муфты.*

2 Срок сдачи готовой работы: .23.12.14

3 Исходные данные к работе: *чертеж и спецификация сердечника с катушкой электромагнита; годовая программа выпуска – 14000 штук;*

4 Содержание пояснительной записки: *введение, анализ исходных данных, оценка технологичности конструкции сердечника электромагнита, выбор оборудования для механической обработки полюсов сердечника; выбор способа контроля и разработка измерительного оборудования и оснастки для серийного производства, схема сборки сердечника, маршрутная технология сборки, расчет усилий натяжения провода при намотке катушки, выбор намоточного станка и проектирование приспособлений для намотки катушки; выбор оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств, расчет норм времени, расчет количества оборудования для выполнения годовой программы, заключение.*

Эскизы: схема сборки, эскизы приспособлений для измерения, график загрузки оборудования.

5.Дата выдачи задания на выполнение работы « _____ » _____ 2014 г.

Руководитель работы _____ (А.Д. Иванов)

Задание принял к исполнению _____ (И.С. Степанов)

Копировал

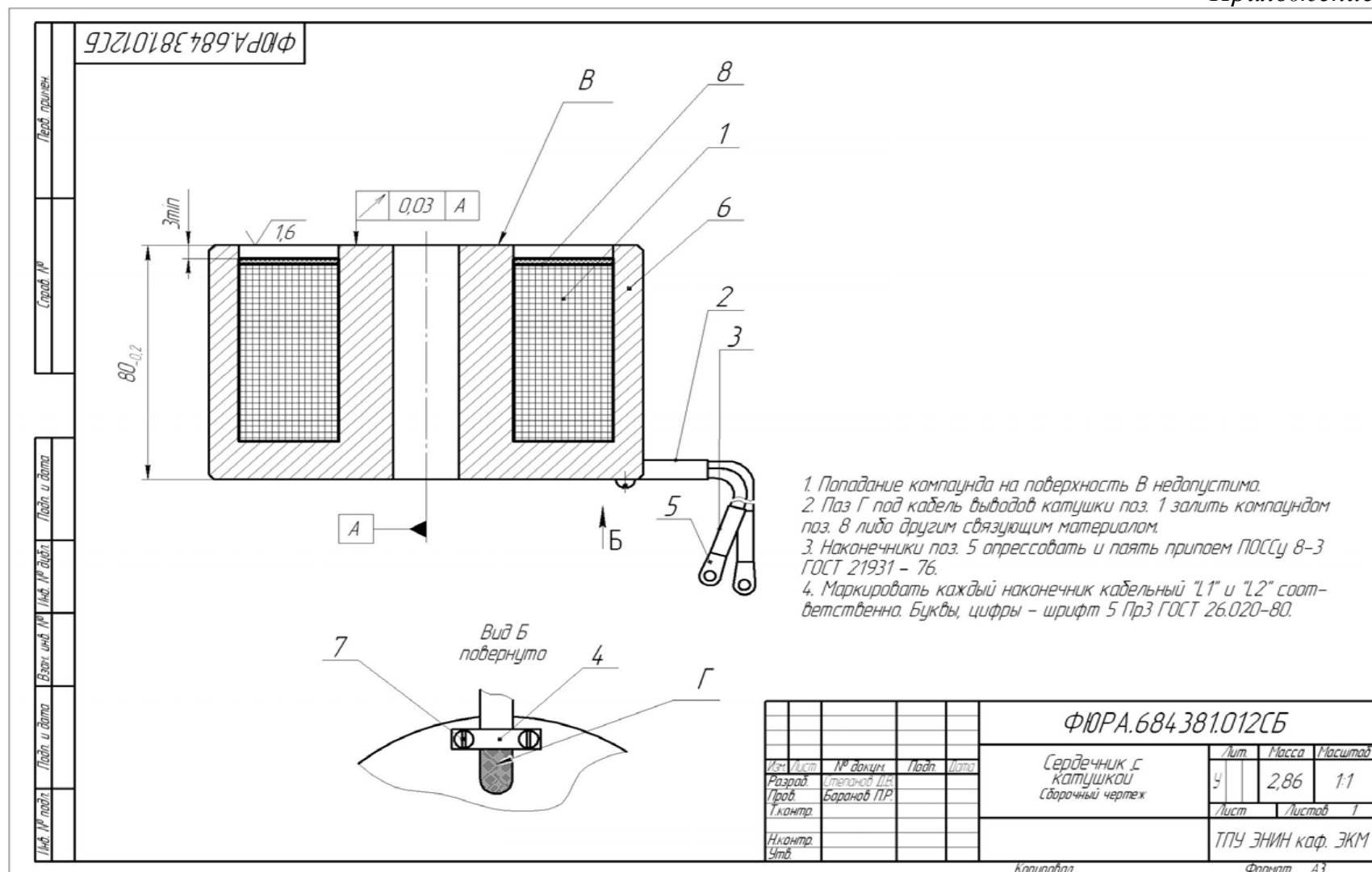
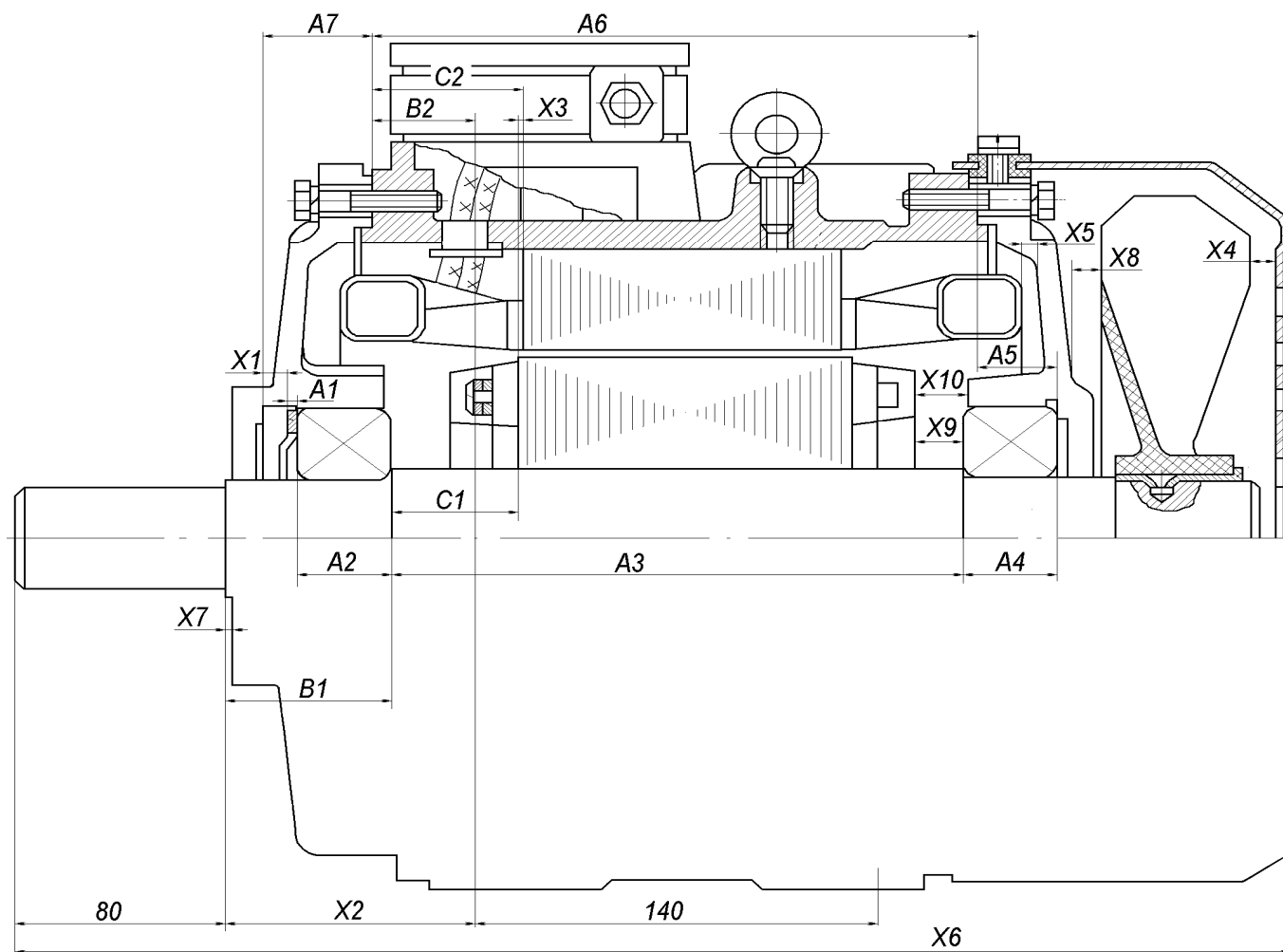
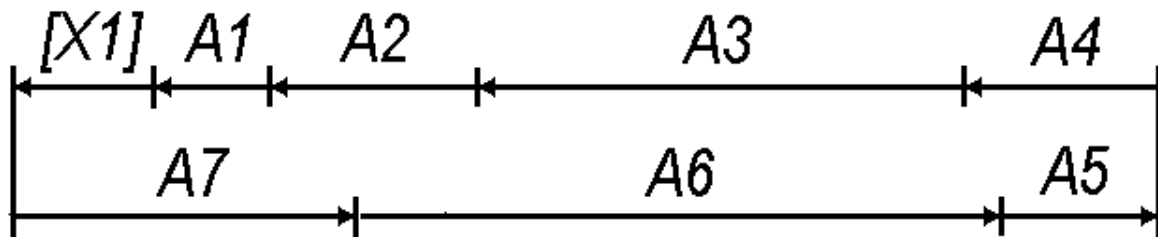


Схема конструкции асинхронного двигателя для размерного анализа

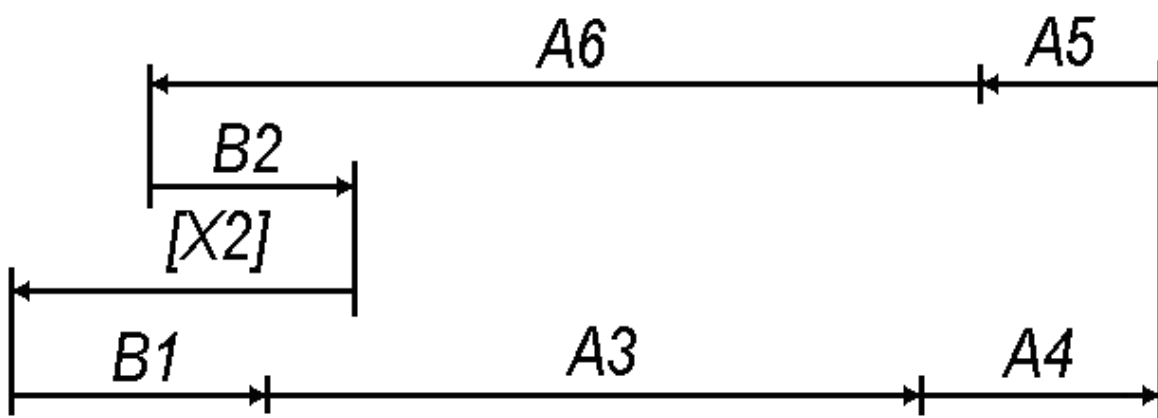


Примеры схем размерных цепей

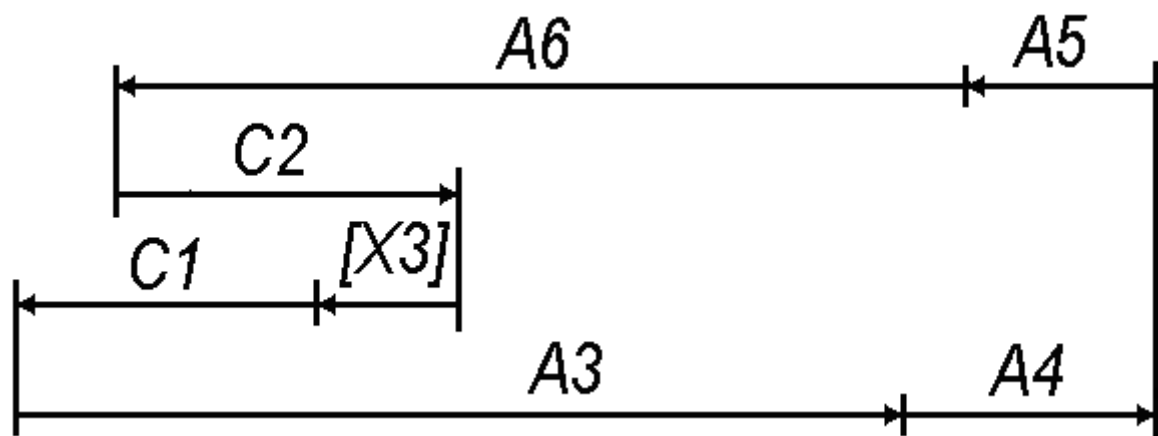
A



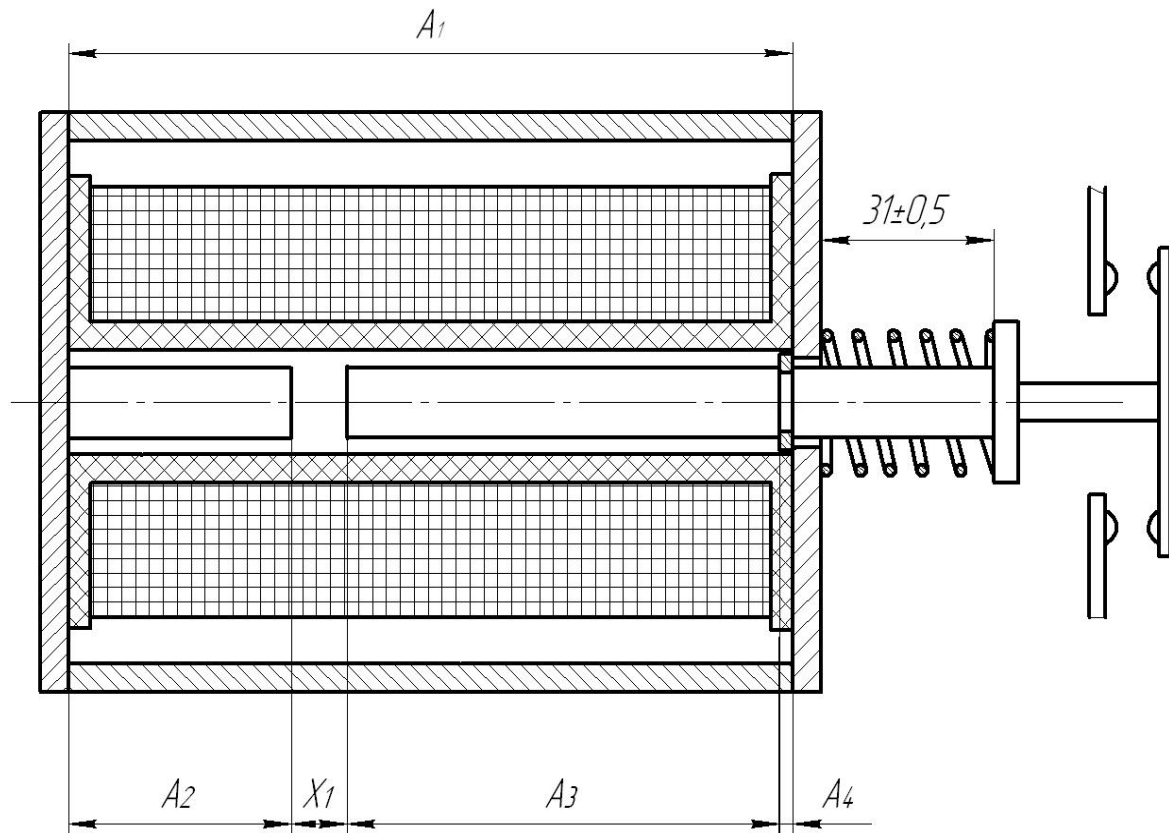
B



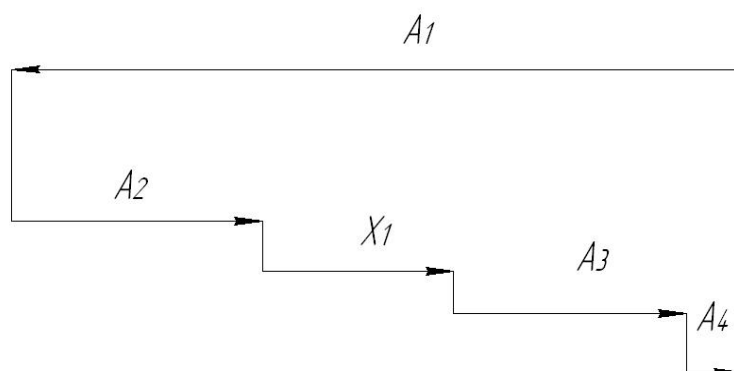
B



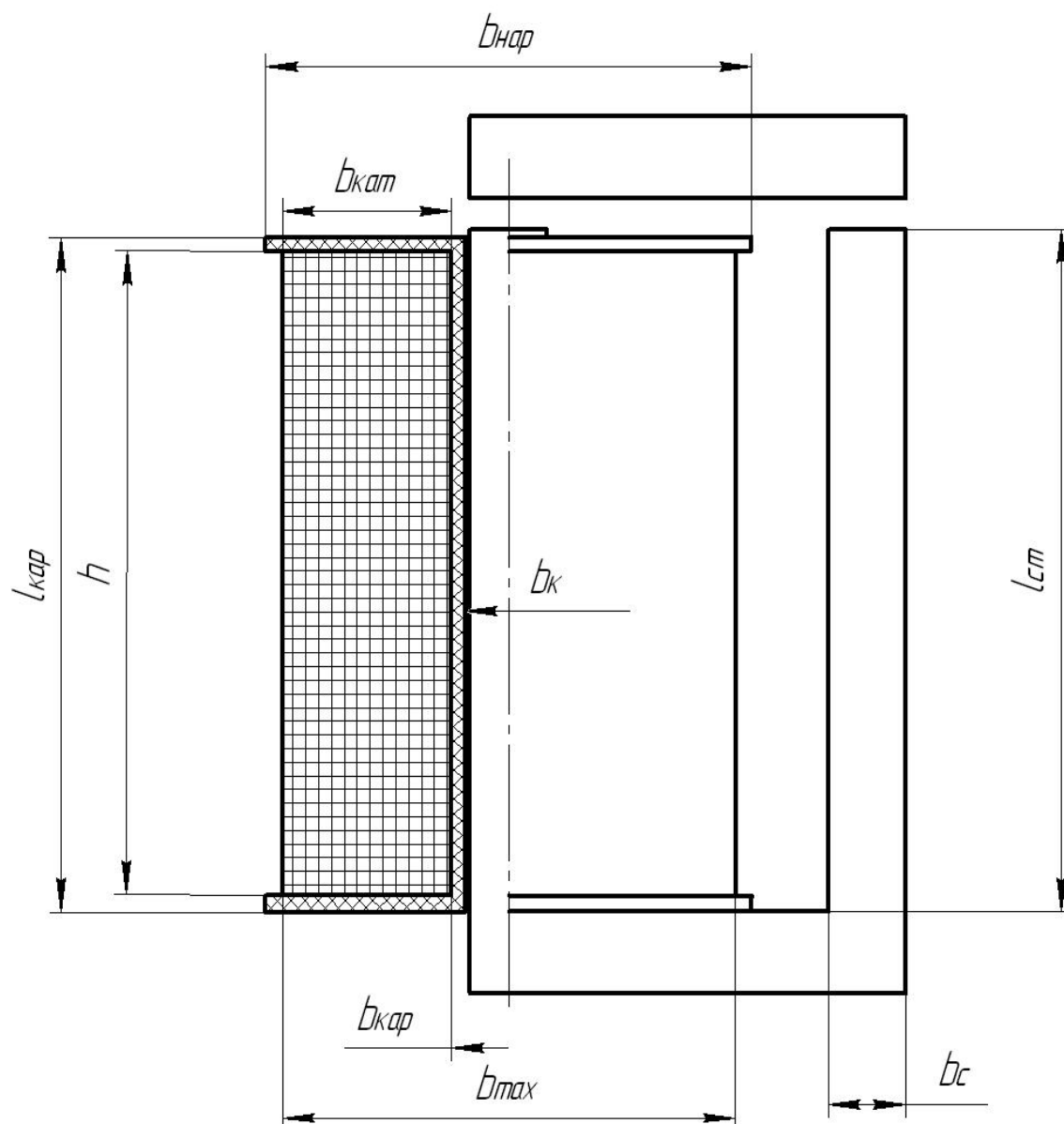
Анализ размерных цепей втягивающего реле стартера



а) Эскиз втягивающего реле автомобильного стартера

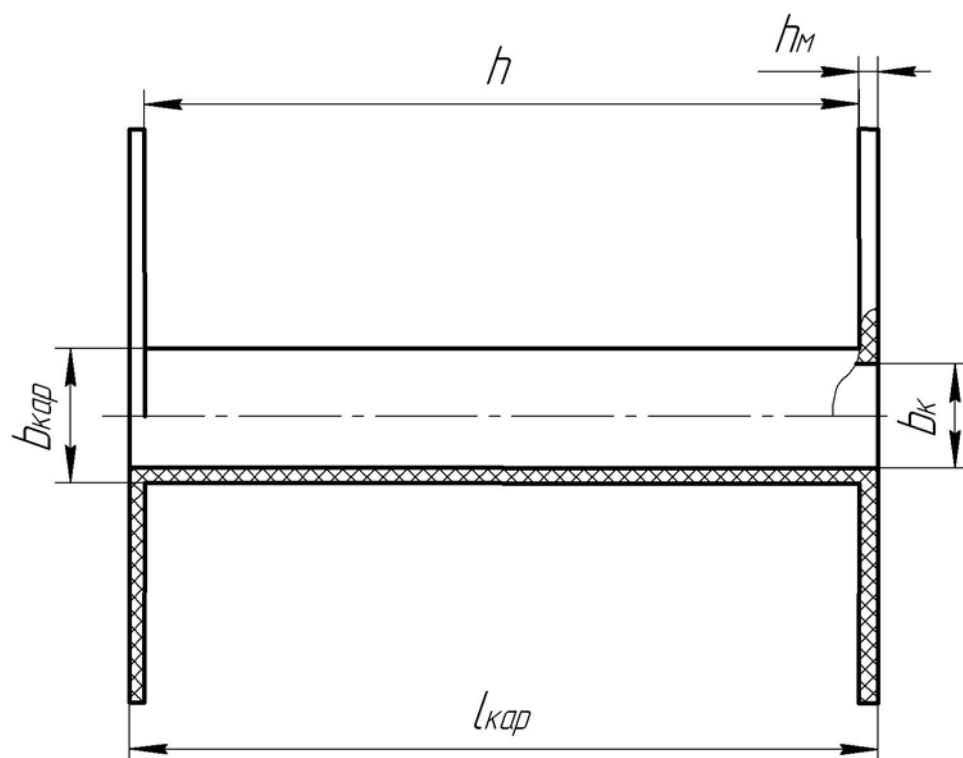


б) Размерная цепь втягивающего реле



ЭСКИЗ СЕРДЕЧНИКА С КАТУШКОЙ

к расчету каркаса и технологических параметров катушки

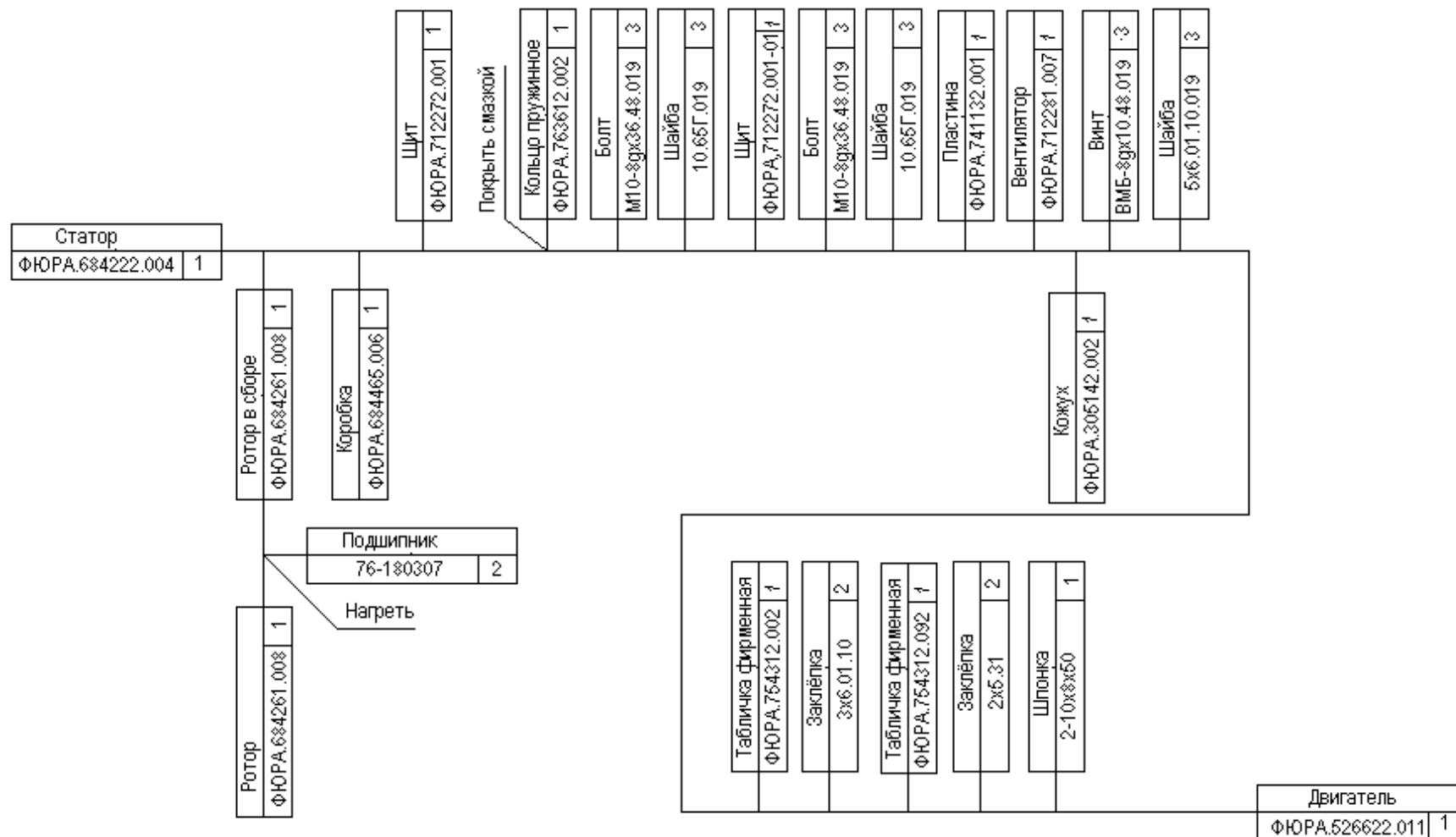


ЭСКИЗ КАРКАСА КАТУШКИ

к расчету каркаса и технологических параметров катушки

Схема сборки асинхронного двигателя

127



Пример задания на курсовую работу по механической обработке

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

Кафедра электромеханических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой _____ А.С.Ивашутенко

«_____» _____ 2012 г.

ЗАДАНИЕ

**на выполнение курсовой работы по дисциплине
«Технология производства электрических машин»**

Студент гр. 3-73XX **Зотов Антон Савельевич**

1. Тема курсовой работы: *Технологический процесс механической обработки крышки подшипниковой.*

2. Срок сдачи готовой работы: *30.11.12*

3. Исходные данные к работе: *чертёж крышки подшипниковой; годовая программа выпуска – 25000.*

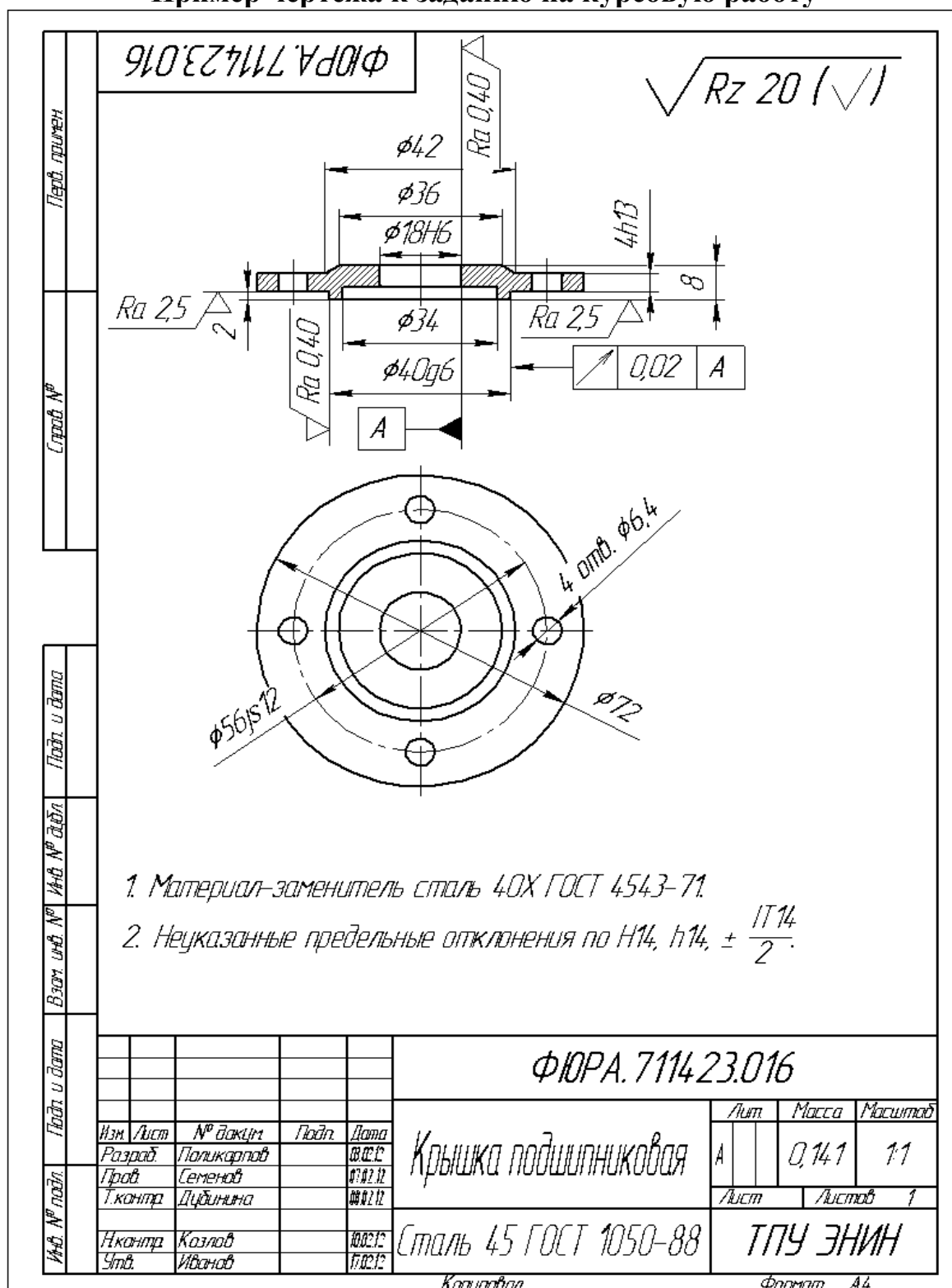
4. Содержание пояснительной записки: *введение, описание конструкции и служебное назначение подшипниковой крышки, оценка технологичности конструкции, выбор метода получения заготовки крышки, расчет припусков на размер Ø40f6, расчёт режимов резания на эту же поверхность, составление маршрутной технологии обработки крышки, выбор оборудования и оснастки, расчет норм времени, расчет количества оборудования для выполнения годовой программы, заключение.*

5. Дата выдачи задания на выполнение работы «_____» _____ 2012 г.

Руководитель работы _____ (Д.Д. Рогов)

Задание принял к исполнению _____ (А.С. Зотов)

Пример чертежа к заданию на курсовую работу



Размеры граф маршрутной карты по ширине

№ графы	Размер графы, мм		№ графы	Размер графы, мм		№ графы	Размер графы, мм
1	13		17	13		37	80,6
2	231,3		18	75,4		38	148,2
3	33,8		19	153,4		39	59,8
4	10,4		20	119,6		40	46,8
4К	13		21	10,4		41	15,6
5	18,2		22	18,2		42	15,6
6	15,6		23	10,4		43	23,4
6Б	13		24	13		44	36,4
6К	13		25	10,4		45	20,8
7	18,2		26	13		46	15,6
7К	20,8		27	13		47	41,6
8	13		28	13		48	59,8
9	33,8		29	18,2		49	41,6
10	54,6		30	20,8		50	46,8
11	15,6		31	119,6		51	13
12	18,2		32	75,4		52	145,6
13	41,6		33	13		53	10,4
14	10,4		34	18,2		54	179,4
15	10,4		35	75,4		55	13
16	10,4		36	88,6			

Приложение 23

131

Маршрутная карта на технологический процесс сборки (первый лист)

Приложение 24

35

36

37

38

39

40

41

42

Разраб.

43

44

45

46

47

48

49

50

Н. контр.

51

52

53

53

53

А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа											
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з.	Тшт.	
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала					Обозначение, код					ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх.		
1	A01	14	15	16	17	18	19										
	B02	20					21	22	23	24	25	26	6Б	27	28	29	30
	K03	31					32						33	4K	6K	34	7K
	04																
	05																
	06																
	07																
	08																
	09																
	10																
	11																
	12																
	13																
	14																
	15																
	16																
55	МК																

5.5

297

5.5

8.5

8.5

21.25

12.75

12.75

17

8.5

2.7

8.5

210

136

132

Маршрутная карта (последующие листы)

Приложение 25

12.75

35

36

37

38

39

40

42

54

48

50

А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение, документа														
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з.	Тшт.				
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала					Обозначение, код										ОП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх.
А01	14	15	16	17	18	19														
Б02	20					21	22	23	24	25	26	6Б	27	28	29	30				
К03	31					32						33	4К	6К	34	7К				
04																				
05																				
06																				
07																				
08																				
09																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
55	МК																			

5.5

297

5.5

12.75

8.5

17

8.5

144.5

210

8.5

8.5

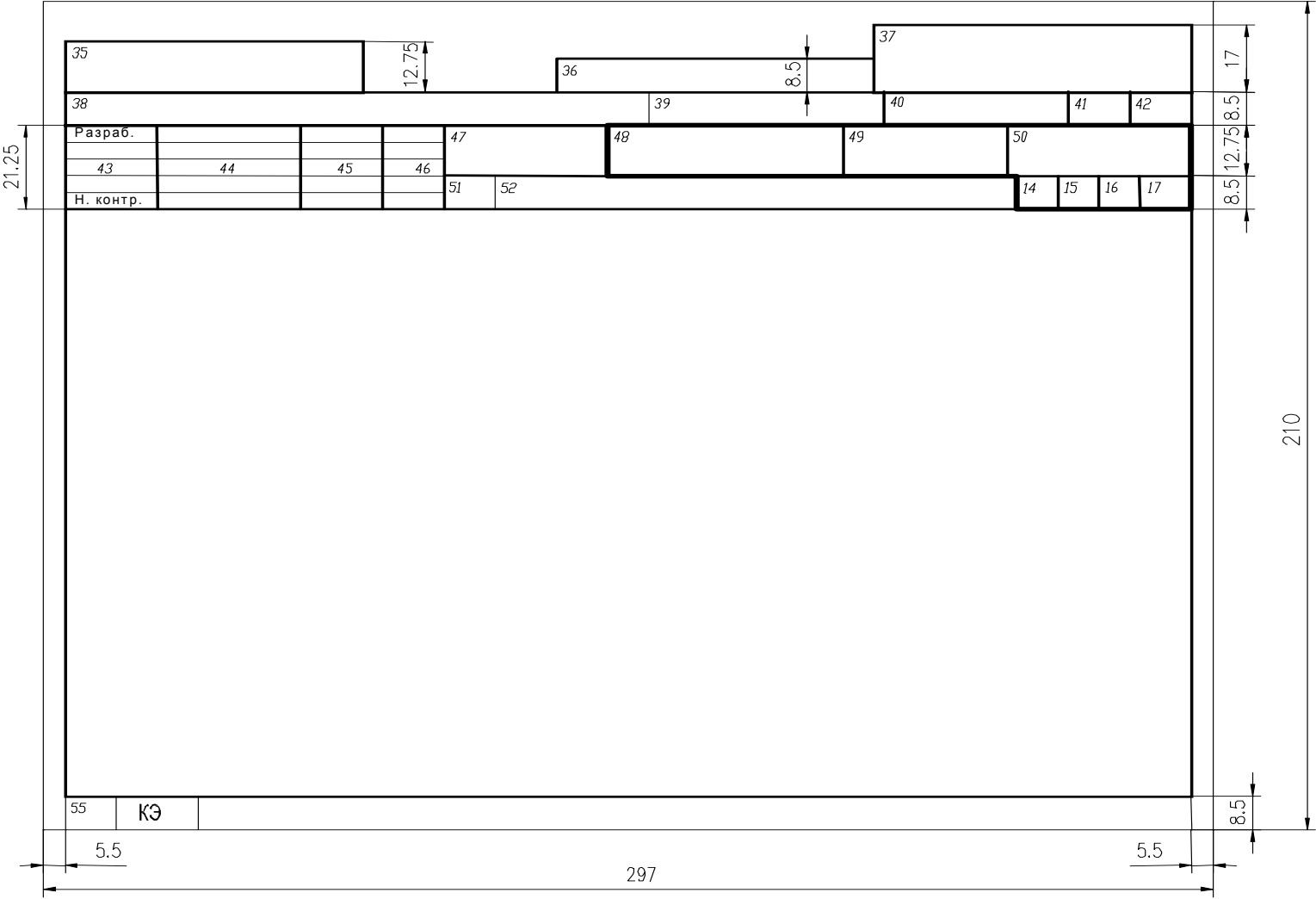
133

133

Пример заполнения маршрутной карты технологического процесса обработки резанием Приложение 26

										5 1																							
Разраб.		Сорокин		подп.		22.03.02		ТПУ, АЭМФ		ФЮРА.715423.005																							
Н. контр.		Маслова		подп.		27.03.02		Вал				П																					
M01		Круг В25 ГОСТ 2590-71 / 45 ГОСТ 1050-74																															
		Код		ЕВ		МД		ЕН		Н. расх.		КИМ		Код загот.		Профиль и размеры		КД		МЗ													
M02				166		0,8		1		1,15		0,7		095030		Ø 25 × 3000		10		11,51													
А		Цех		Уч.		РМ		Опер.		Код, наименование операции		Обозначение документа																					
Б		Код, наименование оборудования										СМ		Проф.		Р		УТ		КР		КОИД		ЕН		ОП		Кшт.		Тп.з.		Тшт.	
A03						005		4280,		отрезная																							
Б 04		381760,		станок		круглопильный		8Г642		2		16937		211		1Х		1		1		900		1		8		0,32					
Т 05		392210,		пила		круглая сегментная;		393311,		штангенцикуль		ШЦ-II-350-0,05.																					
A06				010		4269,		фрезерно-центровальная																									
Б 07		381825,		станок		фрезерно-центровальный		MP76M																									
08										2		18632		311		1И		1		2		1		900		1		25		0,76			
O09		Фрезеровать		два		торца, выдерживая		размер 280 _{-0,15} .		Центровать		два		торца, выдерживая		глубину		6 ^{+0,2} .															
10		Контроль		исполнителем.																													
Т 11		391855,		фреза торцовая -		Т15К6;		391242,		центровочное сверло -		Р9М6;		393311,		штангенцикуль																	
12		ШЦ-I-150-0,1;		393311,		штангенцикуль		ШЦ-II-350-0,05.																									
A13				015		4110,		токарная																									
Б 14		381101,		станок		токарно-винторезный		16К20		2		18217		311		1Р		1		1		1		900		1		3		1,54			
O15		Точить		поверхности с подрезкой		торца, выдерживая		размеры 20 _{-0,23}		15 _{-0,24}		40 ± 0,2,		122 ± 0,6.																			
Т 16		392101,		резец подрезной		твердосплавный		Т15К6;		393311,		штангенцикуль		ШЦ-II-250-0,05.																			
МК																																	

[illegible]



136

Таблица 1 – Коды технологических операций

Код	Наименование операции	Код	Наименование операции
	<u>Общие операции</u>	0266	Контроль шероховатости
0101	Разметка	0320	Контроль электрических и магнитных величин
0102	Нарезка	0331	Контроль температуры
0103	Нагревание	0335	Контроль акустических величин
0104	Раскрой	0387	Контроль внешнего вида
0107	Обдувка	0390	Контроль прочих величин и характеристик
0108	Слесарная	0401	Перемещение
0109	Зачистка	0404	Транспортирование
0113	Вакуумирование	0405	Погрузка
0114	Смазывание	0406	Загрузка
0117	Герметизация	0418	Разгрузка
0124	Дефектация	0422	Комплектование
0125	Промывка	0424	Пакетирование
0130	Очистка	0431	Укладка
0131	Очистка пескоструйная	0440	Поворотная
0145	Изолирование		Складирование
0150	Травление		<u>Испытания и консервация</u>
0160	Пропитка	0610	Испытания на надежность
0161	Пропитка под давлением	0620	Испытания механические
0162	Пропитка в вакууме	0675	Испытания на герметичность
0164	Заливка, засыпка	0710	Испытания климатические
0170	Сушка	0735	Испытания термические
0180	Маркирование	0765	Испытания электрические
0190	Обезжиривание		
0195	Удаление покрытия		
0196	Удаление изоляции		
0197	Намагничивание		
0198	Размагничивание		
	<u>Технический контроль</u>		
0218	Контроль длины		
0220	Контроль линейных размеров		
0250	Контроль формы и расположения поверхностей		

Продолжение таблицы 1

Код	Наименование операции	Код	Наименование операции
0790	Испытания магнитные и электромагнитные		<u>Получение покрытий</u>
0801	Консервация	7125	Плакирование
0830	Упаковывание	7135	Пассивирование
0860	Расконсервация	7143	Окисление термиче- ское
	<u>Обработка давлением</u>	7148	Кадмирование
2101	Отрезка	7156	Меднение
2103	Обрезка	7171	Серебрение
2109	Вырубка	7310	Грунтование
2123	Протяжка	7350	Шпатлевание
2127	Прошивка	7360	Окрашивание
2129	Гибка	7410	Лакирование
2134	Навивка	7440	Напыление
2144	Кернение		<u>Пайка и сварка</u>
2153	Накатка	8010	Пайка готовым припо- ем
2156	Правка	8060	Лужение
2160	Ковка	9010	Контактная сварка
2170	Штамповка	9130	Дуговая сварка
2173	Штамповка листовая	9062	Электронно-лучевая сварка
	<u>Обработка резанием</u>	9063	Плазменная сварка
4101	Агрегатная	9068	Газовая сварка
4105	Резьбонарезная	9080	Наплавка
4110		8501	<u>Электромонтаж</u>
4130	Токарная		Регулирование, на- стройка
4170	Шлифовальная	8508	Бандажирование
4175	Строгальная	8512	Мерная резка
4180	Долбежная	8535	Намотка, перемотка
4190	Протяжная	8537	Бескаркасная намотка
4210	Отделочная		<u>Сборка</u>
4220	Сверлильная		Базирование
4230	Расточная	8801	Балансировка
4260	Программная (ЧПУ)	8803	Установка
4280	Фрезерная	8810	Стопорение
	Отрезная	8821	Штифтование
	<u>Термическая обработка</u>	8822	Запрессовывание
5010	Отжиг	8823	Контровка
5030	Закалка	8824	
5050	Отпуск		
5060	Старение		

Продолжение таблицы 1

Код	Наименование операции	Код	Наименование операции
8831	Свинчивание	8861	Разборка
8841	Клепка	8862	Сборочно-подготовительная
8842	Развальцовка	8863	Сборочно-монтажная
8846	Склеивание	8864	Слесарно-сборочная
8849	Центрирование	8866	Приклеивание
8851	Шплинтование	8870	Сборка и монтаж изделий электронной техники
8852	Распрессовывание		
8858	Монтаж		
8859	Демонтаж		

Таблица 2 - Коды технологического оборудования

Код	Наименование оборудования
<u>Подъемно-транспортное</u>	
315100	Краны мостовые электрические общего назначения
315911	Кран-балки
315920	Краны консольные электрические
316100	Конвейеры ленточные стационарные скребковые, звеньевые и прочие
316300	Конвейеры подвесные
317110	Средства напольного безрельсового транспорта
317155	Манипуляторы
317216	Электрогрузовозы
317411	Тали электрические подвесные
317611	Кран-штабелеры электрические мостовые
317630	Стеллажи и тара складов, обслуживаемых кранами-штабелерами
<u>Электротехническое</u>	
344001	Оборудование специальное технологическое для электротехнической промышленности
344100	Оборудование электросварочное
344120	Автоматы и полуавтоматы для электродуговой и электрошлаковой сварки
344151	Оборудование для плазменной сварки и резки
344140	Машины для электроконтактной сварки
344200	Оборудование электротермическое промышленное
344203	Электропечи
345311	Электропогрузчики аккумуляторные

Код	Наименование оборудования
345312	Электроштабелеры
345313	Электрокары
344710	Оборудование для производства электрических машин
344760	Оборудование для производства низковольтной аппаратуры и устройств, кранового и тягового электрооборудования электротранспорта
344780	Оборудование для производства трансформаторов, КТП, высоковольтной аппаратуры, силовых конденсаторов
345313	Электротележки
367110	Установки для нанесения лакокрасочных материалов пневматическим распылением
367210	Распылители
	<u>Металлообрабатывающее</u>
381021	Станки с ЧПУ токарные
381022	Станки с ЧПУ сверлильные
381023	Станки с ЧПУ расточные
381024	Станки с ЧПУ фрезерные
381025	Станки с ЧПУ шлифовальные
381026	Станки с ЧПУ для электрофизической и электрохимической обработки
381029	Станки с ЧПУ прочие
381130	Станки токарно-револьверные
381150	Станки токарно-карусельные
381160	Станки токарно-винторезные и токарные
381201	Станки вертикально-сверлильные
381260	Станки расточные
381310	Станки шлифовальные
381360	Станки заточные
381500	Станки зубообрабатывающие
381610	Станки вертикально-фрезерные
381620	Станки горизонтально-фрезерные
381671	Станки шпоночно-фрезерные
381702	Станки продольно-строгальные
381703	Станки протяжные вертикальные
381708	Станки протяжные горизонтальные
381715	Станки поперечно-строгальные
381718	Станки долбежные

Продолжение таблицы 2

Код	Наименование оборудования
381740	Станки для электрофизической и электрохимической обработки
381760	Станки отрезные
381776	Станки металлорежущие прочие, разные
381880	Станки агрегатные
382100	Прессы механические
382101	Прессы кривошипные простого действия
382180	Прессы винтовые
382200	Прессы гидравлические
382270	Машины литьевые для пластмасс
382291	Прессы гидравлические листоштамповочные
382295	Прессы гидравлические для механосборочных цехов
382400	Автоматы кузнечно-прессовые
382460	Автоматы листоштамповочные
382500	Молоты
382700	Машины гибочные и правильные
382810	Ножницы листовые с наклонным ножом (гильотинные)
382820	Ножницы листовые дисковые
382950	Прессы пневматические
384100	Машины питейные
384160	Машины для центробежного литья
384170	Машины для литья под давлением
384181	Машины кокильные со свободной заливкой металла в кокиль
385000	Оборудование для гальванопокрытий изделий машиностроения
385300	Установки гальванические
386240	Установки для сборки и сварки
386265	Установки для снятия сварочных напряжений
386291	Оборудование для наплавки
387420	Линии автоматические и полуавтоматические кузнечно-прессовые
413100	Металлоконструкции сварные из углеродистой стали
419500	Оборудование не стандартизированное
562910	Столы универсального назначения

Таблица 3 - Коды рабочих профессий

Код	Рабочая профессия	Разряды работ
10021	Автоматчик	2 – 4
10065	Аппаратчик	2 - 6
11159	Бакелитчик (пропитчик)	2 – 3
11161	Балансировщик деталей и узлов	2 – 6
11168	Бандажировщик	1 – 4
11318	Вальцовщик	1 – 5
11618	Газорезчик	1 – 5
11629	Гальваник	1 – 5
11883	Долбежник	2 – 4
11989	Завивальщик спиралей	2 – 4
12023	Заготовщик изоляционных деталей	1 – 4
12312	Изготовитель жгутов	2 – 3
12520	Изолировщик	1 – 5
12612	Испытатель электрических машин, аппаратов и приборов	2 – 6
12801	Клепальщик	1 – 6
12837	Комплектовщик	1 – 3
12920	Контролер	2 – 5
13053	Контролер сборки электрических машин, аппаратов и приборов	2 – 6
13055	Контролер сборочно-монтажных и ремонтных работ	2 – 6
13095	Контролер электромонтажных работ	2 – 6
13225	Кузнец на молотах и прессах	2 – 6
13324	Лаборант электромеханических испытаний и измерений	2 – 5
13351	Лакировщик электроизоляционных изделий и материалов	2 – 4
13395	Литейщик на машинах литья под давлением	2 – 5
13450	Маляр	1 – 6
14544	Монтажник	2 – 3
14849	Навивщик пружин	2 – 3
14995	Наладчик технологического оборудования	2 – 8
15023	Намотчик катушек для электроприборов и аппаратов	1 – 4
15027	Намотчик катушек и секций электрических машин	1 – 5

Продолжение таблицы 3

Код	Рабочая профессия	Разряды работ
15029	Намотчик катушек трансформаторов	1 – 6
15058	Намотчик электроизоляционных изделий	3 – 5
15060	Намотчик электромагнитных сердечников	1 – 2
15236	Обмотчик элементов электрических машин	1 – 6
15452	Окрасчик приборов и деталей	1 – 4
16456	Паяльщик	1 – 5
17424	Пропитчик	1 – 4
17444	Пропитчик электротехнических изделий	1 – 5
17499	Пружинщик	2 – 4
17968	Резчик труб и заготовок	1 – 4
17979	Резчик электроизоляционных материалов	3
18116	Сборщик	2 – 4
18211	Сборщик обмоток трансформаторов	2 – 5
18264	Сборщик сердечников трансформаторов	1 – 6
18279	Сборщик трансформаторов	1 – 6
18312	Сборщик электрических машин и аппаратов	1 – 6
18329	Сварщик	2 – 5
18355	Сверловщик	2 – 5
18466	Слесарь механосборочных работ	2 – 6
18481	Слесарь по выводам и обмоткам электрических машин	1 – 6
18891	Строгальщик	2 – 6
19100	Термист	2 – 6
19149	Токарь	2 – 6
19298	Упаковщик	1 – 3
19479	Фрезеровщик	2 – 6
19630	Шлифовщик	2 – 6
19700	Штамповщик	2 – 5
19776	Электромеханик по испытанию и ремонту электрооборудования	1 – 6
19814	Электромонтажник по электрическим машинам	2 – 6
19854	Электромонтер по ремонту аппаратуры, релейной защиты и автоматики	2 – 6
19927	Электрослесарь по ремонту электрических машин	2 – 6

Таблица 4 – Коды видов материалов

Код	Вид материала
025343	Масло промышленное для подшипников скольжения
025351	Масло электроизоляционное трансформаторное
025440	Смазки пластичные антифрикционные
081210	Чугун литейный обычный
087010	Сталь углеродистая
087030	Сталь легированная
090020	Прокат из низколегированной стали
090100	Прокат сортовой
090200	Прокат листовой
120100	Проволока стальная
130100	Трубы стальные бесшовные
171220	Сплавы на основе первичного алюминия
171223	Алюминий легированный
171225	Силумин
171800	Флюсы
172220	Олово и его сплавы
172300	Припои на основе олова, свинца и индия
172400	Баббиты
173320	Медь рафинированная
173333	Припои на медной основе
173336	Бронзы
173337	Латуни
181000	Прокат алюминиевый
211411	Кислород
211412	Азот
211412	Аргон
221310	Фторопласты
225200	Клеи на основе смол
225700	Замазки, герметики, компаунды, составы пропиточные
231000	Материалы лакокрасочные
349100	Материалы и изделия электроизоляционные (кроме миканитов, слюдинитов и слюдопластов)
349200	Миканиты, слюдиниты и слюдопласты
349500	Щетки для электрических машин
355400	Провода для обмоток электрических машин
358200	Провода монтажные
359100	Провода обмоточные с эмалевой изоляцией
359200	Провода обмоточные с волокнистой и другими видами изоляции

Таблица 5 – Коды единиц величин и счета

Код	Единицы величин	Код	Единицы величин
003	миллиметр	290	Герц
006	метр	297	калория
055	метр квадратный	302	атмосфера
120	литр	331	оборот в минуту
166	килограмм	355	минута
168	тонна	356	час
212	Ватт	371	рубль
214	киловатт	372	тысяча рублей
222	Вольт	720	партия
243	Ватт-час	737	процент
245	киловатт-час	788	цикл
260	Ампер	796	штука
274	Ом	798	тысяча штук
280	градус Цельсия		

Таблица 6 – Коды видов заготовок

Коды	Вид заготовки
147900	Продукция порошковой металлургии
147950	Материалы порошковые, заготовки
411110	Отливки из ковкого чугуна
411120	Отливки из серого чугуна
411210	Отливки из углеродистой стали
412110	Штамповки из черных металлов
412120	Поковки из проката черных металлов
412220	Поковки из проката цветных сплавов
413330	Металлоконструкции сварные корпусные
413360	Металлоконструкции сварные цилиндрические

Таблица 7 – Коды на технологическую оснастку, режущий инструмент и измерительные средства

Коды	Вид оснастки
	<u>Инструмент и измерительные средства</u>
391200	Сверла
391210	Сверла спиральные общего назначения с цилиндрическим хвостовиком быстрорежущие
391290	Сверла для станков с ЧПУ и автоматических линий
391300	Метчики
391391	Метчики для станков с ЧПУ
391500	Плашки
391600	Зенкеры
391610	Зенкеры быстрорежущие
391700	Развертки
391800	Фрезы
391801	Фрезы твердосплавные
391890	Фрезы для станков с ЧПУ
392100	Резцы
392101	Резцы твердосплавные
392190	Резцы для станков с ЧПУ
392200	Пилы дисковые
392300	Протяжки
392410	Долбяки
392500	Головки, плашки и ролики резьбонакатные, головки резьбонарезные
392580	Инструмент прочий специальный режущий
392600	Инструмент слесарно-монтажный
392610	Инструмент контрольно-разметочный (чертилки, кернеры, циркули, рейсмасы)
392620	Инструмент, работающий ударом (молотки, обжимки, пробойники, клейма)
392630	Инструмент режущий ручной (пилки –шлифовки, зубила, крейцмейсели, шаберы)
392640	Инструмент захватный и отрезной (шарнирно-губцевый) (плоскогубцы, круглогубцы, пассатижи, кусачки, клещи, ножницы по металлу)
392650	Ключи для крепления резьбовых соединений
392660	Отвертки
392871	Тиски слесарные (верстачные)
392880	Оправки

Коды	Вид оснастки
392900	Напильники и бортфрезы
393100	Калибры
393120	Калибры гладкие и скобы
393310	Штангенциркули
393320	Штангенрейсмасы
393410	Микрометры гладкие
393440	Глубиномеры микрометрические
393510	Линейки лекальные
393550	Плиты поверочные и разметочные
393600	Инструмент измерительный разный (шаблоны, щупы, линейки)
393811	Приборы измерительные универсальные
394300	Приборы активного контроля
394630	Ключи гаечные, торцовые, трубные, специальные
397000	Инструмент алмазный, из сверхтвердых материалов и сырье для них
398000	Инструмент абразивный, материалы абразивные
421100	Приборы для измерения и регулирования температуры
421200	Приборы для измерения и регулирования давления
422100	Приборы электроизмерительные цифровые
422300	Приборы электроизмерительные щитовые аналоговые
422400	Приборы электроизмерительные лабораторные переносные аналоговые
422600	Приборы электроизмерительные регистрирующие
428000	Приборы времени
<u>Технологическая оснастка</u>	
396000	Оснастка технологическая для машиностроения
396100	Приспособления станочные
396110	Патроны токарные
396131	Тиски машинные
396141	Головки делительные универсальные
396151	Стол поворотные
396181	Приспособления универсальные сборные переналаживаемые
396800	
398000	Оснастка универсально-сборная. Инструмент абразивный, материалы абразивные

Учебное издание

ЧЕСАЛИН Анатолий Дмитриевич
БАРАНОВ Павел Рудольфович

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И АППАРАТОВ

Учебное пособие

Научный редактор доктор технических наук,
профессор В.И. Курец

Редактор *И.О. Фамилия*

Компьютерная верстка *И.О. Фамилия*

Дизайн обложки *И.О. Фамилия*

Подписано к печати 05.11.2010. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл.печ.л. 3,49. Уч.-изд.л.3,16.

Заказ . Тираж 00 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru