

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**Е. П. Щербакова**

## **ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся по направлению подготовки  
15.03.01 Машиностроение

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2025

УДК 621.71

Рецензент

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой инжиниринга  
технологического оборудования ФГБОУ ВО «КГТУ» Д. Б. Подашев

Щербакова, Е. П.

Технологии и оборудование сборочного производства: учеб.-методич.  
пособие по изучению дисциплины для студентов, обучающихся по  
направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение / Е. П. Щербакова –  
Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2025. – 88 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Технологии и  
оборудование сборочного производства» представлены учебно-методические  
материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план  
лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по  
подготовке к практическим занятиям для направления подготовки 15.03.01 –  
«Машиностроение».

Табл. 17, рис. 19, список лит. – 18 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано  
в качестве локального электронного методического материала методической  
комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО  
«Калининградский государственный технический университет» 30 октября  
2025 г., протокол № 8

УДК 621.71

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2025 г.  
© Щербакова Е. П., 2025 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	7
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	20
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	82
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	84
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	86

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение дисциплины «Технологии и оборудование сборочного производства» строится на базе знаний, полученных студентами при изучении курсов «Высшая математика», «Физика», «Технология машиностроения».

Дисциплина «Технологии и оборудование сборочного производства» является дисциплиной, формирующей у обучающихся готовность к профессиональной деятельности в области машиностроения.

Дисциплина «Технологии и оборудование сборочного производства» относится к модулю направления ОПОП ВО по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение.

Целью освоения дисциплины является формирование у студентов знаний, умений и навыков, применяемых при разработке технологий сборки изделий машиностроения.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- основные схемы и способы сборки изделий, при которых достигается наибольшая производительность и минимальные затраты на использование электрической, тепловой и другой энергии, а также минимизированы затраты труда;

- наиболее перспективный сборочный инструмент и оборудование;

уметь:

- предложить применение прогрессивных схем сборки, выбрать наиболее экономичное оборудование, оснастку и инструмент, а также наиболее эффективную схему сборки;

владеть:

- навыками по разработке технологических процессов сборки с использованием прогрессивного сборочного инструмента и оборудования.

При реализации дисциплины «Технологии и оборудование сборочного производства» организуется практическая подготовка путем проведения практических занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Для успешного освоения дисциплины «Технологии и оборудование сборочного производства», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены практические задания. Решение практических задач обучающимися проводится на практических занятиях после изучения соответствующих тем.

К оценочным средствам поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) относятся:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена.

К экзамену допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам освоения дисциплины.

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (таблица 1).

При необходимости для обучающихся-инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок  Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление</b>	Не может делать научно-корректных	В состоянии осуществлять	В состоянии осуществлять	В состоянии осуществлять

<div>Система оценок</div> <div>Критерий</div>	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>изучаемого явления, процесса, объекта</b>	выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	научно-корректный анализ предоставленной информации	систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные	систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Для успешного освоения дисциплины «Технологии и оборудование сборочного производства» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень ключевых вопросов для подготовки к практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов.

# 1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Технологии и оборудование сборочного производства», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области разработки технологических процессов сборки, подбора оборудования машиностроительных производств, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Тематический план лекционных занятий (ЛЗ) представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ЛЗ

№ темы	Содержание лекционного занятия
1	Сборочные процессы в машиностроении
2	Проектирование технологических процессов сборки
3	Подготовка деталей к сборке и классификация соединений деталей при сборке
4	Сборка неподвижных разъёмных соединений
5	Сборка неподвижных неразъёмных соединений
6	Сборка типовых сборочных единиц
7	Выполнение послесборочных работ и организация сборочных процессов
8	Механизация и автоматизация сборочных работ

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

## Тема 1. Сборочные процессы в машиностроении

### *Ключевые вопросы темы*

1. Роль и назначение сборочных процессов в производстве машин.
2. Сборка изделий: основные понятия и определения.

3. Работы по проектированию технологических процессов сборки.
4. Служебное назначение машины и технические требования.
5. Технологические схемы сборки.

*Ключевые понятия:* изделие, деталь, сборочная единица, сборка

*Литература:* [1, с. 4–10].

#### *Методические рекомендации*

Первая тема курса дисциплины «Технологии и оборудование сборочного производства» направлена на получение у обучающихся представления о базовых понятиях дисциплины, таких как изделие, деталь, сборочная единица, сборка, отличие подвижных соединений от неподвижных, переход, рабочее место, определении места дисциплины в структуре образовательной программы, планируемых результатов освоения дисциплины, возможных рисках освоения дисциплины, знакомит обучающихся с формами текущего и промежуточного контроля.

Процесс сборки является заключительным этапом изготовления машины, в значительной степени определяющим ее эксплуатационные качества. Хорошая конструкция, качественные материалы, точное изготовление деталей не могут гарантировать высокого качества машины, если сборка выполнена некачественно. Надежность работы изделия и срок его эксплуатации также во многом зависят от качества сборки. В процессе сборки машины могут быть допущены погрешности, сводящие на нет достигнутые ранее результаты: неверное сопряжение деталей (зазоры), плохая регулировка механизмов, излишняя или недостаточная затяжка резьбовых соединений, попадание металлической стружки или абразивной пыли в механизмы – все это способно вывести машину из строя раньше времени. Кроме того, во время сборки выявляются недостатки технологичности конструкции и дефекты предшествующих технологических процессов. Процесс сборки характеризуется высокой трудоемкостью и длительностью. Трудоемкость сборочных работ в машиностроении составляет в среднем 30 % от трудоемкости изготовления машины, занимая второе место после механической обработки. В зависимости от типа производства трудоемкость сборочных работ может составлять: в крупносерийном и массовом производстве – 20–30 %; в серийном – 25–35 %; в единичном и мелкосерийном – 35–40 %. Также различна доля сборочных работ в разных отраслях машиностроения: в автомобилестроении – 18–20 %; в станкостроении – 25–30 %; в приборостроении – 40–45 %. Причем, как свидетельствует опыт отечественных и зарубежных машиностроительных предприятий, имеет место постоянная тенденция увеличения трудозатрат на сборку [1].

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Изделие
2. Деталь



3. Сборочная единица
4. Сборка
5. Отличие подвижных соединений от неподвижных
6. Переход
7. Рабочее место

## **Тема 2. Проектирование технологических процессов сборки**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Понятие технологичности сборки.
2. Технологичность сборочных единиц при ручной механизированной сборке.
3. Технологичность поточно-механизированной и автоматизированной сборки.

*Ключевые понятия:* технологичность сборки

*Литература:* [1, с. 10–16].

### *Методические рекомендации*

Технологичность конструкции изделия (ТКИ) – это совокупность свойств конструкции, обеспечивающая оптимальные затраты труда, материалов и времени при подготовке производства, изготовлении и эксплуатации изделия по сравнению с соответствующими показателями однотипных изделий. Технологичность сборки предполагает соответствующую эффективность сборочных работ. ТКИ – понятие относительное. Прежде всего, технологичность есть функция масштабов и серийности выпуска изделия. Она различна для предприятий с различным парком оборудования и различным уровнем квалификации ИТР и производственных рабочих. С другой стороны, это понятие комплексное. Нельзя упускать из вида ни одного этапа разработки, изготовления и эксплуатации изделия. Эффект технологичности должен быть суммарным по всем этапам. В целом же свойство технологичности определяет, насколько эффективно может быть налажено производство и сбыт нового изделия. Улучшением технологичности конструкции удастся сократить трудоемкость машин на 15–20 %, а себестоимость изготовления на 10–15 %. Недооценка технологичности конструкции приводит к удлинению сроков подготовки производства и дополнительным издержкам [1].

### *Вопросы для самоконтроля*

1. Технологичность сборки
2. Два метода оценки технологичности существуют
3. Характеристики технологичности у разъемных соединений
4. Характеристики технологичности у неразъемных соединений

### **Тема 3. Подготовка деталей к сборке и классификация соединений деталей при сборке**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Виды пригоночных работ
2. Соединения, требующие совместного сверления отверстий при сборке
3. Мойка деталей
4. Классификация соединений деталей при сборке
5. Виды соединений деталей машин
6. Схема видов поверхностей деталей

*Ключевые понятия:* опилование, зачистка, притирка, полирование, шабрение, сверление отверстий по месту, развертывание отверстий, подторцовывание и гибка, мойка деталей

*Литература:* [1, с. 17–23].

#### *Методические рекомендации*

Точность сборки на основе методов полной или групповой взаимозаменяемости обеспечивается в основном в условиях массового и крупносерийного производства. В единичном, мелкосерийном и в серийном производстве, где сосредоточено в настоящее время более 60% всего объема выпуска машин, в процессе сборки производится дополнительная пригонка деталей и узлов по месту. Таким образом, под пригонкой понимается дополнительная обработка сопрягаемой поверхности в процессе сборки для получения заданной посадки, геометрической точности и ее качества. Объем пригоночных работ в общей трудоемкости сборки до настоящего времени очень велик и составляет от 5...10 % (в серийном производстве) и до 30...40 % (в единичном производстве). Операции пригонки, как правило, очень трудоемки, требуют затрат труда высококвалифицированных рабочих. Поэтому актуальной задачей является сокращение объема и механизация пригоночных работ. Наиболее распространенными видами пригоночных работ являются опилование, зачистка, притирка, полирование, шабрение, сверление отверстий по месту, развертывание отверстий, подторцовывание и гибка.

Детали, поступающие на узловую и общую сборку, должны быть совершенно чистыми. Наличие на деталях остатков мелкой стружки, абразивов и др. загрязнений при эксплуатации машин может вызвать преждевременный износ ответственных деталей. Для предотвращения этого детали перед поступлением на сборку обязательно промываются. Промывка может выполняться в моечных ваннах и машинах различной конструкции: тупиковых, проходных, одно- и двухкамерных. В последнее время начинают все более широко применяться ультразвуковые моечные машины полуавтоматического действия, в которых происходит предварительная, чистовая промывка с использованием ультразвуковых колебаний, пассивирования и сушки деталей. Такие установки успешно работают на подшипниковых и других заводах. В

качестве моющих жидкостей применяют органические растворители (бензин, ацетон) или водно-щелочные растворы.

Основным видом работ при сборке является выполнение различных соединений деталей. Сборку двух или нескольких деталей можно выполнить в виде неподвижного или подвижного их соединения. Детали подвижных соединений имеют возможность перемещаться в рабочем состоянии одна относительно другой. Детали неподвижных соединений в рабочем состоянии перемещаться не могут. Подвижные и неподвижные соединения по возможности их демонтажа, кроме того, разделяются на разъёмные и неразъёмные соединения. Количество, разъёмных соединений в современных машинах составляет от 65 до 85 % всех соединений. При этом под разъёмными соединениями подразумеваются те соединения, которые могут быть разобраны без повреждения соединяющих деталей. Неразъёмные соединения в процессе эксплуатации и ремонта могут иногда подвергаться разборке, хотя при этом часто одна или обе соединяющиеся детали оказываются непригодными к последующей сборке или же требуют специальных пригонок.

Таким образом, все сборочные соединения могут быть разделены на:

- неподвижные неразъёмные соединения, которые осуществляются путем запрессовки, сварки, пайки, склеивания, развальцовки, а также заклепочные соединения;
- неподвижные разъёмные (резьбовые, шпоночные, конусные, шлицевые соединения);
- подвижные разъёмные (некоторые конусные соединения, зубчатые передачи, каретки-станины, цепные передачи);
- подвижные неразъёмные (некоторые подшипники качения, запорные краны).

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Опиливание и очистка.
2. Способы притирки.
3. Механизация полирования.
4. Недостатки метода шабрение.
5. Применение подторцовывания.
6. Мойка деталей.
7. Классификация соединений деталей при сборке.

#### **Тема 4. Сборка неподвижных разъёмных соединений**

##### *Ключевые вопросы темы*

1. Сборка резьбовых соединений.
2. Сборка шпоночных соединений.
3. Сборка шлицевых соединений.
4. Сборка неподвижных конических соединений.
5. Сборка неподвижных соединений с применением пластмассовых компенсаторов.

*Ключевые понятия:* сборка резьбовых соединений

*Литература:* [1, с. 23–30].

#### *Методические рекомендации*

Среди разнообразных соединений деталей машин резьбовые соединения являются наиболее распространенными. Они составляют 15–25 % от общего количества соединений. Широкое распространение резьбовых соединений в конструкциях машин объясняется простотой и надёжностью этого вида креплений, удобством регулирования затяжки, а также возможностью разборки и повторной сборки соединения без замены детали. Трудоемкость сборки резьбовых соединений машин составляет 25...35 % общей трудоемкости сборочных работ. При этом значительная доля затрат труда (50...60 %) пока ещё остается недостаточно механизированной.

Болтовые и винтовые соединения по технологии сборки можно разделить на соединения, собираемые без затяжки и соединения, в которых создается предварительная затяжка. Наибольшее распространение получили соединения второго типа. Предварительная затяжка резьбовых соединений при сборке играет существенную роль в повышении долговечности работы сборочной единицы или изделия и должна быть такой, чтобы упругие деформации деталей соединения при установившемся режиме работы механизма находились в пределах, предусмотренных его конструкцией.

В шпоночных соединениях используют клиновые, сегментные, призматические шпонки. В процессе сборки шпоночных соединений с клиновыми шпонками ось охватывающей детали смещается по отношению к оси вала на величину посадочного зазора.

Шлицевое соединение обеспечивает более точное центрирование деталей, чем шпоночное. Распространены прямобочные, эвольвентные и треугольные шлицевые цилиндрические соединения. В прямобочном шлицевом соединении охватывающая деталь может быть центрирована по наружному, внутреннему диаметру и боковым сторонам шлицев. В соединениях с эвольвентными шлицами центрирование осуществляется профилями зубьев или по наружной поверхности шлицев. При треугольных шлицах детали центрируются по боковым профилям шлицев.

Неподвижные конические соединения часто применяют взамен цилиндрических, так как в сборке они имеют ряд преимуществ. Сборка конических соединений значительно облегчается вследствие хорошего центрирования. Это особенно важно при сборке круглых деталей (маховиков, крупных зубчатых колес). Плотность посадки и необходимый натяг в коническом соединении осуществляют за счет запрессовки или натяжки охватывающего конуса на охватываемую коническую поверхность.

Сущность сборки неподвижных соединений с применением пластмассовых компенсаторов состоит в том, что при сборке узла или машины в зазоры, образовавшиеся или специально создаваемые между сопрягаемыми

поверхностями деталей после их взаимной выверки, нагнетается пластмасса в вязко-текучем состоянии. Пластмасса, выбирая зазоры, воспринимает на себя погрешности механической обработки и сборки деталей, и после затвердения превращается в компенсатор требуемого размера и формы.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Виды резьбовых соединений.
2. Подготовка подшипников к сборке.
3. Схемы запрессовки подшипников.
4. Способы регулирования зазора в конических роликоподшипниках.
5. Проведение сборки неподвижных конических соединений.
6. Технологический процесс сборки при применении пластмассовых компенсаторов.

### **Тема 5. Сборка неподвижных неразъёмных соединений**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Сборка соединений с гарантированным натягом.
2. Сборка соединений, получаемых развальцовыванием.
3. Сборка заклёпочных соединений.
4. Сборка неподвижных конических соединений.
5. Сборка соединений сваркой, пайкой, склеиванием.

*Ключевые понятия:* сборка соединений с натягом

*Литература:* [1, с. 30–40].

#### *Методические рекомендации*

К неподвижным неразъёмным относятся соединения, выполненные с гарантированным натягом, развальцовкой, клепкой, сваркой, пайкой и склеиванием. Они осуществляются на прессах (продольно-прессовые соединения) путем теплового воздействия или гидропрессовым способом (поперечно-прессовые соединения).

Процесс сборки продольно-прессовых соединений состоит в том, что к одной из сопрягаемых деталей прикладывается осевая сила, надвигающая детали друг на друга. Усилие запрессовки растёт при этом от нуля до максимального значения. В связи с наличием натяга в процессе сборки происходит деформирование металла, в результате чего на поверхности контакта возникают значительные нормальные давления и силы трения, препятствующие относительному сдвигу этих деталей.

Способ сборки соединений, получаемых развальцовыванием, используют при сборке соединений, натяг в которых создается за счет радиального расширения охватываемой или сжатия охватывающей детали. Основное назначение таких соединений – обеспечить герметичность от проникновения газов или жидкостей. Они относятся к числу редко демонтируемых, так как

разборка сопровождается порчей одной или обеих деталей соединения. В современных машинах эти соединения имеют большое распространение.

Заклёпочные соединения в конструкциях машин применяют в узлах, подверженных большим динамическим нагрузкам, а также при сопряжении плохо свариваемых материалов и деталей, нагрев которых при сборке нежелателен. Объём заклёпочных соединений с развитием сварочного производства постепенно сокращается; они вытесняются сварными, клеевыми и резьбовыми соединениями.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Соединение с натягом.
2. Проведение сборки под воздействием механических сил.
3. Проведение сборки с термовоздействием.
4. Получение гидропрессового соединения.
5. Получение сборки соединений со шпонками.
6. Виды сварочных швов.
7. Сварка давлением.

### **Тема 6. Сборка типовых сборочных единиц**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Сборка составных валов и муфт.
2. Сборка с подшипниками скольжения.
3. Сборка соединений с подшипниками качения.
4. Сборка соединений по плоским поверхностям.
5. Сборка подвижных конусных соединений.
6. Сборка зубчатых и червячных передач.
7. Балансировка деталей и узлов.
8. Сборка маховиков и шкивов с валами.

*Ключевые понятия:* сборка типовых сборочных единиц

*Литература:* [1, с. 40–53].

#### *Методические рекомендации*

Существует несколько распространенных способов соединения составных валов:

- при помощи шлицевой муфты;
- гладкой цилиндрической муфты со штифтами;
- конического соединения и штифтов;
- на шпонках, болтах, работающих на срез;
- при помощи фланцев, стягиваемых болтами.

Сборку составного вала со шлицевой муфтой начинают с установки и закрепления частей вала на призмах так, чтобы оси их лежали в одной плоскости. На один из концов надевают муфту; конец второго вала вводится в

муфту. При сборке с небольшим натягом по центрирующему элементу муфту нагревают в масляной ванне. Сборку валов при соединении гладкой цилиндрической муфтой со штифтами производят так же, как и сборку со шлицевой муфтой. Сверление отверстий под штифты производят после окончательной установки муфты. Сборка узла вала со втулочной муфтой на шпонках производится так же, как и шлицевую муфту, предварительно установив шпонки. Посадка муфты обычно напряженная; зазоры  $e = 1,5 \dots 2,0$  мм (для валов с диаметрами до 150 мм). При сборке с соединением по конусным поверхностям необходимо строго контролировать размеры по конусным поверхностям. Это осуществляется через контроль размера  $H$  до запрессовки и после запрессовки валов.

Долговечность подшипников определяется качеством монтажа подшипниковых узлов. Неправильно выбранные посадки, перекосы при монтаже, повреждения и загрязнения при сборке могут вызвать преждевременный выход подшипника из строя. Как правило, вращающееся кольцо подшипника соединяется с деталью неподвижно, неподвижное кольцо - с небольшим зазором.

Для определения взаимного положения деталей, сопрягаемых по плоскости, применяются многие методы: использование отверстий под болты, винты, шпильки, установка на штифтах, установка по четкам, центрирование на буртах. Отверстия под болты в деталях могут быть просверлены заранее, затем устанавливаются и слабо затягиваются крепежные болты, и правильность взаимного положения деталей достигается регулированием за счет зазоров между отверстиями и крепежными болтами. После окончательной затяжки производят сверление отверстий под штифты, которыми детали фиксируются в определенном положении. Для возможности разборки штифты со снимаемой деталью соединяются по подвижной посадке. Штифты применяются цилиндрические и конические. Для удобства выпрессовки штифтов в торце их предусматривают резьбовое отверстие.

Подвижные конусные соединения находят применение в запорных устройствах (пробковые краны, клапаны) и в регулируемых подшипниках качения и скольжения, упорных пятах. Подвижные конусные соединения, препятствующие проникновению газов и жидкостей, часто при сборке подвергают пригонке. Так, плотность прилегания клапанов к фаске гнезда блока или его головки часто достигается за счет притирки. В массовом производстве клапанов плотность соединения достигается за счет шлифования фаски клапана и чистовой обработки гнезд.

Нормальная работа зубчатых колес требует выполнения при сборке ряда условий, наиболее существенные из которых следующие: точка касания зубьев зубчатых колес должна находиться на начальной окружности; работа зубчатого зацепления должна быть плавной, без толчков и рывков. Эти требования должны обеспечиваться не только качественным изготовлением деталей в механическом цехе, но и правильно построенным технологическим процессом сборки.

При сборке зубчатых передач выполняют следующие работы:

- а) установку зубчатого колеса на валу;
- б) установку валов с зубчатыми колесами в корпусе;
- в) регулирование и контроль зацепления зубчатых колес.

Массивные детали (роторы турбины, маховики, шпиндели станков, патроны, муфты и т. п.), которые вращаются с большой скоростью, должны быть уравновешены. Им необходимо проходить операцию балансировки. Наличие дисбаланса вращающихся деталей является причиной возникновения значительных динамических сил, которые вызывают явления вибрации, преждевременный выход из строя машины.

Маховики и шкивы могут крепиться на валу: на конус и шпонке, на цилиндрической шейке с помощью призматической или клиновой шпонки, а также на фланце болтами. Крепление по конусу с точки зрения центрирования наиболее предпочтительное. Однако такое крепление требует точного изготовления двух конусных поверхностей, а также маховик утяжеляется за счет ступицы, которая не создает махового момента. Сравнительно часто встречается установка маховика на фланце. Маховик центрируется выточкой по фланцу с небольшим зазором и крепится болтами, плотно входящими в отверстия фланца и с зазором (0,04...0,10 мм) в отверстия маховика. Ступица маховика должна плотно прилегать к торцу фланца.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Способы соединения составных валов.
2. Виды подшипников скольжения.
3. Способы регулирования зазора в конических роликоподшипниках.
4. Применение пластмассы в сборке соединений по плоским поверхностям.
5. Контроль качества притирки и сборки конусных соединений.
6. Назовите работы, выполняющие при сборке зубчатых передач.

### **Тема 7. Выполнение послесборочных работ и организация сборочных процессов**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Контроль качества изделий.
2. Окраска сборочных единиц и изделий.
3. Консервация и упаковка изделий.
4. Организационные формы сборки.
5. Оборудование сборочных цехов.

*Ключевые понятия:* контроль качества, консервация, упаковка изделий

*Литература:* [1, с. 54–59].

#### *Методические рекомендации*

Контроль в сборочных цехах осуществляют в процессе сборки сборочных



единиц и изделий, и после окончания сборки. В процессе сборки, особенно при выполнении регулировочных работ, точность затяжки резьбовых соединений, легкость и плавность поворота зубчатых передач, а также различные зазоры в соединениях проверяют на рабочем месте непосредственным исполнителем. Однако в процессе сборки сборочной единицы может возникнуть необходимость выполнения контрольных операций, требующих больших затрат времени и применения специальной аппаратуры и оборудования. В этом случае операция контроля выделяется в самостоятельную контрольную операцию. Для выполнения этих операций должны быть предусмотрены соответствующие рабочие места для контролеров (особенно при поточной сборке).

Для получения более полных данных о качестве продукции собранные изделия проверяют во время стационарных испытаний, заводских и сдаточных пробегов, а также наблюдают за группой машин, работающих в обычных условиях эксплуатации, анализируют поступающие от потребителей рекламации.

Лакокрасочные покрытия предназначены для защиты изделий от коррозии и придания им красивого внешнего вида. В зависимости от условий эксплуатации и требований, предъявляемых к деталям к изделиям, на поверхность металла могут быть нанесены несколько слоёв грунта, краски, лака, только краски, только лака. Для каждой отрасли машиностроения имеются утвержденные марки грунтов, красок, эмалей, лаков, растворителей к ним, а также типовые технологические процессы окраски, что значительно упрощает разработку процесса окраски. Технологический процесс окраски включает три основных этапа: подготовку поверхностей под окраску, нанесение лакокрасочных покрытий и сушку окрашенных поверхностей.

Изделие после сборки и испытания не сразу поступает в эксплуатацию. Иногда этот нерабочий период может быть продолжителен. Чтобы предохранить изделия от коррозии, их подвергают консервации. Стандартами предусмотрены различные методы консервации, учитывающие различные факторы (конструкция изделия, материалы, условия хранения, климатические условия и др.).

Консервацию металлических изделий производят:

- нанесением смазки или ингибитора;
- упаковкой в ингибированную бумагу; помещением в атмосферу, насыщенную парами ингибитора;
- помещением в герметизированный пленочный чехол с силикагелем или инертной атмосферой.

Процессы консервации, а также упаковка изделий массового производства осуществляются на многих предприятиях с применением механизированных средств, а при изготовлении малогабаритных изделий (подшипников качения) – процессы консервации и упаковки автоматизируются.

По формам организации работ сборка может быть стационарной или подвижной.

При стационарной сборке изделие находится в течение всего процесса на

одном неподвижном рабочем месте, к которому подаются все сборочные единицы и детали.

Выполнение процесса сборки при этом может осуществляться различными методами:

1) изделие собирается полностью на одном сборочном рабочем месте от начала до конца. Недостатками этого метода являются длительный цикл и высокая стоимость сборки. Метод применяется в единичном производстве и если есть возможность по условиям производства, следует отказаться от него и переходить на более совершенные методы;

2) изделие собирается из деталей и сборочных единиц, предварительно собранных на других рабочих местах другими рабочими. Цикл общей сборки изделия при этом сокращается, возможна специализация рабочих, квалификация рабочих используется лучше, как на общей, так и на узловой сборке. Метод используется в серийном производстве;

3) изделия остаются на рабочих местах в течение всего времени сборки, а рабочие переходят от одного рабочего места к другому по световому или звуковому сигналу, подаваемому через определенное время, равное такту. Этот метод называется стационарной поточной сборкой.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Проведение контрольных операций?
2. Испытание.
3. Этапы технологического процесса окраски.
4. Проведение консервации.
5. Консервация металлических изделий.
6. Методы выполнения процесса сборки.

### **Тема 8. Механизация и автоматизация сборочных работ**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Автоматизированные линии сборки узлов машин.
2. Средства автоматического контроля сборки.
3. Автоматизация проектирования технологических процессов сборки.

*Ключевые понятия:* ручная сборка, механизированная сборка, автоматизированная сборка, автоматическая сборка

*Литература:* [1, с. 62–65].

#### *Методические рекомендации*

В зависимости от того, какими способами выполняются элементарные действия сборочного перехода, можно выделить четыре группы уровней сборки.

Ручная сборка. Сборка, при которой все необходимые действия: перемещение деталей, ориентация, силовое замыкание и т.п. выполняются

вручную. Используется универсальный слесарный инструмент, универсальные приспособления.

Механизированная сборка. Установка деталей, силовое замыкание деталей выполняются механизмами, например, одно- и многошпиндельными головками, при достаточно значительном объеме действий выполняемых вручную: установка шайб, предварительное ориентирование гаек, установка шпонок, шплинтов и т. п.

Автоматизированная сборка. Часть сборочных позиций оборудования работает в автоматическом цикле. Ручной труд максимально механизирован и применяется для сборки только сложно ориентированных деталей и узлов.

Автоматическая сборка. Все сборочные действия проводятся только механизмами в автоматическом режиме.

Под средствами механизации и автоматизации сборки понимают оборудование и технологическую оснастку, предназначенную для выполнения всех операций производственного процесса сборки. По типу выполняемых операций сборочное оборудование делят на основное и вспомогательное. Основное оборудование выполняет процессы соединения деталей и их фиксацию в сборочной единице в соответствии с требованиями конструкции изделия. Вспомогательное оборудование обслуживает процессы сборки: удаление готовых изделий, перемещение объектов сборки между операциями, ориентацию деталей, контроль процессов сборки.

Автоматизированные и автоматические линии сборки узлов автомобилей и тракторов являются специализированными и проектируются из типовых элементов. Автоматизированные линии применяются для сборки крупных узлов и агрегатов машин, таких как двигатели, и др.

При создании автоматического сборочного оборудования большое значение придается применению контрольных средств. В конструкциях сборочных линий и автоматов предусматривают устройства для контроля наличия деталей в приспособлении (механизме), размеров или положения деталей, параметров процесса соединения.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Группы уровней сборки.
2. Средствами механизации и автоматизации сборки.
3. Применение автоматизированных линий.
4. Проведение контроля наличия и положения деталей.
5. Проведение проектирования технологических процессов.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков компетентного расчета и назначения технологического процесса сборки изделий машиностроения.

Практические занятия по дисциплине «Технологии и оборудование сборочного производства» являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к практическому занятию необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, связанных с темой практического занятия.

Тематический план практических (ПЗ) занятий представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Объём (трудоемкость освоения) и структура ПЗ

№ темы	Содержание практического (семинарского) занятия
1	Технологические процессы сборки изделий машиностроения
2	Анализ технических условий на изделие
3	Проектирование технологического процесса сборки
4	Обеспечение точности сборки методом неполной взаимозаменяемости
5	Разработка технологического процесса сборки
6	Резьбовые соединения с предварительной затяжкой
7	Продольно-прессовое соединение сборки, расчёт
8	Соединения, собираемые с использованием тепловых методов

### Практическая работа № 1 Технологические процессы сборки изделий машиностроения

*Цель:* получение практических умений и навыков в изучении технологических процессов сборки изделий.

*Задание по практической работе:*

1. Выполнить технологический анализ чертежей.
2. Изучить схемы узловой и (или) общей сборки изделия.

3. Выбрать технологическое и вспомогательное оборудование, технологическую оснастку.

#### *Методические рекомендации*

Конечным продуктом машиностроения является **изделие**. Сложное изделие – это совокупность элементов, соединенных определенным образом.

Более сложная структура, состоящая из нескольких деталей, соединенных определенным образом и объединенных общим назначением, называется **сборочной единицей (СЕ)**.

**Процесс соединения структурных элементов в сборочную единицу называется технологическим процессом сборки (ГОСТ 23887-79).**

Место сборки в производственном процессе определяется порядком чередования этапов изготовления продукции:

- изготовление заготовок (заготовительные производства);
  - изготовление деталей (механические цеха и др.);
  - подготовка деталей к сборке;
  - сборка изделий;
  - испытания изделий.
- } сборочное производство

Для каждой стадии сборки (сборки узлов, агрегатов (механизмов), общей сборки машины) разрабатывается технологический процесс, разделенный на операции, переходы и приемы. Основой для проектирования являются:

- общие виды и сборочные чертежи узлов и изделий;
- технические условия на приемку и испытание;
- производственная программа;
- спецификация поступающих на сборку узлов и деталей.

Технологический процесс разрабатывается поэтапно в следующей последовательности.

**1. Выбирают организационную форму сборки** в зависимости от условий производства и объема выпуска.

Наиболее важные признаки классификации – возможность перемещения изделия (стационарная и подвижная сборка) и организация рабочих мест (поточная и не поточная сборка). Каждая из форм может реализовываться с разной степенью разделения (дифференциации) изделия на составные элементы (Д, СЕ).

В мелкосерийном производстве часто применяют схему стационарной, не поточной сборки, с разделением работ на узловую и общую сборку. Поточная сборка имеет ряд преимуществ, однако ее использование ограничено крупносерийным и массовым производством по экономическим причинам.

## **2. Выполняют технологический анализ чертежей**

Цель анализа – оценка и корректировка конструкции с точки зрения приспособленности к изготовлению в заданных условиях наиболее экономичным способом. Технологичность отрабатывается по следующим направлениям:

- минимальное количество соединений;
- доступность мест соединений;
- обоснованная точность обработки сопрягаемых поверхностей;
- отсутствие дополнительной обработки поверхностей в процессе сборки;
- максимальное использование стандартных и унифицированных элементов;
- простота применяемой технологической оснастки;
- приспособленность к механизации и автоматизации сборочных работ (монтажные опоры, такелажные узлы и др.);
- наличие базовой части (основы для монтажа );
- отсутствие необходимости промежуточной разборки;
- удобный доступ к местам контроля и регулировки;
- совмещение технологических и измерительных баз.

**3. Устанавливают методы достижения точности сборки** (полная, неполная, групповая взаимозаменяемость; регулировка; пригонка).

*Полная взаимозаменяемость* реализуется в крупносерийном и массовом производстве (автотракторостроение). Метод предусматривает выполнение сборки элементов изделия без дополнительной обработки сопрягаемых поверхностей, что требует уменьшения допусков на составляющие звенья и приводит к значительному удорожанию изделия.

При *групповой (селективной) взаимозаменяемости* высокая точность соединения деталей с расширенными допусками обеспечивается сортировкой деталей (СЕ) по размерам на группы, с обеспечением установленного допуска замыкающего звена при соединении. Метод применяется при небольшом числе звеньев (3...4) в цепи соединений высокой точности (подшипники качения, плунжерные пары, поршневой палец верхней головки шатуна и др.). Различают три вида селективной сборки:

- непосредственный подбор;
- предварительная сортировка;
- комбинированная сборка.

*Неполная взаимозаменяемость* предполагает расширение допусков на детали размерной цепи.

Основанием для такого решения является положение теории вероятностей о том, что крайние значения погрешностей размеров звеньев цепи встречаются значительно реже чем средние. Использование метода предполагает наличие определенного процента брака. Устранение брака можно обеспечить методами пригонки, использованием компенсаторов или регулированием. Указанные методы часто применяются в единичном и мелкосерийном производстве.

**4. Определяют целесообразную степень дифференциации или концентрации сборочных операций.**

С этим этапом связана задача определения количества сборочных единиц в изделии.

**5. Разрабатывают схемы узловой и (или) общей сборки изделия.**

Процесс сборки можно представить схемой, в которой условно изображают последовательность соединения элементов (Д, СЕ).

Каждый элемент обозначают прямоугольником, разделенным на три части.

В верхней части указывают наименование элемента, в левой нижней части – номер по спецификации, в правой нижней части – количество собираемых элементов. В левой части схемы изображают обозначение базовой детали, с которой начинают сборку и к которой в дальнейшем присоединяют остальные детали. В правой части обозначают изображение изделия.

Базовую деталь соединяют с изделием прямой линией. Над линией размещают изображения деталей, под линией сборочных единиц.

Схемы снабжают дополнительными надписями, определяющими содержание операций (приварить, запрессовать и т. д.).

На рисунках 1.1, а, б показаны фрагменты сборочных чертежей двух сборочных единиц – «вал-колесо» и «верхний вал коробки передач».

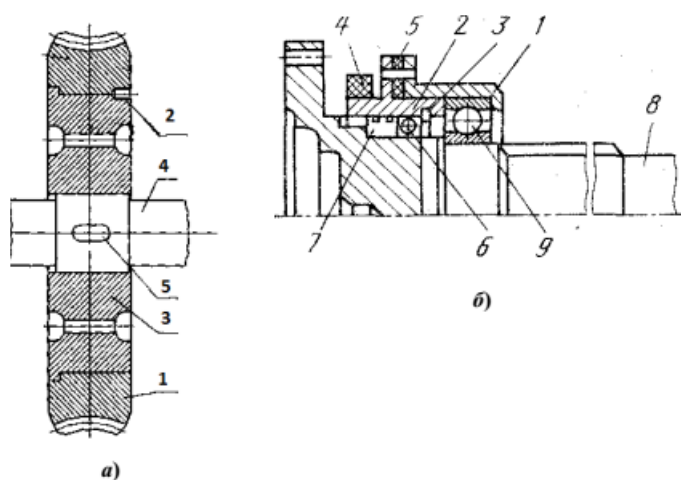


Рисунок 1.1 – Фрагменты чертежей сборочных единиц:  
а – «вал-колесо»; б – «верхний вал коробки передач»

**6. Выбирают наиболее экономичные и технически обоснованные способы сборки, контроля, испытаний.**

Технологический процесс сборки включает следующие этапы:

- подготовка элементов конструкции к сборке;
- предварительная сборка (при необходимости);
- промежуточная сборка (при необходимости);
- сборка под сварку (при необходимости);
- окончательная сборка;

- регулировка;
- контроль;
- демонтаж (при необходимости) (рисунок 1.2).

Характеристика этапов сборки представлена в таблице 1.1.

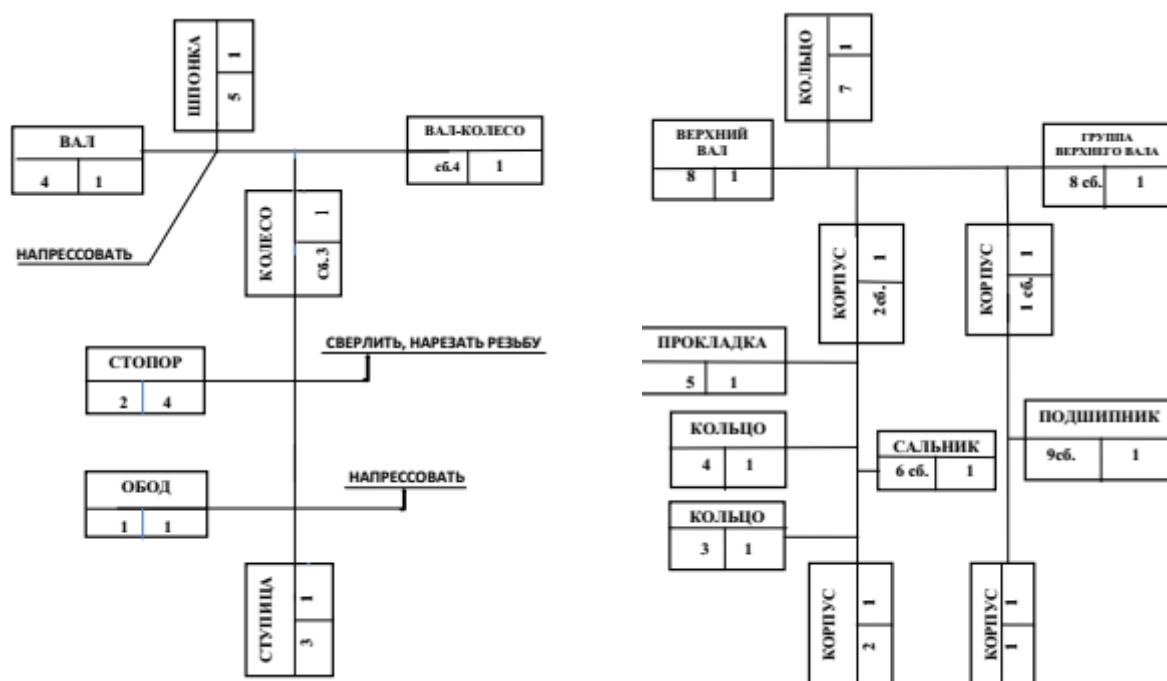


Рисунок 1.2 – Схемы сборки:

а) – узла «вал-колесо»; б) – узла «верхний вал коробки передач»

Таблица 1.1 – Содержание этапов процесса сборки

Этапы сборки	Краткая характеристика
Подготовка элементов к сборке	Работы по приведению деталей в состояние, требуемое условиями сборки: очистка, сортировка, укладка в тару, пригоночные работы (опиливание, зачистка, притирка, полирование, шабрение, гибка и др.)
Предварительная сборка	Сборка изделия с последующей разборкой (например – сборка узла с целью определения размера компенсатора)
Промежуточная сборка	Сборка с целью дальнейшей совместной обработки деталей (например, сборка шатуна для обработки отверстия под вкладыши)
Сборка под сварку	Выполняется с целью последующей сварки соединяемых деталей (сборка кузовов и кабин)

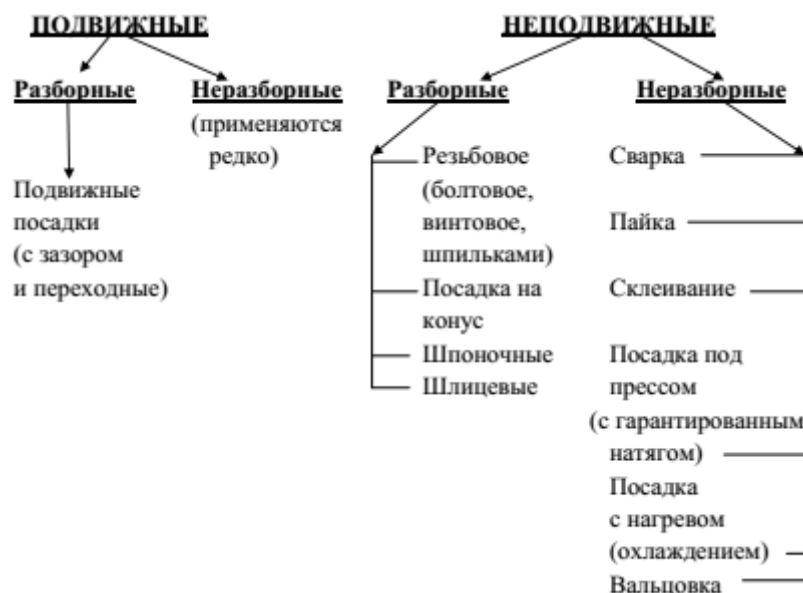


Этапы сборки	Краткая характеристика
Окончательная сборка	Сборка изделия в целом
Регулировка	Работы, проводимые в процессе сборки и после ее окончания с целью достижения точности в расположении элементов конструкции
Контроль	Работы, выполняемые в процессе сборки и после ее окончания с целью проверки соответствия параметров изделия требованиям ТУ
Демонтаж	Работы по частичной разборке изделия с целью подготовки его к упаковке и транспортированию (при необходимости)

## 7. Выбирают технологическое и вспомогательное оборудование, технологическую оснастку

Оборудование сборочных производств можно разделить на две группы.

**Технологическое оборудование** – предназначено для выполнения работ по соединению деталей, их регулировке и контролю (оборудование для сборки резьбовых соединений, нагревательные устройства, ванны, установки для охлаждения, прессы и др.).



**Вспомогательное оборудование** – предназначено для механизации вспомогательных работ (тельферы, поворотные краны, конвейеры, рольганги, домкраты, лебедки, тележки и др.). Удельный вес вспомогательных работ в общей трудоемкости сборки, в серийном производстве, составляет 30...40 %, в массовом 10...15 %. Для доставки к рабочим местам деталей и СЕ используют ручные тележки и электрокары, различного вида краны и конвейеры. Большие

удобства создают конвейеры, оснащенные устройствами для адресной доставки транспортируемых деталей и СЕ.

#### **8. Проводят техническое нормирование работ и определяют технико-экономические показатели (ТЭП).**

Для определения длительности (цикла) сборки машин строят циклограмму процесса. В избранном масштабе циклограмма отражает не только последовательность затрат времени на выполнение операции, но и совмещение во времени этих затрат. Циклограмма позволяет найти пути сокращения цикла сборки

#### **9. Оформляют технологическую документацию.**

Состав документов и методы оформления рассматриваются в стандартах ЕСТПП.

Машины и СЕ после их сборки подвергают различного рода испытаниям. Целью испытания является проверка качества изделия, достигнутого в результате всего производственного процесса его изготовления.

##### *Порядок выполнения работы*

1. Выполнить технологический анализ чертежей.
2. Изучить схемы узловой и (или) общей сборки изделия.
3. Выбрать технологическое и вспомогательное оборудование, технологическую оснастку.

*Отчет по работе* должен содержать название, цель работы, технологический анализ чертежей, схему узловой и (или) общей сборки изделия, описание технологического и вспомогательного оборудования, технологической оснастки.

##### *Вопросы для контроля*

1. Назовите элементы структуры сборочной операции.
2. «Базовая» деталь.
3. Назовите основные этапы процесса сборки.

### **Практическая работа № 2** **Анализ технических условий на изделие**

*Цель:* получение практических умений и навыков в области процедуры анализа технических условий на изделие.

##### *Задание по практической работе:*

1. Ознакомиться с чертежом изделия, разобраться в его устройстве и работе, составить спецификацию, сформулировать служебное назначение.
2. Исходя из назначения изделия, определить его технические характеристики (коэффициент редукции, массу, мощность и т. д.).

3. Установить технические требования на функционирование, сборку, контроль и приемочные испытания изделия.

#### *Методические рекомендации*

Прежде всего, необходимо прочесть чертеж, разобраться в устройстве изделия, его назначении и механизме функционирования. Формулировку служебного назначения следует начинать с описания ожидаемых результатов действия машины. В их состав могут входить показатели производительности, мощности, развиваемого усилия, грузоподъемности и т. п. Техническая характеристика изделия состоит из перечня наиболее важных параметров изделия, вытекающих из его служебного назначения, с указанием диапазона их изменения (общее передаточное число редуктора, частота вращения тихоходного вала, наибольший крутящий момент и т. п.). В описание устройства машины входит перечисление основных элементов и их взаимного расположения (например, редуктор конический состоит из разъемного корпуса, в котором на подшипниках качения вертикально монтируется быстроходный вал и т. д.). Также кратко описывается работа изделия. Технический уход за изделием состоит из периодических осмотров внешнего вида машины, проверки уровня масла в системе смазки, периодической замены масла, периодических проверок величин зазоров в зацеплениях и люфтов подвижных деталей, подтяжки крепежных болтов. Из возможных неисправностей (а не поломок) указывают на те, что возникают в процессе эксплуатации: тугой ход, повышенный шум, нагрев, вибрации.

Рабочий чертёж должен давать исчерпывающее представление о детали. Он должен содержать достаточное количество проекций, разрезов и видов; на нем должны быть указаны все необходимые размеры (с предельными отклонениями), допуски формы и расположения поверхностей, параметры их шероховатости, волнистости, вид термической или химико-термической обработки, вид покрытия, твердость материала, а также специфические технические требования (например, допустимая степень неуравновешенности детали).

Указываются их возможные причины и способы устранения. Технические условия – список требований, предъявляемых к изделию в процессе сборки и приемочного контроля (окраска машины и отдельных ее частей, применяемая смазка, боковой зазор в зубчатых передачах, радиальное биение быстроходного вала и т. п.).

Приведённые в чертеже технические требования рассматривают по следующим позициям:

- обоснованности их назначения конструктором (например, устанавливают, не завышены ли эти требования, правильно ли проставлены размеры и т. п.);
- возможности обеспечения известными и имеющимися на предприятии средствами технологического оснащения;
- возможности контроля известными методами и средствами.

Так, если анализируемый размер детали является составляющим звеном конструкторской размерной цепи, то, вскрыв её, можно оценить, правильно ли назначен допуск на этот размер.

При анализе технических требований выявляют технологические задачи, возникающие при изготовлении детали. Для этого выделяют комплексы поверхностей, к которым предъявляются наиболее высокие требования по точности размеров, формы и расположения и качеству поверхностных слоёв. Указанные требования определяют выбор технологических баз и способов установки заготовки, заключительные методы и маршрут её обработки в целом, необходимые средства технологического оснащения. Например, для ступенчатого вала важной технологической задачей является обеспечение высокой точности размеров, формы и расположения его посадочных шеек. Для внутреннего кольца подшипника такой задачей является получение высокой точности размера и формы дорожки качения, малых значений высотных параметров шероховатости и волнистости её поверхности, минимального радиального биения дорожки качения относительно посадочного отверстия.

Разработка технологического процесса для действующего предприятия предполагает тщательное изучение производственных условий. Устанавливают наличие производственных площадей и оборудования для изготовления детали, определяют возможности модернизации оборудования и расширения производственных площадей для увеличения объёма выпуска деталей, выясняют возможности предприятия по применению новых методов получения исходных заготовок и их последующей обработки, прогрессивных режущих инструментов и т. п.

Для действующих предприятий анализируется возможность изготовления данной детали по имеющимся на предприятии типовым или групповым технологическим процессам. При отсутствии такой возможности приступают к проектированию единичного технологического процесса изготовления детали.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Ознакомиться с чертежом изделия, разобраться в его устройстве и работе, составить спецификацию, сформулировать служебное назначение.
2. Исходя из назначения изделия, определить его технические характеристики (коэффициент редукции, массу, мощность и т. д.).
3. Установить технические требования на функционирование, сборку, контроль и приемочные испытания изделия.

*Отчет по работе* должен содержать название, цель работы, чертёж изделия, спецификация, изделие, технические требования на функционирование, сборку, контроль и приемочные изделия.

#### *Вопросы для контроля:*

1. Что понимается под служебным назначением изделия?
2. Что может входить в состав технических требований на сборку и приёмку изделия?

3. Какие возможны неисправности в работе передаточных механизмов?
4. В чем состоит технический уход за изделием в период эксплуатации?
5. Что понимается под технической характеристикой изделия?

### **Практическая работа № 3**

#### **Проектирование технологического процесса сборки**

*Цель:* получение практических навыков разработки технологического процесса сборки изделия, выбора средств технического оснащения и оформления технологической документации.

*Задание по практической работе:*

1. Заполнить маршрутную и операционную карты и выполнить операционный эскиз.
2. Установить тип производства.
3. Рассчитать действительный такт и темп сборки.
4. Определить цикл сборки.
5. Пользоваться нормативно-справочной литературой.

*Методические рекомендации*

#### **1 Основные положения технологии сборки машин**

Изделия сельскохозяйственных машин по технологической структуре сборки можно разделить на машины, агрегаты и орудия (рабочие органы).

Каждая *машина* состоит из двигателя, трансмиссии (привода) и рабочего органа. Машины подразделяются на самоходные и стационарные. К *самоходным машинам* относятся тракторы с навесным и (или) прицепными орудиями, зерноуборочные комбайны, хлопкоуборочные машины, автомобильные разбрасыватели удобрений и др., а к *стационарным* – зерноочистительные машины, зерносушилки, кормоприготовительные машины (соломосилосорезки, корнеклубнерезки, кормодробилки и др.).

*Агрегаты* не имеют двигателя, они состоят только из рабочего органа и трансмиссии. Агрегаты могут быть прицепными и навесными. *Прицепными агрегатами* являются картофелеуборочные, свеклоуборочные, кукурузоуборочные, силосоуборочные комбайны, картофелесажалки, сеялки, пресс-подборщики и т. п., а *навесными* – косилки, жатки, опрыскиватели и др. Навесной или прицепной агрегат вместе с трактором образуют машину.

*Орудия* имеют только рабочий орган и не имеют ни двигателя, ни трансмиссии. Как и агрегаты, они могут быть прицепными и навесными. К орудиям относятся плуги, бороны, грабли, луцильники, культиваторы, катки и т. п.

Для удобства сборки машину разделяют на сборочные единицы первого, второго и более высоких порядков (рисунок 3.1).

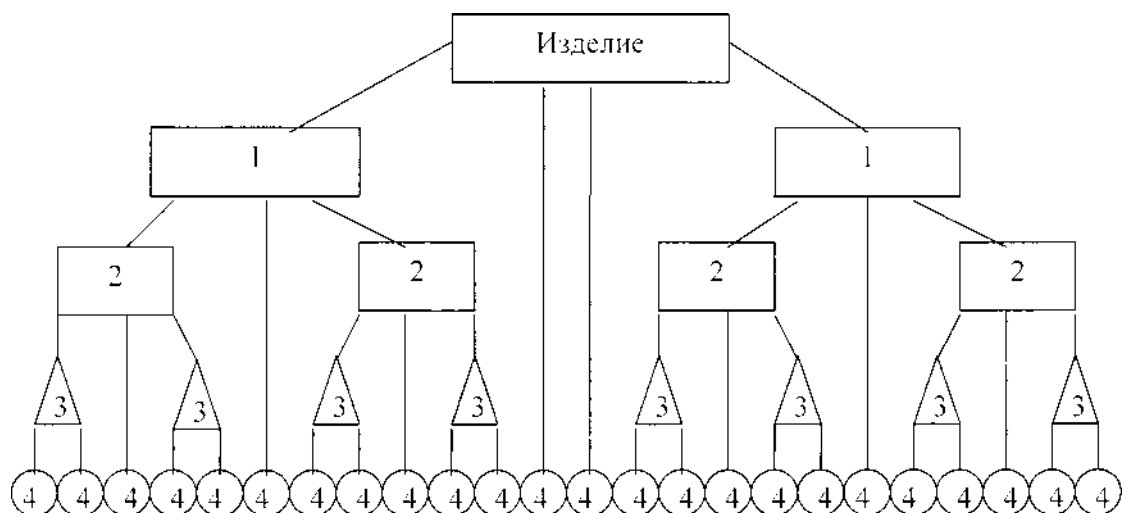


Рисунок 3.1 – Общая компоновка элементов :

1 – сборочные единицы (узлы) 1-го порядка; 2 – сборочные единицы 2-го порядка; 3 – сборочные единицы 3-го порядка; 4 – детали

Деление изделия на составные части осуществляется по технологическому признаку. Технологическим признаком составной части является возможность ее сборки обособленно от других элементов изделия. Составная часть первого порядка входит непосредственно в составную часть изделия, составная часть второго порядка – в составную часть первого порядка и т. д. Составной частью высшего порядка являются только детали.

Двигатель, трансмиссия и рабочий орган могут рассматриваться для машины как сборочные единицы первого порядка. Изготовление и сборка сборочных единиц машины могут осуществляться в разных цехах и даже на разных заводах.

Сборка является заключительным этапом изготовления машины, в значительной степени определяющим ее основные эксплуатационные качества. Условия достижения высоких эксплуатационных качеств машины не ограничиваются созданием удачной конструкции или применением высококачественных материалов. Процесс изготовления машины может гарантировать достижение всех требуемых эксплуатационных показателей, а также ее надежности и долговечности в эксплуатации только при условии высококачественного проведения всех этапов сборки машины (т.е. сборки и регулировки отдельных единиц (узлов) и общей сборки и испытаний изготавливаемого изделия в целом).

Выполнение сборочных работ связано с большими затратами времени, составляющими значительную долю общей трудоемкости изготовления машины. В зависимости от типа производства затраты времени на сборочные работы составляют (в процентах от общей трудоемкости изготовления машин): в массовом и крупносерийном производствах – 20–30; в среднесерийном производстве – 25–35; в единичном и мелкосерийном производствах – 35–40.

В сельскохозяйственном машиностроении выполняется большой объем сборочных работ. Их трудоемкость составляет около 25 % общей трудоемкости изделия, а по некоторым машинам может достигать до 60 %.

Следует также отметить, что основная часть (50–85 %) слесарно-сборочных работ – это ручные работы, требующие больших затрат физического труда и высокой квалификации рабочих.

Технологический процесс сборки машин и механизмов представляет собой часть производственного процесса, который включает совокупность операций по соединению деталей в определенной технической и экономически целесообразной последовательности для получения сборочных единиц и изделий, полностью отвечающих установленным для них требованиям.

Сборка может осуществляться простым соединением деталей, их запрессовкой, свинчиванием, сваркой, пайкой, клепкой и т. д. В зависимости от объема выпуска сборка подразделяется на *общую*, объектом которой является изделие в целом, и *узловую*, объектом которой является составная часть изделия, т. е. сборочная единица или узел.

В условиях единичного и мелкосерийного производств основная часть сборочных работ выполняется на общей сборке, и лишь малая их доля осуществляется с отдельными сборочными единицами. С увеличением серийности производства сборочные работы все больше раздробляются по отдельным сборочным единицам, и в условиях массового и крупносерийного производств объем узловой сборки становится равным или даже превосходит объем общей сборки.

По стадиям процесса сборка подразделяется на виды:

- *предварительная сборка*, т. е. сборка заготовок, составных частей или изделия в целом, которые в последующем подлежат разборке (например, предварительная сборка узла с целью определения размера неподвижного компенсатора);

- *промежуточная сборка*, т. е. сборка заготовок, выполняемая для дальнейшей их совместной обработки (например, предварительная сборка корпуса редуктора с крышкой для последующей совместной обработки отверстий под подшипники);

- *сборка под сварку*, т. е. сборка заготовок для их последующей сварки;

- *окончательная сборка* (т. е. сборка изделия или его составной части), после которой не предусмотрена последующая разборка.

По методу образования соединений сборка подразделяется на виды:

- *слесарная сборка*, т. е. сборка изделия или его составной части с помощью слесарно-сборочных операций;

- *монтаж*, т. е. установка изделия или его составных частей на месте использования (например, монтаж станка с ЧПУ);

- *электромонтаж*, т. е. монтаж электроизделий или их составных частей, имеющих токоведущие элементы;

- *сварка, пайка, клепка, склеивание*.

По организации сборка подразделяется на следующие формы: стационарную и подвижную (рисунок 3.2).

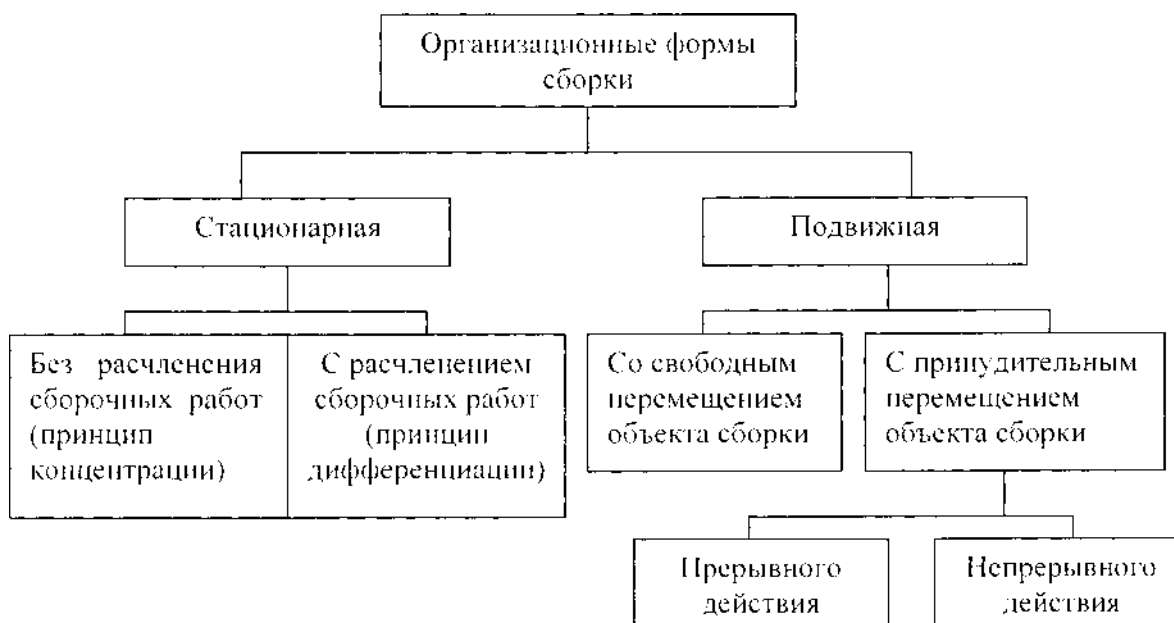


Рисунок 3.2 – Схема организационных форм сборки

При *стационарной сборке* изделия полностью собирают на одном сборочном посту. Все детали и узлы, требуемые для сборки изделия, поступают на этот пост.

Стационарная сборка может быть осуществлена двумя методами:

- 1) без расчленения сборочных работ (*принцип концентрации*);
- 2) с расчленением (*принцип дифференциации*).

При *стационарной сборке без расчленения сборочных работ* сборку изделия должен выполнять практически один человек или бригада от начала до конца. Цикл сборки по этому методу при значительной трудоемкости сборочного процесса чрезвычайно продолжителен, и при большой программе выпуска изделий требуется большое количество сборочных площадей, инструмента, оборудования и пр. Этот метод применяют в единичном или опытном производстве при сборке специальных, уникальных машин и приборов, а также в мелкосерийном производстве, когда весь процесс сборки изделия состоит из небольшого количества несложных операций. Широкого практического применения этот метод сборки в настоящее время не имеет.

Разновидностью метода сборки без расчленения процесса на операции является бригадный метод, когда сборку всего изделия выполняет бригада рабочих; но бригадный метод уже является первым шагом на пути расчленения сборочного процесса на части, поскольку внутри бригады имеет место некоторая дифференциация работ, т. е. одни рабочие специализируются на одной группе сборочных операций, другие – на другой. В ряде случаев за каждым рабочим бригады закрепляют один из узлов изделия, вследствие чего члены бригады специализируются на выполнении определенных сборочных работ. Однако по конструктивным условиям в большинстве случаев вести сборку всех узлов одновременно невозможно. При таком методе сборки



большое значение имеет правильное планирование начала и конца сборочных работ по узлам с учетом их трудоемкости и последовательности установки на машину. Бригадный метод сборки широко распространен в единичном и мелкосерийном производствах, а также при выполнении повторной сборки машины при ремонте.

*Стационарная сборка с расчленением сборочных работ* предусматривает деление процесса на узловую сборку основных групп и общую сборку изделия. В результате одновременного выполнения сборочных операций большим количеством рабочих длительность процесса сборки значительно сокращается. Расчленение процесса сборки дает значительный экономический эффект. При этом сокращается потребность в рабочей силе и производственных площадях, увеличивается выпуск машин, уменьшается трудоемкость, снижается себестоимость сборочных работ.

При *подвижной сборке* собираемое изделие последовательно перемещают по всем сборочным постам, на каждом из которых выполняют определенную операцию. Каждый пост оборудуют приспособлениями и инструментом, предназначенными для выполнения данной операции. Детали и узлы для сборки поступают на соответствующие посты.

При подвижной сборке рабочие, выполняющие отдельные операции, распределены по рабочим местам – постам, к которым подают соответствующие детали и узлы; объект же производства последовательно перемещается от одного поста к другому. Это перемещение может быть *свободным*, когда объекты сборки располагаются, например, на тележках, перемещаемых самими исполнителями, и *принудительным*, когда объекты сборки перемещают механическими транспортными устройствами непрерывного или прерывного действия (конвейер).

Преимущества этого метода состоят в том, что расчлененный сборочный процесс не требует высококвалифицированных исполнителей, так как закрепление за исполнителем одной или небольшого количества операций дает ему возможность приобрести в короткий срок необходимые навыки.

При расчленном процессе сборки каждую операцию оснащают соответствующими приспособлениями и инструментом; в связи с этим время на сборку изделия и требуемое количество рабочих меньше, чем при нерасчленном процессе. Расчлененный процесс для заданной программы выпуска изделий требует значительно меньших производственных площадей благодаря сокращению производственного цикла сборки. Количество одновременно собираемых изделий при этом значительно меньше, чем при нерасчленном процессе.

Процесс сборки может быть расчленен в условиях крупносерийного и массового производства таким образом, что каждую операцию будет выполнять только один рабочий. В этом случае объект работы (узел или изделие) должен в процессе производства последовательно переходить от одного рабочего места к другому, по потоку. Под *потоком* подразумевается движение собираемого изделия, осуществляемое обычно механическими транспортными средствами.

Переход на поточный метод производства позволяет увеличить выпуск продукции, снизить себестоимость изделия, сократить длительность производственного цикла, уменьшить объем незавершенного производства, увеличить производительность труда, облегчить и улучшить условия труда, учет и планирование производства, укрепить трудовую дисциплину.

Под *поточной линией сборки* понимают ряд рабочих мест, участвующих в сборке узла или машины, расположенных соответственно последовательности операций технологического процесса сборки (рисунок 3.3).

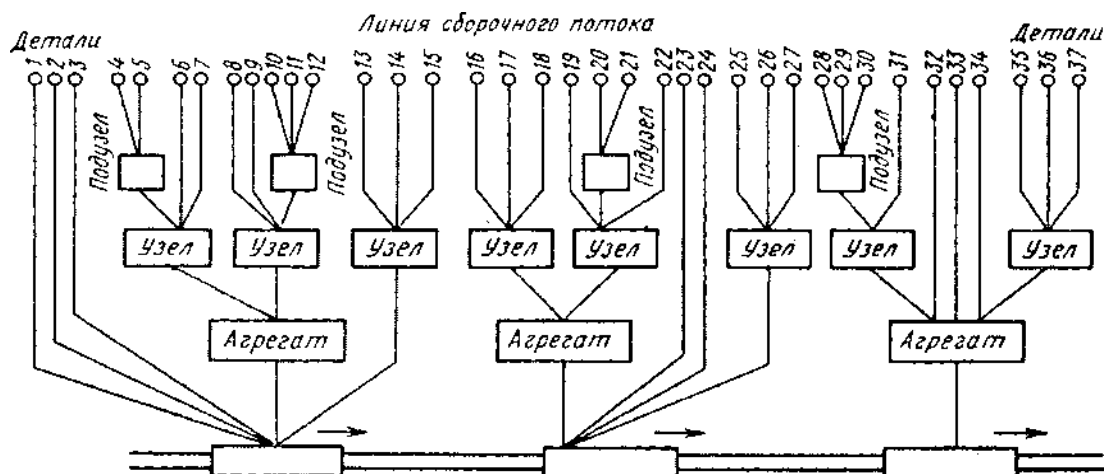


Рисунок 3.3 – Схема поточной сборки с подвижным объектом

Непрерывность процесса при поточной сборке достигается благодаря равенству или кратности времени выполнения операций на всех рабочих местах линии сборки, т. е. длительность любой сборочной операции на линии сборки должна быть равна или кратна такту сборки изделия.

*Тактом сборки* называется промежуток времени между выходом со сборки двух смежных готовых изделий. Номинальный такт сборки (мин/шт.)

$$\tau_n = 60 F/N,$$

где  $F$  – годовой фонд рабочего времени, ч;  $N$  – годовая производственная программа, шт.

Годовой фонд рабочего времени

$$F = D_m T_{cm} \eta,$$

где  $D$  – число рабочих дней в году;  $m$  – число рабочих смен в сутки;  $T_{cm}$  – длительность рабочей смены, ч;  $\eta$  – коэффициент, учитывающий потери времени на ремонт оборудования ( $\eta = 0,98$  при односменной и  $\eta = 0,97$  при двухсменной работе).

Действительный такт отличается от нормального, так как при его определении учитывают потери времени на перерывы в работе и обслуживание рабочих мест.

Действительный такт

$$\tau_q = 60Dm(T_{cm} - T_{OBC} - T_{П})/N$$

где  $T_{OBC}$  – потери времени в течение смены на обслуживание рабочих мест, ч;  $T_{П}$  – потери времени на перерывы в работе для отдыха и естественных надобностей рабочих в течение смены, ч.

Количество изделий, собираемых в единицу времени, называется *темпом сборки*.

Номинальный темп сборки (шт./мин)

$$t_n = 1/\tau_n$$

Действительный темп сборки

$$t_q = 1/\tau_q$$

Продолжительность сборки машины (узла) на поточной линии (мин)

$$t_n = n_n \tau_q$$

где  $n_n$  – число постов на поточной линии.

Время от момента поступления деталей на сборку до выпуска собранной машины (агрегата) называется *циклом сборки* (мин) и определяется по формуле

$$Z = \tau_q n_n + (f - 1) \tau_q - \sum n_n \tau_q$$

где  $f$  – число компонентов узлов, собираемых в запас вне главного потока для бесперебойной работы поточной линии;  $\sum n_n \tau_q$  – число постов, на которых время выполнения одних сборочных операций перекрывается временем выполнения других операций. Например, на одном сборочном посту выполняются две операции длительностью, равной одному такту и 0,7 такта соответственно. Для этого случая  $n_u = 0,3$ .

Скорость непрерывно движущегося конвейера (м/мин)

$$V = l/\tau_q,$$

где  $l$  – длина рабочего места, м.

Скорость перемещения собираемого объекта принимают равной 10–15 м/мин при ручном перемещении, до 20 м/мин при перемещении по рольгангу, 30–40 м/мин при использовании транспортных конвейеров, 15–20 м/мин для конвейера периодического действия и 0,25–3,5 м/мин для непрерывного конвейера (меньшее значение скорости выбирают для напольных сборочных конвейеров из условий техники безопасности).

Тип производства определяется сопоставлением такта  $t_q$  и ориентировочно установленной средней длительности основных операций сборки  $t_{шт.ср.}$ . Если  $t_q = t_{шт.ср.}$ , то производство является поточно-массовым.

При этом коэффициент закрепления операций по ГОСТ 3.1108-74

$$K_{з.о.} = O/P$$

где  $O$  – число различных операций;  $P$  – число рабочих мест с различными операциям.

Если  $t_q > t_{шт.ср.}$ , то производство является серийным.

В качестве задания на выполнение работы студентам выдается чертеж изделия, спецификация входящих в него сборочных единиц и деталей, а также реальное задание в собранном виде. В задании указывается планируемый объем выпуска изделия. В качестве примера взят масляный насос.

Разработку технологии сборки следует начинать с изучения конструкции изделия и технических требований по его приему. Для работы используется натурный образец собираемого изделия. Действительный такт сборки рассчитывается по приведенной выше формуле, а затем определяется тип производства. Точность сборки в работе обеспечивается методом полной взаимозаменяемости.

На рисунке 3.4 в качестве примера показан сборочный чертеж масляного насоса.

Спецификация сборочных единиц и деталей масляного насоса приведена в таблице.

Разбирая образец (изделие), составляют технологическую схему разборки (от изделия к базовой детали или базовой сборочной единице). Одновременно записывают последовательность разборки. Затем производят обратную операцию – сборку, проверяют правильность записей и вносят в них необходимые коррективы.

При составлении схемы сборки, сначала на листе бумаги (примерно посередине) проводят горизонтальную линию, на левом конце которой в прямоугольнике указывают базовую деталь, а на правом — собранное изделие.

Сверху от линии записываются в технологической последовательности сборки названия всех непосредственно входящих в изделия деталей, снизу — все сборочные единицы, непосредственно входящие в изделия. На схеме сборки в необходимых случаях даются технологические указания, например, «просверлить», «запрессовать» и т. д.

На основании технологической схемы сборки разрабатывается технологический процесс сборки. В операционные карты записывается содержание операций по переходам, где перечисляются сборочные и вспомогательные работы. Нормирование переходов и операции в целом производятся по нормативным данным [6, 7], операционные карты составляются по формам 2 и 2а (ГОСТ 3.1407-74).

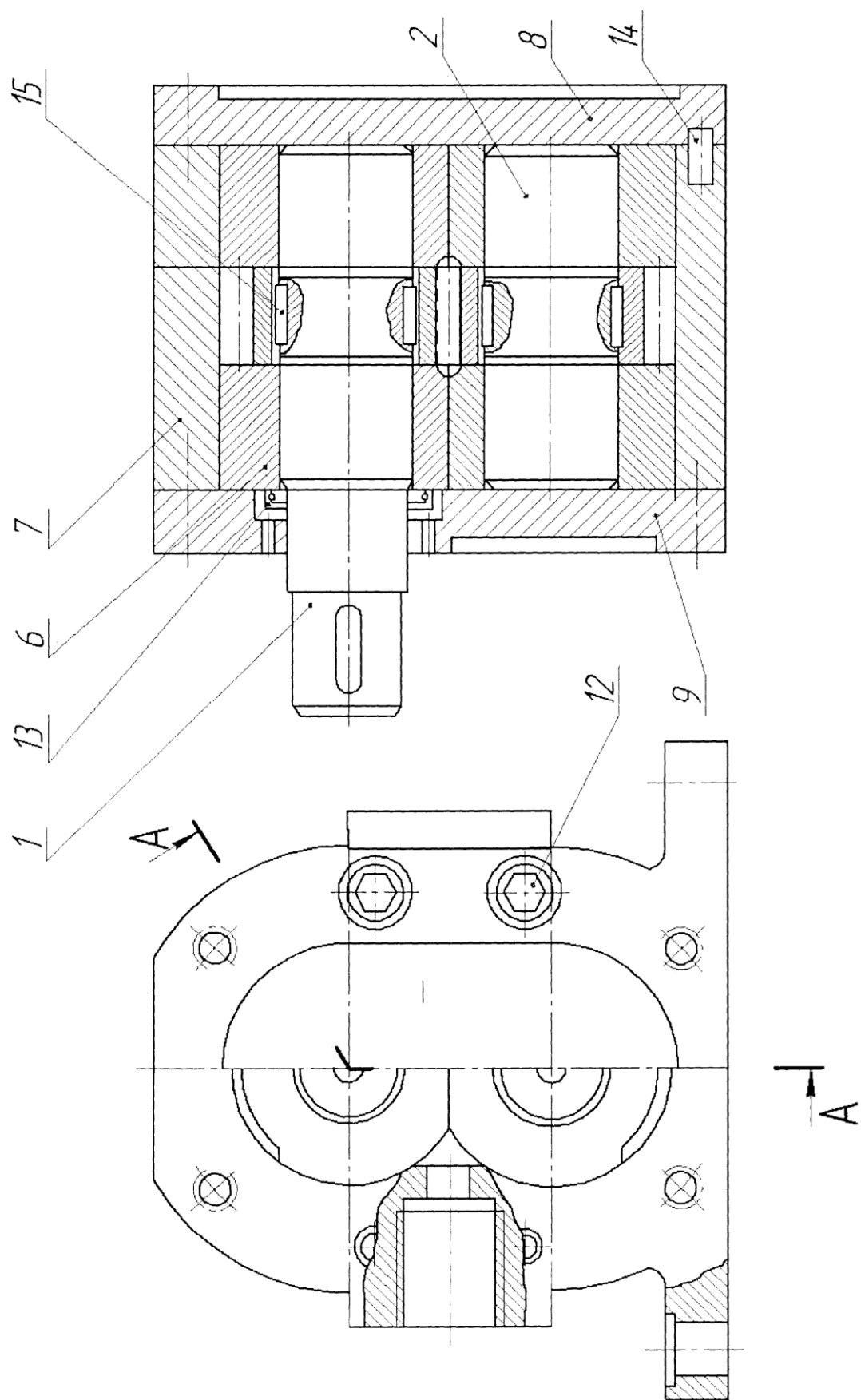


Рисунок 3.4 – Сборочный чертеж масляного насоса

Форма т	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Прим.		
				<u>Документация</u>				
			03.60.000.00.000.СБ	<u>Сборочный чертеж</u>				
				<u>Сборочные единицы</u>				
		1	03.60.000.00.000	Вал	1			
		2	03.60.000.00.000	Ось	1			
				<u>Детали</u>				
		6	03.60.000.00.001	Втулка	4			
		7	03.60.000.00.002	Корпус	1			
		8	03.60.000.00.003	Крышка	1			
		9	03.60.000.00.004	Крышка	1			
				<u>Стандартные изделия</u>				
		12		Винт М8х20 ГОСТ 11738-88	16			
		13		Манжета 1-20х40-3	1			
				ГОСТ 8752-79				
		14		Штифт 4х10 ГОСТ 3128-88	1			
		15		Шпонка 10х8х36 ГОСТ 8789	4			
				03.60.000.00.000.СБ				
Изм Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Насос шестеренчатый Сборочный чертеж	Литер.	Лист	Листов	
Разраб.	Зеленцов				у		1	1
Пров.	Кожуро							
					БГАТУ			
Н. Контр.	Миранович							
Утв.	Карцевич							

### *Порядок выполнения работы*

1. Изучить конструкцию собираемого изделия.
2. Рассчитать действительный такт сборки и определить тип производства.
3. Разработать технологические схемы общей и узловой (на одну сборочную единицу) сборки:
  - а) разобрать изделие на сборочные единицы и детали, одновременно записывая технологическую последовательность разборки;
  - б) собрать изделие, одновременно проверяя правильность записей; при необходимости внести дополнения и изменения в схему сборки.
4. Разработать технологический процесс сборки:
  - а) установить содержание каждой операции путем ее расчленения на переходы;
  - б) пронормировать переходы и операции;
  - в) выбрать оборудование, приспособление и инструмент;
  - г) заполнить все графы операционной карты на одну операцию.
5. Проанализировать технологичность конструкции изделия с точки зрения удобства сборки и обеспечения заданной точности.
6. Проверить собранное изделие на легкость вращения или взаимодействие сопряженных деталей.
7. Составить отчет.

*Отчет по работе* должен содержать название работы, содержание задания, расчет действительного такта сборки, технологическую схему общей сборки, технологическую схему узловой сборки, операционные карты слесарно-сборочных работ, выводы.

Необходимое оборудование, оснастка и материалы:

1. Сборочный стол – 1 шт.
2. Приспособление для сборки – 1 шт.
3. Набор шупов №2 (ГОСТ 882-84) – 1 шт.
4. Гаечные ключи – 1 комплект.
5. Молоток 0,5 кг – 1 шт.
6. Отвертка 1 шт.
7. Натурный образец изделия в сборе – 1 шт.
8. Сборочный чертеж изделия, технические требования и спецификация изделия – 1 комплект
9. Операционные карты (ГОСТ 3.1407-74):  
Форма 2 – 1 шт.  
Форма 2а – 1 шт.

### *Вопросы для контроля*

1. Почему разработку ТП изготовления машины надо начинать с изучения ее служебного назначения и критического анализа соответствия его техническим требованиям и нормам точности?

2. Как строится технологическая схема сборки машины?
3. С чего начинается общая сборка тракторов, автомобилей и комбайнов?
4. Почему вспомогательным и транспортным операциям при сборке изделий следует уделять такое же внимание, как и сборочным?
5. Какие организационные формы сборки вы знаете?
6. Каким должно быть основное направление работ, обеспечивающих снижение трудоемкости сборочных операций?
7. Что содержит и как строится схема сборки?

## **Практическая работа №4**

### **Обеспечение точности сборки методом неполной взаимозаменяемости**

*Цель:* получение практических умений и навыков в осуществлении сборки модели токарного станка, изготовленного из отдельных деталей в виде цилиндров, методом неполной взаимозаменяемости.

*Задание по практической работе:*

1. Составить схему уравнения размерной цепи, наименование составляющих звеньев.
2. Провести результаты измерения суммарных высот деталей и величин замыкающего звена.
3. Определить область применения метода неполной взаимозаменяемости.

#### *Методические рекомендации*

Сущность метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается не во всех собираемых объектах, а у подавляющего их большинства. Сборка, то есть включение звеньев в размерную цепь, производится так же, как и методом полной взаимозаменяемости, без подбора их или пригонки [1].

Преимущество данного метода заключается в возможности установления больших по величине допусков на составляющие звенья, чем требуется при методе полной взаимозаменяемости. Это обстоятельство может вызвать появление некоторой части изделий (определяемой в процентах), погрешность замыкающего звена которых будет выходить за пределы заданного допуска

Из схемы, приведенной на рисунке 4.1, следует, что величина этой части изделий определяется отношением, суммы двух заштрихованных площадок ко всей площади, ограниченной теоретической кривой рассеяния замыкающего звена и, если рассеяние описывается законом Гаусса и вычисляется по формуле:

$$P\% = \frac{200}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (4.1)$$



Теоретической предпосылкой метода неполной взаимозаменяемости является одно из известных положений теории вероятности, согласно которому сочетания предельных значений составляющих звеньев несравненно менее вероятно, чем средних значений, вследствие чего возможный процент изделий, погрешность замыкающего звена которых  $\phi_A$ , выходит за пределы заданного допуска  $T_A$  (рисунок 4.1) обычно крайне мал.

В основе расчетов, связанных с использованием данного метода, лежит зависимость:

$$T_A = t_A \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i' \cdot T_i'^2}, \quad (4.2)$$

где  $T_A$  – заданный допуск замыкающего звена;  $t_A$  – коэффициент риска, характеризующий процент изделий, погрешность замыкающего звена которых превышает заданный допуск  $T_A$ ;  $\lambda_i'$  – коэффициент, характеризующий закон рассеяния  $i$ -го составляющего звена;  $T_i$  – расширенные допуски на составляющие звенья;  $m$  – общее число звеньев размерной цепи.

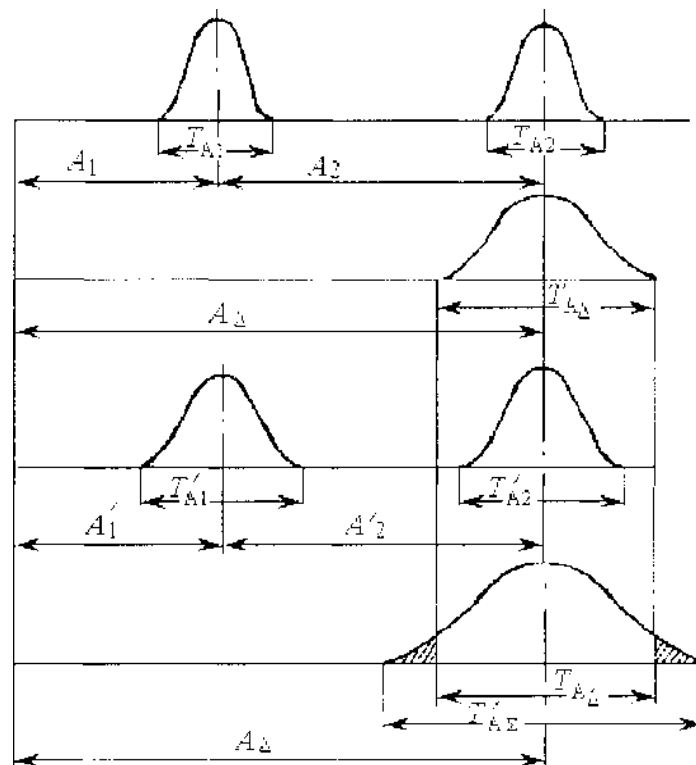


Рисунок 4.1 – Сравнительная схема достижения требуемой точности, методами полной и неполной взаимозаменяемости:

$T_{A\Delta}$  – заданный допуск на замыкающее звено;  $T_{A1}$   $T_{A2}$  – допуски на составляющие звенья при использовании метода полной взаимозаменяемости;

$T'_{A1}, T'_{A2}$  – расширенные допуски на составляющие звенья;  $\phi_{A\Sigma}$  – возможная погрешность замыкающего звена при расширении допусков на составляющие звенья

Используя зависимость (4.2), можно решить следующие задачи:

1. Зная величины  $T_{\Delta}$ ,  $m$  и задаваясь величиной риска брака, характеризуемой коэффициентом  $t_{\Delta}$ , определить средний допуск на составляющие звенья размерной цепи:

$$T_c = \frac{T_{\Delta}}{t_{\Delta} \sqrt{\lambda'_c (m-1)}}. \quad (4.3)$$

Закон рассеяния составляющих звеньев и в соответствии с этим значение  $\lambda'_i$  в данном случае выбирается в зависимости от предполагаемого технологического процесса и условий его протекания.

2. Рассчитать возможную погрешность  $\omega_{\Delta}$  замыкающего звена размерной цепи, соответствующую принятой величине риска брака и известным величинам полей рассеяния (т. е. значений  $\lambda'_i$ ) всех составляющих звеньев;

$$\omega_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda'_i \cdot \omega_i^2} \quad (4.4)$$

3. Исходя из заданного допуска замыкающего звена  $T_{\Delta}$ , известных полей рассеяния составляющих звеньев  $\omega_i$ , характера кривых их рассеяния (значений  $X'$ ) и значений составляющих звеньев, определить возможный процент выхода объектов за установленные пределы допуска:

$$t_{\Delta} = \frac{T_{\Delta}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda'_i \cdot \omega_i^2}}. \quad (4.5)$$

Собираемый токарный станок (рисунок 4.2) моделируется в виде набора групп цилиндрических деталей (рисунок 4.3).

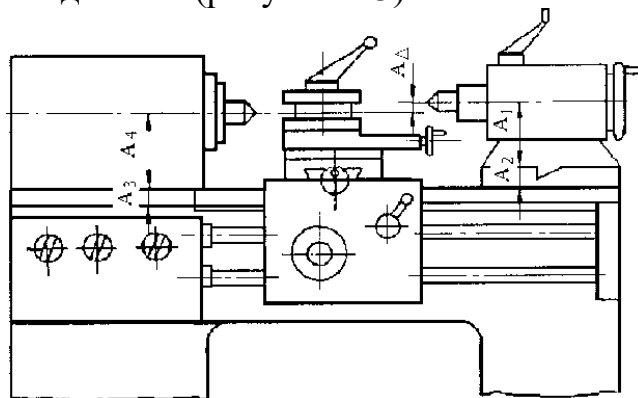


Рисунок 4.2 – Схема размерной цепи токарного станка, определяющей совпадение осей центров передней и задней бабки

Необходимую информацию о полях рассеяния составляющих звеньев (величины  $\omega_i$ ) и характере кривых их рассеяния, определяемых величинами  $\lambda_i$  получают путем измерения деталей, входящих в каждую из 5 групп.

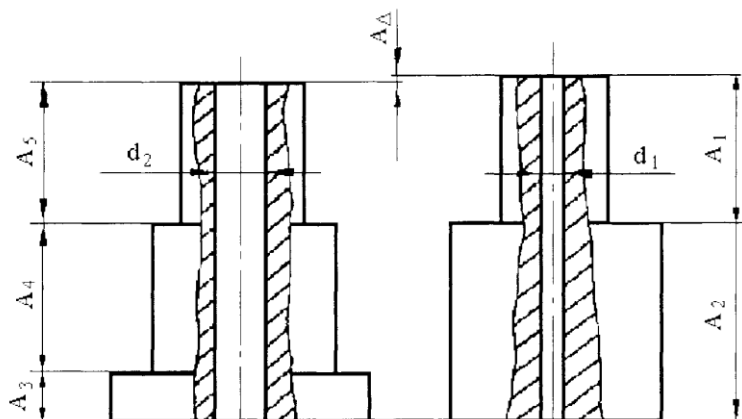


Рисунок 4.3 – Модель токарного станка из отдельных деталей в виде цилиндров, собираемая методом неполной взаимозаменяемости

### Порядок выполнения работы

1. Измерить детали, входящие в каждую из пяти групп, и занести результаты размеров в протокол № 1. Если измерения производятся индикатором, то перед измерением следует установить вместо детали эталон соответствующего размера, подвести к эталону измерительный наконечник индикатора, обеспечив натяг в 1–2 оборота стрелки, и установить шкалу индикатора на нулевое деление. После этого, сняв эталон, можно измерять детали. По отклонению стрелки прибора от нулевого положения, определяют действительный размер детали, который заносится в протокол № 1.

Протокол № 1      Деталь №

Номер детали	Результат замера	Номер интервала	Номер детали	Результат замера	Номер интервала
1			26		
2			27		
25			50		

Минимальный размер  $A_{imin} =$

Максимальный размер  $A_{imax} =$

Поле рассеяния  $\omega_i = A_{imax} - A_{imin} =$

Величина интервала  $\omega_{Ai} / m$ ;  $m$  - число интервалов

Протокол № 1 заполняется для каждой группы деталей.

2. Используя данные протокола № 1, определить минимальный  $A_{min}$ , максимальный  $A_{max}$  размеры деталей и поле рассеяния измеренного размера по формуле:

$$\omega_i = A_{max} - A_{min} \quad (4.6)$$

Очевидно,  $\omega_i$  будет соответствовать измеренному (действительному) допуску на изготовление данной детали.

Определить величину интервала  $\omega_{Ai} / m$ , где  $m$  – число интервалов (5–8).

3. Заполнить протокол № 2. Границы интервалов определяются следующим образом: например, из протокола № 1 минимальный размер детали  $A_{min} = 3,2$  мм, а величина интервала равна 0,05 мм, тогда границы первого интервала от 3,20 до 3,25 мм, границы второго – от 3,25 до 3,30 мм и т. д.

Протокол № 2      Деталь №

Номер интервала	1	2	3	4	5	6	7
Границы интервала							
Количество размеров деталей в интервале (частота)							

После определения границ интервалов необходимо подсчитать количество размеров деталей, входящих в пределы данного интервала, и внести эти данные в протокол № 2.

4. Заполнить протокол № 2 для всех групп деталей.

5. На специальных сетках (рисунок 4.4) построить практические кривые распределения размеров для пяти групп деталей, используя данные протокола № 2. Эти кривые строятся в одном масштабе.

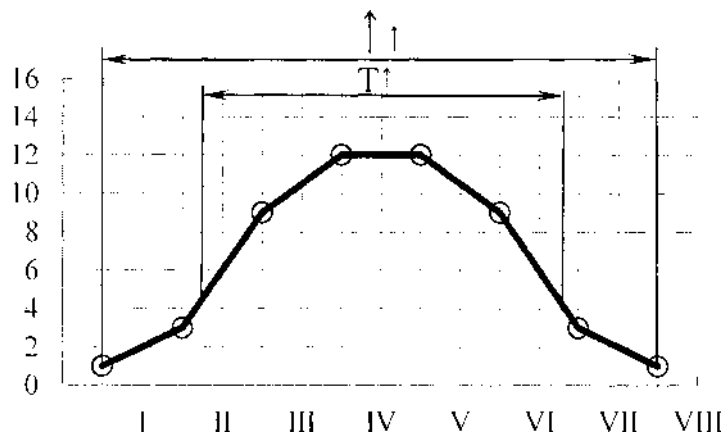


Рисунок 4.4 – Практическая кривая распределения размеров

6. Сравнивая практические кривые распределения с типовыми кривыми (таблица 4.1.), определить коэффициент относительного рассеивания  $K_i$  и коэффициент кривой распределения  $\lambda_i = K_i^2/9$  для каждой кривой, предполагая, что закон распределения размеров замыкающего звена близок к закону нормального распределения. Данные занести в протокол № 3.

Таблица 4.1

Эскиз кривой распределения	$h_1/h_2$	$K_i$	Эскиз кривой распределения	$h_1/h_2$	$K_i$
		1,0			1,73
	0,07 0,17 0,26 0,44	1,21 1,26 1,44 1,55			1,41
	0,26 0,44 0,80 1,0	1,17 1,18 1,20 1,21			1,14
		1,22			2,12
		2,28		0 1/2 1/3	1,44 1,77 2,05
		2,12		$n$ 2 3	1,58 1,68
	2 3	1,87 1,94		$B/T_i$ 1/2 1 3/2	1,26 1,37 1,52

Принять допуск замыкающего звена  $T_\Delta = 3/4 \omega_\Delta$ . Определить величину  $t_\Delta$ , характеризующую процент риска по формуле (4.5). По рисунку 4.5 или по таблице 4.2 определить расчетный процент возможного брака  $P_p$ , %.

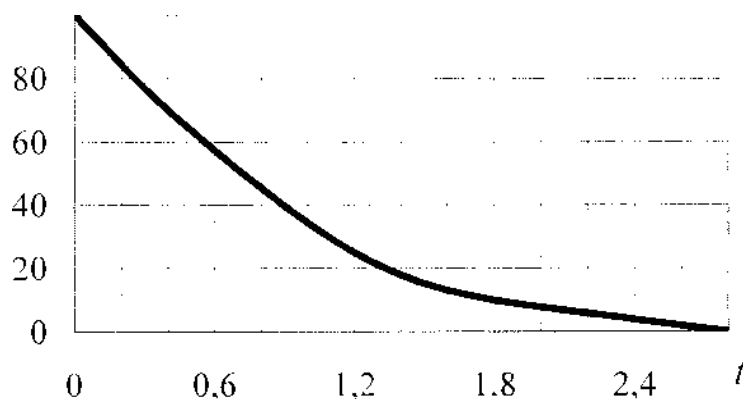


Рисунок 4.5 – График зависимости процента брака  $P$  от коэффициента риска брака  $t$

Таблица 4.2

Коэффициент риска брака $t$	1,0	1,65	2,0	2,57	3,0	3,29	3,89
Процент брака $P, \%$	32	10	4,5	1,0	0,27	0,10	0,01

7. Измерить суммарную высоту деталей 1 и 2, поставленных одна на другую, а затем деталей 3, 4, 5 поставленных таким же образом. Данные занести в протокол № 4. определить значения замыкающего звена  $A_{\Delta}$  как разности между высотами двух комплектов деталей и поле рассеяния значений замыкающего звена  $\omega_{\Delta}$ .

Протокол № 3

Деталь	Поле рассеивания $\omega_i$	Коэффициент относительного рассеивания $K_i$	Коэффициент кривой распределения $\lambda_i$
1			
2			
...			
5			

8. Построить кривую распределения размеров замыкающего звена по данным протокола № 5 в том же масштабе, что и остальные кривые (рисунок 4.4).

9. Определить практический процент брака. Для этого следует провести вертикальную линию от середины поля рассеивания замыкающего звена и отложить от нее в стороны симметрично заданное поле допуска  $T_{\Delta}$  (рисунок 4.4).

Фактический процент риска брака  $P_{\phi}$  получим как частное от деления количества случаев выхода за пределы допуска на общее число случаев:

$$P_{\phi} \% = \frac{n_1 + n_2}{50} \cdot 100 \% . \quad (4.7)$$

В приведенном случае за пределы  $T_{\Delta}$  выходят 1, 2, 7, 8 интервалы, т. е.:  
 $n_1=1+3=4$  случая;  $n_2 = 1 + 3 = 4$  случая,  $P_{\phi} \% = (4+4)/50 \cdot 100 \% = 16 \%$

#### Протокол № 4

Номер ветви	Размер ветви		Замыкающее звено	Номер интервала
	из 2 деталей	из 3 деталей		
1				
2				
50				

Минимальный размер замыкающего звена  $A_{\Delta min} =$

Максимальный размер замыкающего звена  $A_{\Delta max} =$

Поле рассеяния значений замыкающего звена  $\omega_{\Delta} = A_{\Delta max} - A_{\Delta min} =$

Величина интервала  $\omega_{\Delta}/m; m$  – число интервалов

10. Определить максимально возможную погрешность размера замыкающего звена  $\omega_{\Delta max}$  (при 100 % взаимозаменяемости). При фактических полях рассеивания размеров  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$  для

$$\omega_{\Delta max} = \sum_{i=1}^{m-1} \omega_i \quad (4.8)$$

Объяснить, почему фактическое поле рассеяния замыкающего звена  $\omega_{\Delta}$  получилось меньше расчетных  $\omega_{\Delta max}$ .

11. Определить средний допуск составляющих звеньев  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$  при решении задачи методом полной взаимозаменяемости:

$$T_{иср} = \frac{T_{\Delta}}{m-1} \quad (4.9)$$

где  $T_{\Delta}$  – заданный допуск замыкающего звена размерной цепи;  $m-1$  – количество составляющих звеньев.

12. Определить средний допуск составляющих звеньев при решении задачи методом неполной взаимозаменяемости для установленного значения  $t_{\Delta}$  и  $\lambda_{иср} = 1/9$ :

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\Delta}}{t_{\Delta} \cdot \sqrt{\lambda_i(m-1)}} = \frac{T_{\Delta}}{t_{\Delta} \cdot \sqrt{1/9(m-1)}} \quad (4.10)$$

### Отчет по работе

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Эскиз модели собираемого объекта.
4. Схема, уравнение размерной цепи, наименование составляющих звеньев.
5. Результаты измерения деталей, входящих в каждую из 5 групп (протокол № 1).
6. Границы интервалов и количество деталей, попавших в соответствующий интервал (протокол № 2).
7. Практические кривые распределения размеров для каждой группы деталей по данным протокола № 2 (рисунок 4.4).
8. Коэффициенты относительного рассеивания  $K_i$  и коэффициенты  $\lambda_i$  (протокол № 3).
9. Результаты измерения суммарных высот деталей и величин замыкающего звена для 50 комбинаций размеров деталей (протокол № 4).
10. Границы интервалов и количество размеров замыкающего звена, попавших в соответствующий интервал (протокол № 5).

### Протокол № 5

Номер интервала	1	2	о	4	5	6	7
Границы интервала							
Количество размеров замыкающих звеньев в интервале (частота)							

11. Допуск замыкающего звена  $T_{\Delta} = 3/4 \omega_{\Delta}$ .
12. Коэффициент риска брака  $t_{\Delta}$ , формула (4.5).
13. Расчетный процент возможного брака  $P_p$ , %.
14. Фактический процент брака  $P_{\phi}$ , %.
15. Максимально возможная погрешность размера замыкающего звена, формула (4.8).
16. Средний допуск составляющих звеньев, рассчитанный по методу полной взаимозаменяемости, формула (4.9).
17. Средний допуск составляющих звеньев, рассчитанный по методу неполной взаимозаменяемости, формула (4.10).



18. Выводы. Объяснить соотношения расчетного  $P_p$  и фактического  $P_\phi$  брака, расчетного  $\omega_{\Delta max}$  и фактического  $\omega_\Delta$  поля рассеяния замыкающего звена и значений  $T_{lcp}$ , рассчитанных методами полной и неполной взаимозаменяемости.

*Вопросы для контроля:*

1. Сущность и теоретические предпосылки метода неполной взаимозаменяемости.
2. Отличие от метода полной взаимозаменяемости и преимущества метода неполной взаимозаменяемости.
3. Задачи, решаемые на основе метода неполной взаимозаменяемости и основные расчетные зависимости.
4. Область применения метода неполной взаимозаменяемости.

### **Практическая работа № 5**

#### **Разработка технологического процесса сборки**

*Цель:* получение практических умений и навыков в анализе сборочной единицы на технологичность, выбрать необходимые методы достижения заданной точности сборки узла.

*Задание по практической работе:*

1. Ознакомить с чертежом сборочного узла и техническими требованиями к нему.
2. Изучить назначение, принцип действия узла. Анализ технологических размерных цепей сборочной единицы с определением всех замыкающих звеньев, точность которых необходимо выдержать при сборке.
3. Проанализировать сборочную единицу на технологичность.
4. Выбрать методы обеспечения точности сборки с учётом точности замыкающего и составляющих звеньев, количества составляющих звеньев размерной цепи, возможного процента не собираемости, конструкции изделия и др.
5. Разработать технологическую схему сборки.
6. Определить сборочные единицы. Определить необходимый перечень работ с учётом анализа конкретных условий, в которых выполняется сборка.
7. Заполнить бланк МК.
8. Разработать содержание операции по переходам с определением необходимого оборудования (приспособлений, инструмента). Заполнить бланк ОК.

*Методические рекомендации*

Сборочные работы являются завершающим этапом изготовления машин и оборудования различных производств, который в значительной степени определяет их качество, т. е. заданные выходные параметры, надежность и долговечность, и другие эксплуатационные характеристики.

Под сборкой понимают совокупность операций по установке деталей в сборочное положение и соединение их в сборочные единицы в определенной технологической последовательности и проверке взаимодействия их в изделии, соответствующего установленным техническим требованиям.

В машиностроении сборку разделяют на узловую и общую. Под узловой сборкой понимают процесс соединения в определенной технологической последовательности деталей в сборочные единицы, а под общей – сборку готового изделия из сборочных единиц и деталей, а также покупных (комплектующих) изделий. Технологический процесс сборки состоит из операций, переходов, ходов, приемов, установов, позиций.

Собираемостью изделия называют способность сопрягаемых деталей входить при сборке в сборочную единицу, а сборочных единиц – без каких-либо пригоночных работ, не предусмотренных технологическим процессом. Собираемость изделия или сборочных единиц обеспечивают правильным выбором допусков и посадок, обработкой размерных цепей и созданием компенсаторов, позволяющих понизить точность изготовления деталей и упростить сборку.

Сборка изделия разделяется на общую и узловую.

Под узловой сборкой понимается соединение, координирование и фиксация с требуемой точностью подузлов, комплектов и деталей.

Под общей сборкой понимают сборку машин (изделий) из предварительно собранных сборочных единиц (узлов, подузлов, комплектов) и отдельных деталей.

Изделием в машиностроении называется любой предмет или набор предметов, подлежащих изготовлению на предприятии [3]. Изделием могут быть машина, её элементы в сборе, а также отдельные детали, в зависимости от того, что является продуктом конечной стадии данного производства.

Деталь – это изделие (составная часть изделия), изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Характерный признак детали – отсутствие в ней разъемных и неразъемных соединений. Деталь – это первичный сборочный элемент каждого изделия.

Сборочная единица – это изделие, составные части которого подлежат соединений между собой сборочными операциями. Её характерной чертой является возможность сборки обособленно от других элементов изделия.

Комплект – это сборочная единица, к базирующей детали которой присоединены одна или несколько других деталей машины.

Подузлом называется сборочная единица, на базирующую деталь которой смонтирована хотя бы одна предшествующая сборочная единица, т. е. комплект. Подузел может иметь несколько комплектов и отдельных деталей, смонтированных непосредственно на его базирующую деталь.

Узел представляет собой базирующую деталь, на которую смонтирован хотя бы один подузел. Различают узлы различных порядков.

Машина является наиболее сложной сборочной единицей, на базирующую деталь которой смонтированы все узлы, подузлы, комплекты и отдельные детали.

В основе классификации сборочных единиц лежит принцип: каждая последующая, более сложная единица должна содержать не менее одной предшествующей, более простой сборочной единицы.

Построение технологических процессов общей и узловой сборки может быть представлено с помощью технологических схем сборки, которые наглядно представляют последовательность сборки, отражают порядок комплектования изделия и подачу сборочных единиц и деталей к местам сборки, позволяют оценить технологичность конструкции изделия, упрощают проектирование технологического процесса сборки.

При разработке последовательности и схем сборки руководствуются следующими исходными положениями и рекомендациями:

- последовательность сборки машины определяется особенностями конструкции, заложенными в ней методами достижения точности и размерными связями между поверхностями сборочных единиц;
- по чертежам машины и прилагаемой к ним спецификации необходимо выявить все составлявшие машину узлы, подузлы комплекты и отдельно входящие в неё детали;
- в каждой сборочной единице необходимо выявить базовую деталь, определяющую положение всех составлявших данную сборочную единицу деталей, комплектов, подузлов;
- сборка любой сборочной единицы, а также общая сборка машины начинается с установки на сборочном стенде или конвейере (основной) базирующей детали. В ряде случаев роль базирующей детали может выполнять комплект или даже более сложное соединение деталей;
- смонтированные в первую очередь сборочные единицы и детали не должны мешать установке последующих деталей и сборочных единиц;
- в первую очередь необходимо монтировать сборочные единицы и детали, выполняющие наиболее ответственные функции в работе машины;
- при наличии параллельно связанных размерных цепей в машине сборку следует начинать с установки тех сборочных единиц и деталей, размеры и относительные повороты поверхностей которых являются общими звеньями и принадлежат нескольким размерным цепям;
- при прочих равных условиях сборку следует начинать с той размерной цепи, при помощи которой решается наиболее ответственная задача;
- в размерных цепях, где конструкцией машины намечено получить требуемую точность замыкающего звена методом регулировки, находят компенсирующие звенья и детали, выполняющие роль неподвижных или подвижных компенсаторов. Затем производится расчет количества ступеней неподвижных компенсаторов, их размеров, допусков и нужного количества компенсаторов каждой ступени размеров;
- при построении схемы сборки в неё необходимо включить и все неизбежные по ходу технологического процесса разборки сборочных единиц;

(Например, при сборке многих станков перед монтажом шпинделя в коробку скоростей с него предварительно снимают ряд деталей – зубчатые колеса, кольца роликоподшипников и т. д.).

В качестве примера на рисунке 5.1 показана конструкция шестеренного насоса трактора, а в таблице 5.1 представлена схема общей сборки этого изделия. На схеме каждый элемент изделия обозначен прямоугольником, разделенным на три части. В его верхней части дано наименование элемента; в левой нижней части – числовой индекс, а в правой нижней – число элементов, входящих в данное соединение. Индексация элементов производится в соответствии с номерами, присвоенными им на сборочных чертежах изделий.

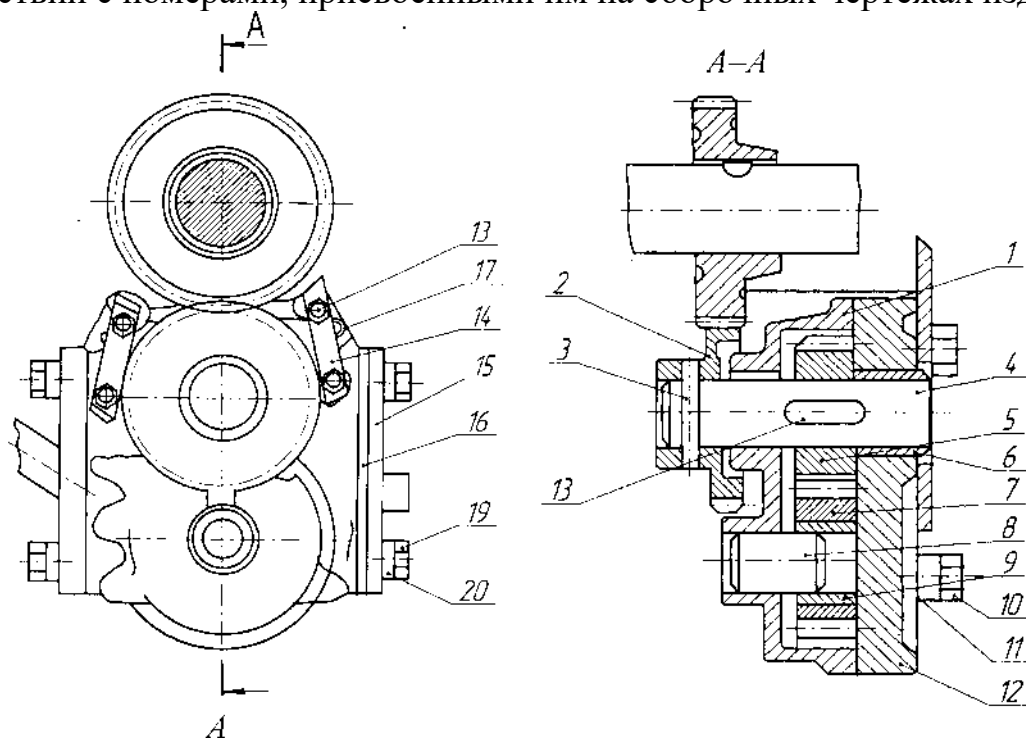


Рисунок 5.1 – Общий вид шестеренного насоса

Сборочные единицы обозначаются, прямоугольниками больших размеров или другими геометрическими фигурами. Местоположение условных обозначений деталей и сборочных единиц показывает последовательность их поступления на сборку, линии со стрелками – направление их движения и характер выполняемого процесса – сборки или разборки.

На схеме указываются необходимые технологические примечания: например, «установить по шаблону», «приварить», «запрессовать», «сверлить в сборе», «смазать», «шабрить», «развернуть» и т. д.

Схема сборки выполняется на миллиметровой бумаге и подшивается в отчет по лабораторной работе.

Заключительным этапом разработки технологического процесса сборки является оформление документации, фиксирующей технологические разработки. По единой системе технологической документации ГОСТ 3.1105-73 предусмотрены её следующие виды.

Маршрутная карта – документ, содержащий описание технологического процесса изготовления (сборки или ремонта) изделия по всем операциям в

технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах в соответствии с установленными формами. Маршрутные карты применяются в единичном и мелкосерийном производстве.

Операционная карта – технологический документ, содержащий описание технологической операции с указанием переходов, режимов обработки и данных о средствах технологического оснащения. Операционные карты применяют в серийном и массовом производстве. Комплект этих карт на изделие по всем операциям дополняют маршрутной картой.

Кроме указанных документов, заполняются также карта эскизов, технологическая инструкция, комплектовочная карта, ведомость оснастки, ведомость технологических документов.

### *Порядок выполнения работы*

1. Ознакомиться с чертежом и техническими условиями на собираемое изделие (по заданию преподавателя).
2. По сборочному чертежу найти исполнительные поверхности, базы и определить служебное назначение изделия.
3. Выявить замыкающие звенья, обеспечивающие выполнение изделием служебного назначения. Определить номиналы, допуски и координаты середин полей допусков замыкающих звеньев. Данные записать в таблицу 5.1.

Таблица 5.1

Номер звена	Наименование замыкающего звена	Обозначение	Допуск	Координата середины поля до пуска	Сущность допустимого отклонения

4. Изобразить эскиз части изделия и построить размерную цепь, определяющую заданное преподавателем замыкающее звено.
  5. Составить уравнение размерной цепи.
  6. Определить измерением деталей номинальные значения составляющих звеньев.
  7. Проверить расчетом номинальное значение замыкающего звена.
  8. Обосновать выбор методов достижения точности замыкающих звеньев изделия.
  9. В случае неприемлемости методов полной и неполной взаимозаменяемости выполнить расчеты, связанные с использованием метода регулирования.
  10. Составить технологическую схему сборки изделия.
- Произвести сборку в соответствии с технологической схемой. До установки компенсатора измерить зазор между торцами фланца и крышки корпуса. Выбрать из набора необходимый компенсатор и произвести окончательную сборку изделия.

11. Измерить с помощью измерительных приспособлений действительные значения замыкающих звеньев изделия.

12. Определить пятно контакта в зацеплении. Сравнить пятно с нормами СТСЭВ 311-76.

#### *Содержание отчета*

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Формулировка служебного назначения узла.
4. Технические условия и нормы точности, определяющие служебное назначение узла.
5. Эскиз части изделия. Схема размерной цепи.
6. Уравнение размерной цепи. Данные о замыкающих и составляющих звеньях размерной цепи (таблица 5.1).
7. Выбор методов достижения точности замыкающих звеньев (см. пример).
8. Расчет размеров компенсаторов (см. пример).
9. Технологическая схема сборки узла.
10. Карты Технологического процесса сборки.
11. Схемы и результаты измерения основных параметров точности.
12. Выводы. Оценка технологичности узла.

#### *Вопросы для контроля:*

1. Задачи, решаемые на основе размерного анализа изделия.
2. Сущность метода регулирования для достижения точности замыкающего звена. Преимущества, область применения. Основные формулы.
3. Определения основных сборочных единиц.
4. Назначение схемы сборки.
5. Основные принципы построения схемы сборки. Технологические рекомендации по разработке схемы сборки.

### **Практическая работа № 6**

#### **Резьбовые соединения с предварительной затяжкой**

*Цель:* освоить практические навыки расчёта резьбовых соединений с предварительной затяжкой.

#### *Задание по практической работе:*

1. Ознакомиться с теоретическими предпосылками расчёта резьбовых соединений с предварительной затяжкой.
2. Ознакомиться с методикой расчёта.

#### *Методические рекомендации*

В конструкциях узлов машин и механизмов резьбовые соединения составляют до 25 % от общего количества соединений. Трудоёмкость их сборки

может достигать 25–35 % общей трудоёмкости сборочных работ.

Болтовые и винтовые соединения могут применяться без предварительной затяжки и с предварительной затяжкой. Применение соединений первого типа ограничено, невелико. Соединения второго типа распространены очень широко (крепление двигателей внутреннего сгорания, в автоклавах и сосудах, находящихся под внутренним давлением, для фланцевых соединений химической аппаратуры и трубопроводов и др.).

При использовании резьбовых соединений с предварительной затяжкой необходимо, чтобы болты или гайки на шпильках были затянуты так сильно, чтобы гарантировать герметичность после приложения осевой нагрузки к соединяемым деталям. Величина предварительной затяжки болта должна быть такой, чтобы после приложения рабочей нагрузки не произошло нарушение герметичности или раскрытие стыка, т. е. чтобы появился зазор между соединяемыми деталями.

Рассмотрим в качестве примера крепление болтами крышки цилиндрического сосуда, нагруженного давлением  $p$  газа или жидкости – рисунок 6.1.

Если внутренний диаметр сосуда  $D_B$  и давление жидкой или газообразной среды внутри него  $p$ , то сила  $F$ , с которой эта среда пытается оторвать крышку от фланца сосуда составляет:

$$F = \frac{\pi \cdot D_B^2}{4} \cdot p \quad (6.1)$$

Очевидно, что отрывная сила  $P$ , приходящаяся на один болт, крепящий крышку, равна:

$$P = \frac{F}{Z} \text{ н;} \quad (6.2)$$

где  $Z$  – число болтовых соединений.

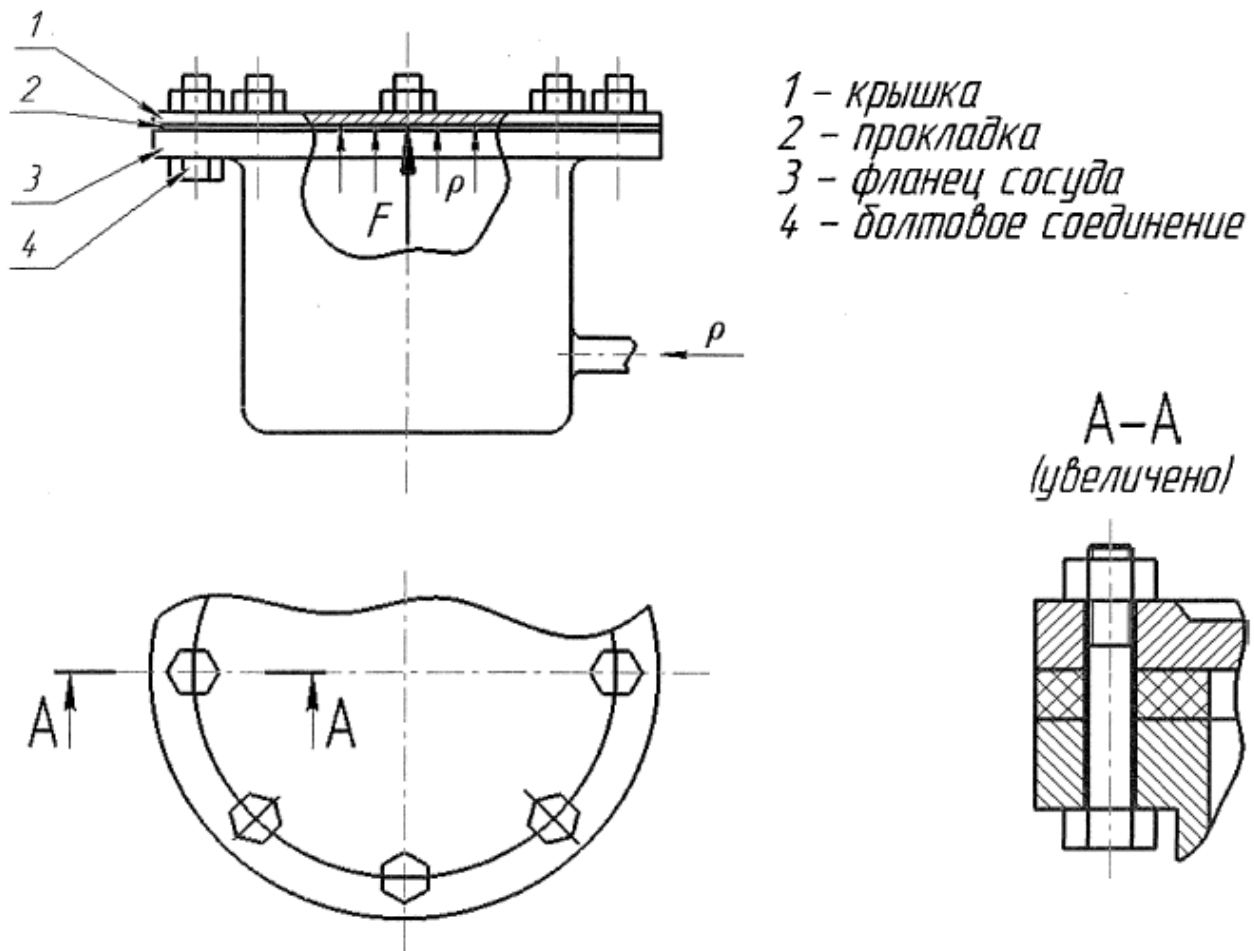


Рисунок 6.1 – Цилиндрический сосуд с крышкой

Каждое болтовое соединение предварительно затянуто с силой  $Q$ , величина которой должна обеспечить нераскрытие стыка крышки 1 и фланца 3 сосуда, между которыми находится прокладка 2 (возможен вариант и без прокладки). Формула для определения  $Q$  может быть получена из следующих соображений.

После предварительной затяжки болт удлиняется на некоторую величину  $\Delta l_0$ , а соединяемые детали (крышка, прокладка, фланец сосуда) суммарно сожмутся на  $\Delta l_0$  – рисунок 6.2, а. Если после предварительной затяжки к болту приложить рабочую нагрузку  $P$ , которая собственно и есть отрывная сила, рассчитываемая по формуле 1, то деформация растяжения болта увеличится на величину  $l_0$ , а деформация сжатия соединяемых деталей уменьшится на ту же величину  $\Delta l_0 = \Delta l'_0$ . То есть удлинение болта позволяет соединяемым деталям разжаться на величину удлинения болта – рисунок 6.2, б. Очевидно, для того, чтобы раскрытие стыка не происходило, сила предварительной затяжки единичного болта не должна быть ниже какой-то минимально необходимой величины  $Q$ :

$$Q \geq K \cdot P (1 - \chi) \text{ Н,} \quad (6.3)$$



где  $K$  – коэффициент запаса против раскрытия стыка (коэффициент затяжки): при постоянной нагрузке на болтовые соединения  $K = 1,3 - 1,5$ ; при переменной  $K = 4 - 5$ ;

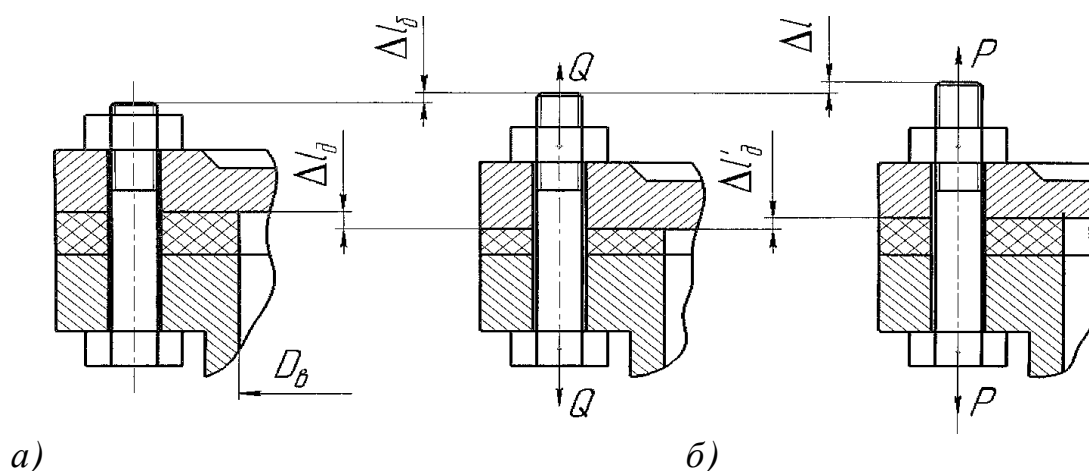


Рисунок 6.2 – Схема затяжки резьбового соединения:

*а* – исходное (незатянутое) состояние соединения;

*б* – соединение предварительно затянуто, но рабочая нагрузка на крышку отсутствует; *в* – соединение затянуто и нагружено рабочей нагрузкой

$\chi$  – коэффициент основной нагрузки. Для соединений стальных и чугунных деталей  $\chi$  находится в пределах: без прокладок 0,2–0,3; с податливыми прокладками (резина, асбест, паронит) 0,4–0,5. При расчётах повышенной точности коэффициент  $\chi$  рассчитывают по специальной методике

Смысл коэффициента  $\chi$  можно пояснить следующим образом. После приложения рабочей нагрузки  $P$  к затянутому соединению только часть этой нагрузки  $\chi \cdot P$ , где  $\chi < 1$ , нагружает болт, а оставшая часть  $(1 - \chi)$  идёт на частичную разгрузку деталей стыка от сжатия. В этом случае на единственный болт действует нагрузка, которая является суммой силы  $Q$  и оставшейся частью отрывной силы  $P(1 - \chi)$ , поскольку, как сказано выше, определённая доля силы  $P$ , регламентируемая коэффициентом  $\chi$  «уходит» на преодоление предварительной силы затяжки  $Q$ .

Исходя из этих соображений, суммарная осевая сила  $P_{oc}$ , по сути – сила растяжения, приходящаяся на единственный болт соединения после его затяжки, равна:

Именно с учётом этого и рассчитывается значение минимальной силы затяжки  $Q$  формуле 6.3.

Что касается болта в единичном болтовом соединении, то внутренний диаметр его резьбы определяется исходя из суммирующей осевой силы  $P_{oc}$ , действующей на болт после затяжки соединения:

$$P_{oc} = Q + \chi \cdot P = K \cdot P (1 - \chi) + \chi \cdot P \quad (6.4)$$

При расчёте болта на прочность надо учесть не только напряжения растяжения в нём под действием осевой силы  $P_{oc}$ , но и напряжения скручивания, возникающие при трении торца головки болта по поверхности фланца при закручивании гайки. Этим дополнительные напряжения учитываются введением в формулу 6.4 коэффициента запаса 1,3.

Поэтому расчётная нагрузка на болт  $P_p$  определяется следующим образом:

$$P_p = 1,3P_{oc} = 1,3(KP(1 - \chi) + \chi P)) \quad (6.5)$$

Тогда проектный расчёт болта выполняют по формуле:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4P_p}{\pi [\sigma]_3}} \text{ мм}, \quad (6.6)$$

где  $d_1$  – внутренний диаметр резьбы болта;

$[\sigma]_3$  – допускаемое напряжение при затяжке болта:

– для ответственных силовых соединений  $[\sigma]_3 = (0,6 \dots 0,7)\sigma_T$ ;

– для силовых соединений и обычных крепёжных деталей  $[\sigma]_3 = (0,6 \dots 0,7)\sigma_T$ , где  $\sigma_T$  – предел текучести материала болта (шпильки).

Значения  $\sigma_T$  можно принимать следующие:

– Ст3 200-210 н/мм<sup>2</sup>;

– Сталь35 300-210 н/мм<sup>2</sup>;

– Сталь45 340-360 н/мм<sup>2</sup>;

– 12ХН2 580-600 н/мм<sup>2</sup>;

– 40Х 780-800 н/мм<sup>2</sup>;

– 30ХГСА 800-820 н/мм<sup>2</sup>.

При проверочных расчётах определяют возникающие напряжения в материале болта и сравнивают их с допускаемыми напряжениями при затяжке по формуле:

$$\sigma_{э\text{кв}} = \frac{P_p}{\frac{\pi d_1^2}{4}} \leq [\sigma]_3, \text{ н/мм}^2 \quad (6.7)$$

Крепление крышки сосуда возможно, как с помощью болтов, так и с помощью шпилек. Болты применяются при давлении в аппарате до 1,6 н/мм. При давлениях, близких к этой величине или превышающей её, у головки болта в местах её перехода в цилиндрический стержень возникают большие местные напряжения и тогда шпильки более предпочтительны. Методика расчёта в

обоих случаях одинакова.

*Методика проверочного расчёта болтов (шпилек), крепящих крышку к ёмкости с газом (жидкостью) под давлением.*

При заданных значениях внутреннего диаметра цилиндра  $D_{вн}$ , давлении среды внутри цилиндра  $p$ , материале цилиндра и крышки, материале прокладки, материале болтов (шпилек) и их количестве  $Z$ , наружном диаметре резьбы болтов (шпилек), нагрузки на болты во времени – проверить прочность болтов (шпилек), крепящих крышку к цилиндру.

#### *Порядок выполнения работы*

Расчёт выполняют в следующем порядке.

3.1 Определить величину суммарной отрывной силы  $F$  по формуле 1.

3.2 Определить отрывную силу, приходящуюся на один болт по формуле 2.

3.3 Определить силу предварительной затяжки  $Q$  единичного болтового соединения по формуле 3. Обосновать принимаемые для расчёта значения коэффициентов  $\chi$  и  $K$ .

3.4 Определить суммарную осевую силу  $P_{ос}$ , действующую на болт после затяжки соединения и подаче в ёмкость среды под давлением.

3.5 Определить расчётную нагрузку на болт с учётом как напряжений растяжения, так и напряжений скручивания по формуле 5.

3.6 Определить напряжения в опасном сечении болта по формуле 7 и сравнить их с допускаемыми напряжениями.

Пример.

1. Исходные данные.

Проверить прочность шпилек, крепящих крышку к сосуду химической аппаратуры – рисунок 6.3. Материал шпилек - сталь 45. Число шпилек  $Z = 24$ , наружный диаметр – М30. Давление в сосуда изменяется циклически от  $P_{min} = 0$ , до  $P_{max} = 1,4 \text{ н/мм}^2$ . Материал сосуда и крышки – сталь. Внутренний диаметр сосуда  $D_{в} = 550 \text{ мм}$ .

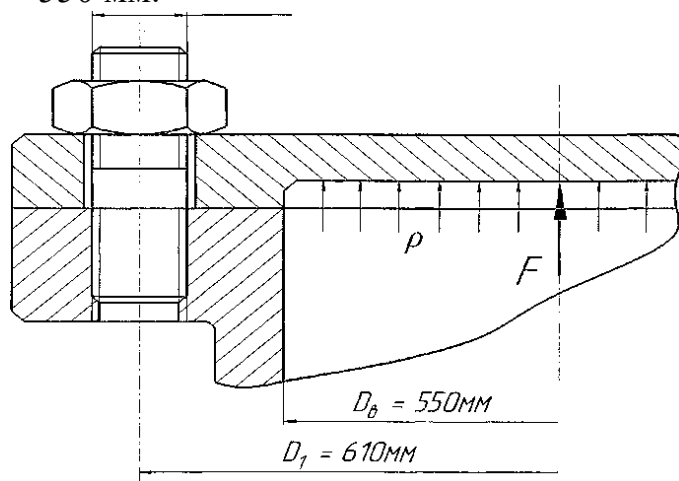


Рисунок 6.3 – Крепление крышки к цилиндру поршневого двигателя

2. Решение.

Величина суммарной отрывной силы  $F$  равна:

$$F = \frac{\pi D_B^2}{4} \cdot p_{max} = \frac{3,14 \cdot 550^2}{4} \cdot 1,4 = 332 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

где  $D_B$  – внутренний диаметр сосуда, мм;

$p_{max}$  ~ максимальное давление внутри сосуда, н/мм;

Отрывная сила  $P$ , приходящаяся на одну шпильку:

$$P = \frac{F}{Z} = \frac{332 \cdot 10^3}{24} = 13,86 \cdot 10^3 \text{ Н} \approx 13,9 \text{ кН}$$

где  $Z$  – число шпилек.

**Сила предварительной затяжки  $Q$**  единичного резьбового соединения:

$$Q = K \cdot P(1 - \chi) = 4,5 \cdot 13,9 \cdot (1 - 0,25) = 46,9 \text{ кН}$$

где  $K$  – коэффициент запаса против раскрытия стыка; при переменной нагрузке на крышку принимаем согласно рекомендациям.  $K = 4,5$  (см. также п.1);

$\chi$  – коэффициент основной нагрузки; согласно рекомендациям, принимаем для стыка без прокладок  $\chi = 0,25$  (см. также п.1).

**Суммарная осевая сила  $P_{oc}$** , действующая на шпильку после затяжки соединения и подаче в ёмкость среды под давлением:

$$P_{oc} = Q + \chi \cdot P = 46,9 + 0,25 \cdot 13,9 = 50,4 \text{ кН}$$

**Расчётная нагрузка на шпильку** с учётом как напряжений растяжения от суммарной осевой силы, так и напряжений скручивания:

$$P_p = 1,3 \cdot P_{oc} = 1,3 \cdot 50,4$$

**Напряжение в опасном сечении болта:**

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{P_p}{\frac{\pi \cdot d_1^2}{4}} = \frac{65,5 \cdot 10^3}{\frac{3,14 \cdot (26,2)^2}{4}} = 120 \text{ н/мм}^2$$

где  $d_1$  – внутренний диаметр резьбы; по заданию резьба шпилек – М30, тогда согласно формуле 6 имеем:  $d_1 = 26,2$  мм.

Материал шпилек – сталь 45, предел текучести – 340–360 н/мм<sup>2</sup>, термообработка – нормализация. Будем считать, что рассчитываемое соединение относится к ответственным силовым соединениям и тогда допускаемое напряжение затяжки резьбового соединения, согласно рекомендациям – см. п. 2, равно:

$$[\sigma]_з = (0,6 \dots 0,7)\sigma_T$$

Принимаем:

$$[\sigma]_з = 0,65\sigma_T = 0,65 \cdot 350 = 227 \text{ н/мм}^2$$

Следовательно, условие прочности шпилек, а именно:

$$\sigma_{\text{экв}} \leq [\sigma]_з$$

выполняется.

#### *Выводы*

Прочность крепления крышки к сосуду и нераскрытие стыка под нагрузкой обеспечиваются.

#### *Задание.*

Согласно индивидуальному заданию (см. таблицу 1) проверить прочность болтов (шпилек), крепящих крышку к сосуду, в котором находится газообразная или жидкая среда под давлением. Обеспечить требование нераскрытия стыка крышки с фланцем сосуда.

#### *Отчёт по работе.*

- сформулировать тему, цель, задачи работы;
- кратко изложить сведения о резьбовых соединениях с предварительной затяжкой;
- представить решение согласно индивидуальному заданию в следующем порядке:
  - задание (вариант – см. таблицу 6.1);
  - исходные данные;
  - решение (образец оформления – см. п. 4).

Таблица 6.1 – Индивидуальные задания

№ варианта	D <sub>в</sub> , мм	Z	d, мм	Материал болта (шпильки)	P <sub>max</sub> , н/мм <sup>2</sup>	Материал прокладки
1	500	20	M27	Ст3	2,4	Резина
2	350	16	M18	Ст3	1,5	Без прокладки
3	580	24	M20	сталь 45	3,2	Асбест
4	600	24	M30	40X	2,8	Паронит
5	450	20	M24	сталь 35	1,6	Без прокладки
6	800	24	M33	40X	3,6	Асбест
7	740	22	M33	40X	4,0	Без прокладки
8	660	26	M30	сталь 45	3,2	Резина
9	370	18	M18	сталь 35	1,6	Паронит
10	520	24	M27	Ст3	2,8	Резина
11	800	26	M30	30ХГСА	4,2	Без прокладки
12	480	20	M24	40X	2,2	Асбест

Примечание: материал крышки и сосуда для всех вариантов – сталь.

*Вопросы для контроля:*

1. Методика проверочного расчёта болтов (шпилек), крепящих крышку к ёмкости с газом (жидкостью) под давлением.
2. Как определить силу предварительной затяжки?
3. Как определить расчётную нагрузку на шпильку?

## Практическая работа № 7

### Продольно-прессовое соединение сборка, расчёт

*Цель:* получение практических умений и навыков расчёта продольно-прессовых соединений.

*Задание по практической работе:*

1. Ознакомиться с общей классификацией соединений, используемых в сборочных процессах деталей, машин, механизмов и, в частности, с разновидностями неразъёмных соединений, полученных путём натяга.
2. Ознакомиться с методикой расчёта продольно-прессовых соединений.

### *Методические рекомендации*

#### Классификация соединений деталей машин при сборке.

При оценке и классификации соединений деталей машин используются различные методики и подходы

При сборке детали, входящие в состав изделия, соединяют различными способами.

По конструкции и условиям эксплуатации различают соединения подвижные и неподвижные; разъёмные и неразъёмные – рисунок 7.1:

– *подвижные* – обеспечивают перемещения составных частей относительно друг друга;

– *неподвижные* – не имеют возможности перемещения относительно друг друга;

– *разъёмные* – соединения могут быть полностью разобраны без нарушения целостности составляющих их частей (сборочных единиц, деталей);

– *неразъёмные* – не могут быть подвергнуты разборке без разрушения самого соединения (например, сварного) или соединяемых деталей, узлов.

Все соединения можно разбить на четыре класса:

I – неподвижные разъёмные;

II – неподвижные неразъёмные;

III – подвижные разъёмные;

IV – подвижные неразъёмные.

Соединения IV класса встречаются редко.

Для общего машиностроения число соединений указанных классов можно выразить соотношением:

$$I : II : III : IV \approx 0,45 : 0,35 : 0,15 : 0,05$$

Соединения классифицируются также и по технологическим признакам – рисунок 7.1.

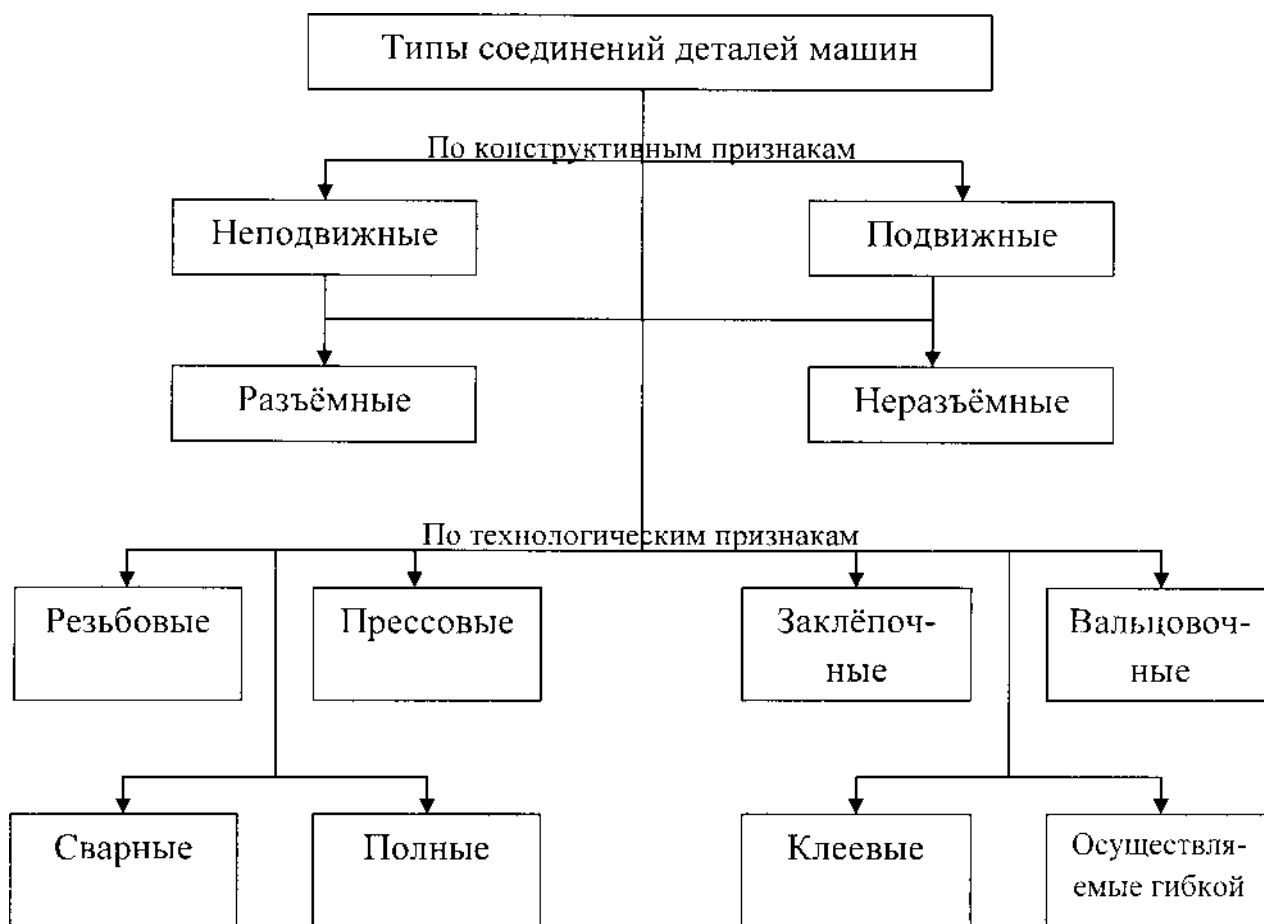


Рисунок 7.1 – Классификация соединений деталей машин при сборке

Область применения, расчёт и примеры по различным классам и технологическим вариантам соединений.

#### Соединения с натягом.

Соединения с натягом относятся к неподвижным неразъёмным (или редко разбираемым) соединениям, широко используются в конструкциях машин. Как правило, их разборка связана с нарушением или с полным разрушением сопрягаемых поверхностей. Лишь некоторые виды из них (условно неразъёмные) могут быть разобраны, но число разборок строго ограничено. Этот способ соединения обеспечивает неподвижность соединяемых объектов без дополнительных средств крепления, позволяет передавать через соединённые детали большие крутящие моменты, выдерживает большие осевые силы, обеспечивает высокую точность центрирования, конструктивно прост.

Часто посадки с натягом используются для образования неподвижных соединений при запрессовке валов (сплошных или трубчатых) в детали типа колец, втулок – рисунок 7.2. Возможна и «обратная» схема, когда на вал запрессовывается втулка, кольцо.

В соединениях с натягом расчётным диаметр охватываемой детали (вал)  $d_{в.р.}$  больше диаметра отверстия в детали охватывающей (втулка)  $d$  на величину



максимального натяга  $N_{\max}$ :

$$d_{\text{в.р.}} = d + N_{\max} \quad (7.1)$$

При воздействии силы запрессовки  $P$  вал запрессовывается в отверстие втулки, при этом материал втулки, пластически деформируясь, растягивается, а материал вала сжимается. В результате в зоне контакта поверхностей вала и отверстия втулки возникает напряжённое состояние материала, характеризующееся удельным давлением  $p$ .

Удельное давление  $p$  направлено перпендикулярно сопрягаемым поверхностям и создаёт соответствующую силу трения, которая препятствует смещению вала и втулки относительно друг друга под воздействием внешних сил.

Таким образом, прочность и неподвижность соединения обеспечивается силами трения, создаваемыми давлением на сопрягаемых поверхностях и зависящими от натяга в соединении. Очевидно, чем больше величина натяга  $N$ , тем выше сила давления  $p$  на контактирующих поверхностях охватываемой детали 1 и охватывающей детали 2 – рисунке 7.2, в. В свою очередь, с увеличением удельного давления  $p$  растёт сила трения в соединении вал-втулка и, соответственно, растёт крутящий момент и осевая сила, которые соединения может передавать без смещения вала относительно втулки.

Расчёт необходимой величины натяга  $N$  при заданных значениях крутящего момента  $M_{кр}$  и осевой силы сдвигающей  $P_{ос}$ , передаваемых прессовым соединением, осуществляется конструктором. На основе этого расчёта конструктор указывает на сборочном чертеже выбранную им посадку с натягом в выбранном квалитете точности для данного конкретного размера сопрягаемых поверхностей.

В задачи технолога при разработке операций сборки путём продольной запрессовки входит определение необходимой максимальной силы пресса  $Q$  и выбор его модели.

Сборка соединений с натягом может быть осуществлена под действием расчётной силы пресса  $P$ , что и было описано выше. Такое соединение условно называют *продольно-прессовым*.

Можно собрать соединение при значительно меньшем усилии прессования, когда  $P' \ll P$  – см. рисунок 7.2, б. Для этого необходимо предварительно нагреть втулку, или охладить вал, или провести обе эти операции одновременно. Такое соединение деталей получило условное название *поперечно-прессовое*.

Каждое из соединений имеет свои достоинства и недостатки.

1 – деталь охватываемая  
2 – деталь охватывающая

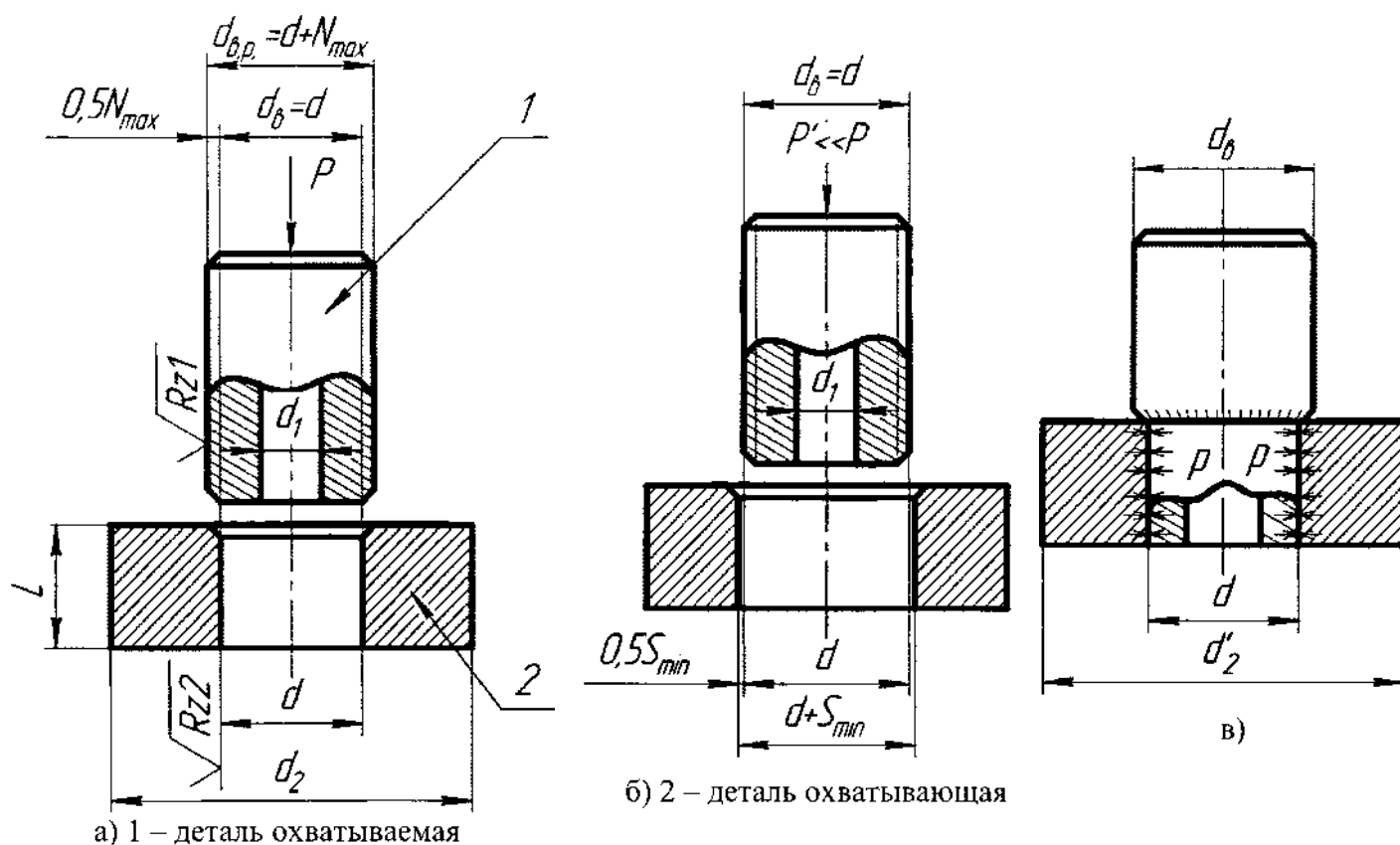


Рисунок 7.2 – Схема образования натяга в неподвижном неразъёмном соединении:

а – исходное состояние систем перед запрессовкой вала во втулку механическим путём – продольно-прессовое соединение; б – исходное состояние системы перед запрессовкой вала в предварительно нагретую втулку – поперечно-прессовое соединение; в – конечное состояние системы при любом способе сборки вала со втулкой с обеспечением гарантированного натяга

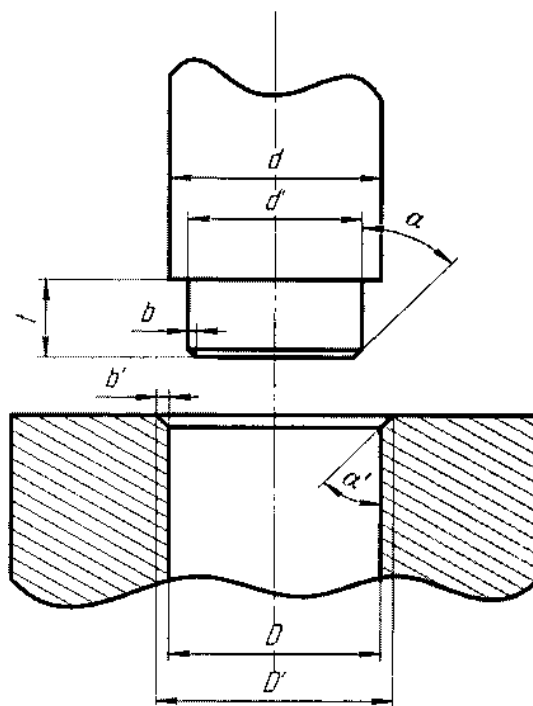


Рисунок 7.3 – Геометрические параметры фасок и центрирующего уступа прессового сопряжения вал-втулка

При любом способе прессования вал и втулка должны быть выставлены на столе пресса строго соосно. Причём их общая ось должна быть строго перпендикулярна плоскости стола. При серийном характере производства эти требования выполняются с помощью специальных приспособлений и устройств.

Для облегчения захода вала в отверстие втулки конструктор должен предусмотреть направляющие фаски и центрирующие уступы на сопрягаемых деталях.

На рисунке 7.3 представлен эскиз сопряжения вал-втулка с фасками и центрирующим уступом на валу.

В диапазоне диаметров сопряжений от 10 до 140 мм принимают:

$\alpha'$  – угол наклона направляющей конической фаски для отверстия:  $\alpha' = 45^\circ$ ;

$\alpha''$  – угол наклона для фаски для вала:  $\alpha'' = 10 \dots 30^\circ$ ;

– ширина фасок  $b'$  и  $b''$  принимают  $< 3$  мм;

– разницу в диаметрах ( $d - d'$ ) или ( $D - D'$ ) обычно принимают в пределах (0,02...0,5) мм;

– длина уступа  $t = 2 \dots 12$  мм

Имеется достаточно много вариантов фасок, центрирующих уступов, центрирующих расточек.

Модель пресса по рассчитанному усилию запрессовки выбирают по таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Модель и номинальное усилие прессования гидравлических одностаночных прессов

Модель пресса	П6320	П6322	П6324	П6326	П6328	П6330	П6332	П6334
Номинальная сила, кН	100	160	250	400	630	1000	1600	2500

### Порядок выполнения работы

Методика расчёта продольно-прессовых соединений.

Необходимое усилие запрессовки  $P$  рассчитывается по формуле:

где  $f$  – коэффициент трения на контактных поверхностях ( $f = 0,08 - 0,1$ );

$d$  – номинальный диаметр соединения, м;

$L$  – длина сопрягаемых поверхностей, м;

$p$  – давление на поверхности контакта, МПа.

Давление на поверхности контакта определяется следующим образом:

где  $N_{max}$  – максимальный натяг в соединении, мкм;

$C_1$  и  $C_2$  – коэффициенты Ляме соответственно для охватываемой поверхности вала и охватывающей поверхности отверстия втулки;

$E_1$  и  $E_2$  – модули упругости материалов соответственно вала и отверстия, Н/м – см. таблицу 7.2.

Предельные натяги  $N_{max}$  и  $N_{min}$  и предельные зазоры  $S_{max}$ ,  $S_{min}$ , указанные конструктором на сборочном чертеже и необходимые для расчётов усилия запрессовки, определяются на основании системы допусков и посадок:

$$\begin{aligned} N_{max} &= es - EI; \\ N_{min} &= ei - ES; \\ S_{max} &= ES - ei; \\ S &= EI - es; \end{aligned} \quad (7.2)$$

где  $es$  и  $ei$  – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения вала;

$ES$  и  $EI$  – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения размеров отверстия втулки.

Коэффициенты Ляме  $C_1$  и  $C_2$  могут быть рассчитаны по формулам:

$$C_1 = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} - \mu_1 \quad (7.3)$$

$$C_2 = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2} + \mu_2, \quad (7.4)$$

где  $d$  – номинальный диаметр соединения;

$d_1$  – диаметр отверстия в вале (внутренний диаметр трубы), мм – см. рисунок 3;

$d_2$  – наружный диаметр втулки, мм – см. рисунок 7.3;

$\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона соответственно для охватываемой и охватывающей деталей (таблица 7.2).

Значения модулей упругости для соединяемых материалов  $E_1$  и  $E_2$ , а также соответствующие коэффициенты Пуассона представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Коэффициент Пуассона

Материал	$E, \text{Н/м}^2$	$\mu$
Сталь и стальное литьё	$(1,96\text{--}2,00) \cdot 10^{11}$	0,3
Чугунное литьё	$(0,74\text{--}1,05) \cdot 10^{11}$	0,25
Бронза	$0,84 \cdot 10^{11}$	0,35
Латунь	$0,78 \cdot 10^{11}$	0,38
Пластмассы	$(0,05\text{--}0,35) \cdot 10^{11}$	

Для сплошного без отверстия вала  $d_1 = 0$  и тогда по формуле 7.3 имеем  $C_1 = 1 - \mu_1$ . Если же охватываемая деталь (вал) запрессовывается в массивный корпус, то можно считать, что  $d_2 \rightarrow \infty$ . Тогда имеем  $C_2 = 1 + \mu_2$ .

По полученному расчётному значению усилия запрессовки  $P$  подбирают пресс с усилием  $Q$  и коэффициентом запаса  $K=1,4\text{--}1,5$

$$Q \geq (1,4 \dots 1,5) \quad (7.5)$$

Деформации, возникающие в процессе запрессовки, вызывают увеличение наружного диаметра охватывающей детали  $\Delta d_2$  (втулка) и уменьшение диаметра отверстия (если таковое имеется)  $\Delta d_1$  охватываемой детали (трубчатый вал).

$$\Delta d_2 = \frac{2 \cdot p \cdot d_2 \cdot d^2}{E_2(d_2^2 - d^2)} \quad (7.6)$$

$$\Delta d_1 = \frac{2 \cdot p \cdot d_1 \cdot d^2}{E_1(d^2 - d_1^2)}, \quad (7.7)$$

Если эти изменения диаметров имеют существенное значение и выходят за пределы установленных допусков, то в технологическом процессе необходимо предусмотреть операции по их восстановлению, например: расточка или расшлифовка отверстия  $d_1$ ; обточка или шлифование поверхности втулки в размер  $d_2$ . Эти операции делаются уже после запрессовки вала во втулку.

Недостатком продольно-прессового способа является то, что при запрессовке микронеровности сопрягаемых поверхностей частично сминаются и срезаются. В результате фактический натяг в соединении уменьшается. А значит и передаваемый соединением, крутящий момент становится меньше расчётного значения. Учесть это можно, если в формуле 2 вместо  $N_{max}$  использовать величину  $(N_{max} - \Delta_R)$ , где  $\Delta_R$  учитывает уменьшение натяга за счёт смятия микрогребешков при запрессовке. Тогда фактическое давление  $p$  на поверхности контакта будет определяться следующим образом:

$$p = \frac{(N_{max} - \Delta_R) \cdot 10^{-6}}{d \left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)}. \quad (7.8)$$

Значение  $\Delta_R$  рекомендуется определить по следующей формуле:

$$\Delta_R = 2(K_1 \cdot R_{z1} + K_2 \cdot R_{z2}), \quad (7.9)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты, учитывающие соответственно смятие микронеровностей отверстия втулки и поверхности вала – таблица 7.3;

$R_{z1}$  – шероховатость поверхности отверстия втулки, мкм - таблица 7.3);

$R_{z2}$  – шероховатость поверхности вала, мкм – таблица 7.3.

Таблица 7.3 – Значение коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$  при расчёте усилия запрессовки

Метод запрессовки	Материалы сопрягаемых деталей		
	сталь и сталь	сталь и чугун	бронза и сталь
Механическая без смазки	0,5	0,15	0,7
Механическая со смазкой	0,25	0,15	0,7

Метод запрессовки	Материалы сопрягаемых деталей		
	сталь и сталь	сталь и чугун	бронза и сталь
Нагрев детали с отверстием (втулка)	0,4	0,35	0,85
Охлаждение вала	0,5	0,35	0,85

Если по каким-либо причинам не указана шероховатость сопрягаемых при запрессовке поверхностей, то можно воспользоваться данными таблицы 7.4.

Таблица 7.4 – Шероховатость сопрягаемых поверхностей в зависимости от поля допуска посадки

Номинальные размеры сопряжения, мм	Валы				Отверстия			
	s5 r5	h6 p6 r6 t7 u7	h7 s7	u8 x8 r8	H6	H7 R7 U7	H8 U8	H9
	R <sub>z</sub> , мкм							
Свыше 6 до 10		1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	3,2	6,3
» 10 » 18	3,2	3,2			6,3	3,2	6,3	
» 18 » 30								
» 30 » 50								
50 » 80								
» 80 » 120		6,3	10	6,3	10	20		
» 120 » 180								
» 180 » 260	6,3	10	20	6,3	10	20	20	
» 260 » 360								10

Пример расчёта усилия запрессовки.

1. Исходные данные.

Вал запрессовывается во втулку. Материал вала и втулки – Сталь 45. Диаметр прессового соединения  $d = 100\text{H}7/\text{r}6$ ; диаметр отверстия вала  $d_1 = 50$  мм; наружный диаметр втулки  $d_2 = 250$  мм; шероховатость поверхности отверстия во втулке:  $R_{z1} = 10$  мкм – чистовое растачивание. Шероховатость наружной поверхности вала  $R_{z2} = 6,3$  мкм – чистовое обтачивание. Длина сопрягаемых поверхностей  $L = 80$  мм. Определить силу запрессовки и выбрать модель пресса.

2. Решение.

Определить максимальный натяг в соединении  $d = 100\text{H}7/\text{r}6$ .

Согласно ЕСДП имеем: отверстие –  $d100\text{H}7$ ,  $100_{\text{мм}}^{0,035}$ ; вал –  $d100\text{r}6$ ,

$$100^{+0,073}_{+0,051} \text{ мм.}$$

Тогда:  $ES = 0,035$  мм;  $EI = 0$  мм;  $es = +0,073$  мм;  $ei = +0,051$  мм.

Определить удельное давление на контактных поверхностях по формуле:

$$p = \frac{(N_{max} - \Delta_R) \cdot 10^6}{d \left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)}, \quad (7.10)$$

где  $\Delta_R$  – поправка, уменьшающая натяг за счёт смятия микронеровностей контактирующих поверхностей в соединении;

$C_1, C_2$  – коэффициенты Ляме соответственно для вала и втулки;

$E_1, E_2$  – модули упругости соответственно для материала вала и втулки;

$d$  – номинальный диаметр соединения, м.

Значение поправки  $\Delta_R$  определим по формуле 8:

Значения коэффициентов и  $K_2$  принимаем по таблице 3, исходя из того, что материал вала и втулки – сталь (по заданию), смазка соединения при запрессовке отсутствует. Тогда:  $K_1 = K_2 = 0,5$ .

Значения шероховатостей отверстия втулки  $R_{z1}$  и наружной поверхности вала  $R_{z2}$  заданы:  $R_{z1} = 10$  мкм;  $R_{z2} = 6,3$  мкм.

Итак,

$$\Delta_R = 2 (0,5 \cdot 10 + 0,5 \cdot 6,3) = 8,15 \text{ мкм} \approx 8 \text{ мкм.}$$

Значение коэффициентов Ляме рассчитываем по формулам 8, 9:

$$C_1 = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} - \mu_1 = \frac{1 + \left(\frac{50}{100}\right)^2}{1 - \left(\frac{50}{100}\right)^2} - 0,3 = 1,37 \quad (7.11)$$

$$C_2 = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2} + \mu_2 = C_2 = \frac{1 + \left(\frac{100}{250}\right)^2}{1 - \left(\frac{100}{250}\right)^2} + 0,3 = 1,68 \quad (7.12)$$

Значения коэффициентов Пуассона  $\mu_1$  и  $\mu_2$  формулах принимались по таблице 7.2.

Следовательно, по формуле 7.10 имеем:

$$p = \frac{(N_{max} - \Delta_R) \cdot 10^{-6}}{d \left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)} =$$



$$= \frac{(73 - 8) \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-3} \left( \frac{1,37}{2 \cdot 10^{11}} + \frac{1,68}{2 \cdot 10^{11}} \right)} = 42,6 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$$

Определить необходимое усилие запрессовки по формуле 7.13

$$P = f \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot p \quad (7.13)$$

Коэффициент трения сопрягаемых поверхностей (сталь по стали) принимаем согласно рекомендациям  $f = 0,1$ . Длина сопрягаемых поверхностей задана:  $L = 80$  мм.

Итак,

$$p = 0,1 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot 80 \cdot 10^{-3} \cdot 42,6 \cdot 10^6 = 107011 \text{ Н} = 107 \text{ кН}$$

Выбрать модель прессы.

Примем коэффициент запаса по усилию запрессовки  $k = 1,5$ .

Тогда необходимое усилие прессы  $Q$  составит:

$$Q \geq 1,5 \cdot P = 1,5 \cdot 107 = 160,5 \text{ кН.}$$

Принимаем пресс П6324 с номинальным усилием 250 кН.

Определить возможное увеличение наружного диаметра охватывающей детали (втулки)  $d_2$  согласно формуле 7.13.

$$\begin{aligned} \Delta d_2 &= \frac{2 \cdot p \cdot d_2 \cdot d^2}{E_2(d_2^2 - d^2)} = \frac{2 \cdot 42,6 \cdot 10^6 \cdot 250 \cdot 10^{-3} (100 \cdot 10^{-3})^2}{20 \cdot 10^{11} [(250 \cdot 10^{-3})^2 - (100 \cdot 10^{-3})^2]} = \\ &= 29 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 29 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Разработать эскиз соединения, на котором указать входные фаски для деталей, собираемых под прессом (втулка, вал) и параметры центрирующего уступа.

Размеры деталей соединения и шероховатость сопрягаемых поверхностей указаны согласно заданию. Размеры фасок на валу и втулка приняты согласно рекомендациям. Диаметр центрирующего уступа  $d'$  принят согласно рекомендациям:  $d' = d - 0,1 = 100 - 0,1 = 99,8$  мм.

Квалитет точности для размера  $d'$  можно принять 9... 10<sup>й</sup>. Принимаем:  $d'_{h10} = \varnothing 99,8_{0,14}$  мм.

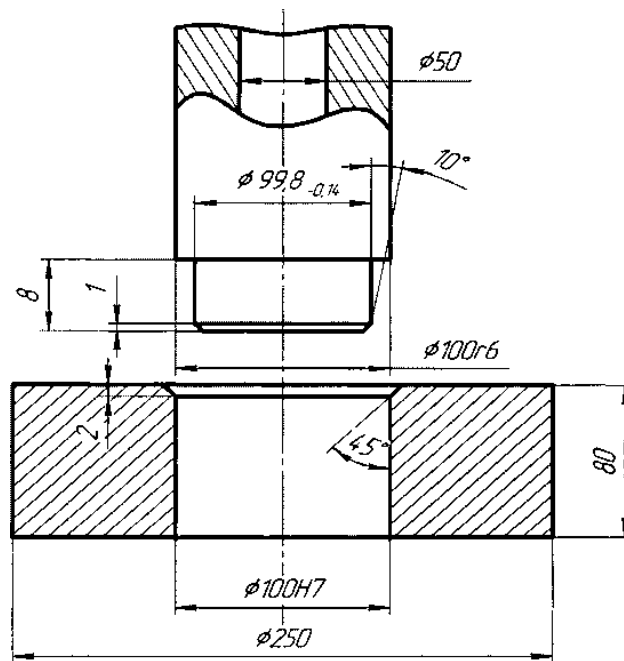


Рисунок 7.4 – Эскиз прессового соединения (исходное состояние)

Задание.

1. Согласно индивидуальному заданию рассчитать силу запрессовки и выбрать модель пресса для образования неподвижного неразъёмного соединения вал-втулка.
2. Определить увеличение наружного диаметра втулки в результате запрессовки в неё вала.
3. Оформить эскиз вала и втулки в составе прессового соединения (исходное состояние) со всеми необходимыми размерами.

*Содержание отчёта.*

- 1) Сформулировать тему, цель, задачи работы.
- 2) Кратко изложить сведения по неподвижным неразборным соединениям и технологии их сборки.
- 3) Представить решение поставленной задачи согласно индивидуальному заданию в следующем порядке:
  - задание (вариант №...);
  - исходные данные;
  - решение (образец оформления).

Таблица 7.5 – Индивидуальные задания

№ варианта	Диаметр соединения $d$ , мм	Втулка				Вал трубчатый		
		Наружный диаметр $d_2$ , мм	Длина $L$ , мм	Материал	Шерохова- тость $R_z$ , мкм	Диаметр отверстия $d_1$ , мм	Шерохова- тость $R_z$ , мкм	Материал
1	80H7/s6	200	80	Сталь	10	40	6,3	Сталь
2	120H8/x8	260	70	Сталь	10	60	6,3	Сталь
3	ø100H7/s6	280	50	Латунь	6,3	50	6,3	Латунь
4	ø90H8/s8	270	60	Латунь	6,3	40	6,3	Латунь
5	ø60H7/z6	180	40	Сталь	10	30	10	Сталь
6	ø140H8/z8	300	80	Чугун	12	70	10	Сталь
7	ø150H6/z5	320	70	Чугун	12	70	10	Сталь
8	ø70H8/x8	150	60	Латунь	6,3	40	6,3	Латунь
9	ø110H7/s6	260	80	Сталь	10	50	6,3	Сталь
10	ø100H8/z8	240	60	Латунь	6,3	50	6,3	Латунь
11	ø60H7/s6	200	50	Чугун	12	30	10	Сталь
12	ø130H6/r5	290	75	Сталь	10	60	6,3	Сталь

### *Вопросы для контроля*

1. Кратко изложить сведения по неподвижным неразборным соединениям и технологии их сборки.
2. Оформить эскиз вала и втулки в составе прессового соединения (исходное состояние) со всеми необходимыми размерами
3. Как выбрать модель пресса для образования неподвижного неразъёмного соединения вал-втулка.

## **Практическая работа № 8**

### **Соединения, собираемые с использованием тепловых методов**

*Цель:* получить практические навыки расчёта поперечно-прессовых соединений.

### *Задание по практической работе:*

1. Получить базовые знания по технологии, оборудованию, практическим приёмам, режимам осуществления поперечнопрессовых соединений.
2. Ознакомиться с методикой расчёта сборочных соединений с термовоздействием.

### *Методические рекомендации*

Соединения, собираемые с использованием тепловых методов.

Как отмечалось в практической работе №7, недостатком продольно прессовых соединений, осуществляемых путём запрессовки одной детали в другую за счёт механического усилия пресса, является частичное срезание микронеровностей сопрягаемых поверхностей и уменьшение в результате этого расчётного натяга, (см. практич. работы № 7). Кроме того, в подобных прессовых соединениях с увеличением диаметра запрессовки и требуемой степени натяга в соединении существенно возрастает потребное максимальное усилие пресса. Соответственно растёт площадь под пресс, затраты энергии, затраты на оборудование, оснастку, обслуживание и т. д. Экономическая эффективность снижается.

Подобных недостатков лишён способ сборки деталей с термовоздействием, когда:

- охватываемую деталь (втулку) перед запрессовкой на охватываемую деталь (вал) нагревают до определённой температуры;
- перед запрессовкой одновременно втулку нагревают, а вал охлаждают.

Натяг в соединяемых деталях (вал-втулка) в этом случае образуется, когда, например, увеличенное под воздействием нагрева отверстие втулки  $d_1$  по мере охлаждения плотно «обжимает» заведённый в отверстие конец вала. Очевидно, что в этом случае сближение сопрягаемых поверхностей происходит радиально, каждый отдельный вектор нормального давления  $p$  направлен перпендикулярно (по нормали) к этим поверхностям и не срезает их микронеровности, а как бы «заводит» микровыступы одной поверхности во впадины другой. В результате дальнейшего охлаждения соединения до

нормальной «комнатной» температуры микронеровности, охватывающей и охватываемой поверхностей, входят в плотное, надёжное зацепление, характеризующееся высокой равномерной величиной удельного давления  $p$  поверхностей друг на друга.

При использовании варианта, когда охлаждают вал, а втулка остаётся при нормальной температуре, процесс появления натяга и «взаимосцепления» микронеровностей физически аналогичен предыдущему, но в этом случае при повышении температуры увеличивается диаметр вала  $d_e$  при постоянном диаметре отверстия втулки  $d$ .

Посадки с натягом, который осуществляется за счёт термовоздействия (нагрев или охлаждение) в связи с радиальным характером векторов нормального давления на сопрягаемых поверхностях в технической литературе называют так же *поперечно-прессовыми*.

В одних и тех же условиях прочность поперечно-прессовых посадок в 2–3 раза больше прочности обычных продольно-прессовых посадок. То есть при относительно небольшом усилии прессования  $P$  степень натяга может быть увеличена в 2–3 раза. Соответственно во столько же раз растёт крутящий момент и осевая сила, передаваемые данным соединением.

Также сокращается в 2–4 раза время на запрессовку крупногабаритных деталей с нагревом их или охлаждением, отпадает надобность в тяжёлых прессах с большим усилием запрессовки, занимающих большую площадь цеха.

Поскольку при сборке деталей с термовоздействием на них силы запрессовки существенно уменьшаются, то незначительны и деформации сопрягаемых по посадке деталей. Это особенно важно для деталей тонкостенных, сложной конфигурации. В этом случае за счёт поперечно-прессовых соединений удаётся повысить точность сборки, увеличивается несущая способность и долговечность. С помощью термовоздействия собирают тонкостенные детали, зубчатые венцы, диски турбин с валами и другие соединения, передающие большие осевые нагрузки и крутящие моменты, а также соединения больших размеров, детали которых невозможно разместить на обычных прессах.

Нагрев охватывающей детали (втулки) при поперечно-прессовой посадке осуществляется в газовых или электрических печах в воздушной или жидкостной среде. Температура нагрева в зависимости от материала детали регулируется в интервале 100–200 °С.

Применяются также индукционные контактные печи, обеспечивающие высокую скорость нагревания.

Прочность соединений, выполненных с нагревом охватывающей поверхности, повышается в 2,5–3 раза, если на поверхность сопряжения наносится промежуточный тонкий слой гальванического покрытия: цинк-медь, кадмий-медь и др. При нанесении антикоррозионных полимерных плёнок толщиной 10–200 мкм на сопрягаемые поверхности можно увеличить статическую прочность соединений в 1,2–1,5 раза.

Соединения, собираемые с охлаждением охватываемой детали (вала) имеют ряд преимуществ перед соединениями, получаемыми путём нагрева

охватывающей детали (втулки):

- прочность соединения примерно на 10–15 % выше;
- температурные напряжения и деформации в деталях, подвергаемых охлаждению, существенно ниже чем в деталях, подвергаемых нагреву;
- отсутствует опасность снижения твёрдости и появления хрупких окисных плёнок на сопрягаемых поверхностях;
- на охлаждение требуется меньше времени, чем на нагрев;
- при наличии на сопрягаемых поверхностях гальванических покрытий в виде тонких слоёв при сборке с охлаждением эти слои не портятся, а прочность соединения возрастает ещё больше.

Различные хладоносители обеспечивают следующую температуру охлаждения сопрягаемых деталей °С: твёрдая углекислота – 78,5; жидкий кислород – 128,5; жидкий воздух – (190–198); жидкий азот – 195,8.

Простейшее оборудование, применяемое для охлаждения деталей, представляет собой металлический или деревянный ящик с надёжной теплоизоляцией, куда закладывают твёрдую углекислоту. Охлаждаемые детали помещают внутрь ящика.

Более сложное оборудование (холодильные камеры, специальные установки) представлены в технической литературе.

#### *Порядок выполнения работы*

#### **Методика расчёта поперечно-прессовых соединений.**

Соединения с нагревом охватывающей детали.

Для нагрева деталей используют:

- кипящую воду ( $t < 100$  °С);
- масляную ванну ( $t = 110 - 130$  °С);
- газовые горелки, нагревательные шкафы или печи, установки ТВЧ; во избежание структурных изменений металла не рекомендуется нагревать детали выше 400 °С.

Температура нагрева или охлаждения охватываемой детали (вал), охватывающей детали (втулки) рассчитывается по формуле:

$$t = \frac{N_{max} + S_{сб}}{\alpha \cdot d} \pm t_{сб} \quad (8.1)$$

где  $N_{max}$  – максимальный натяг в соединении, мкм;  
рассчитывается по формуле см. практическую работу №7;

$S_{сб}$  – минимально необходимый зазор при сборке, принимается равным  $S_{min}$  в посадке H7/d6, мм;

$\alpha$  – коэффициент местного расширения (сужения) материала детали град<sup>1</sup>;

$d$  – диаметр соединения, мм;

$t_{сб}$  – температура помещения сборки, которую принимают со знаком плюс при нагреве и со знаком минус при охлаждении.

Таблица 8.1 – Минимальные зазоры  $S_{с6}$  (минимальные зазоры посадок  $H7/d6$ , мм)

Диаметр соединения, $d$	1–3	3–6	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80
Зазор $S_{с6}$	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09	0,010
Диаметр соединения, $d$	80–120	120–180	180–250	250–315	315–400	400–500	
Зазор $S_{с6}$	0,012	0,014	0,015	0,017	0,018	0,020	

Таблица 8.2 – Коэффициенты линейного расширения (сжатия)  $\alpha$  материалов при их нагревании (охлаждении)

Материал	$\alpha \cdot 10^6, ^\circ\text{C}^{-1}$		Материал	$\alpha \cdot 10^6, ^\circ\text{C}^{-1}$	
	нагрев	охлаждение		нагрев	охлаждение
Сталь незакалённая	12	-9,5	Бронза (оловянистая)	17	-15
Сталь закалённая	11	-8,5	Латунь	18	-16
Чугун	10	-8	Алюминиевые сплавы	23	-18
Бронза	16	-14	Магниеые сплавы	26	-21

### Пример расчёта поперечно-прессового соединения с нагревом втулки

#### 1. Исходные данные

Необходимо разработать операцию сборки неподвижного неразъёмного соединения вала и втулки с нагревом втулки или охлаждением вала. Исходные данные: втулка выполнена из закалённой стали; необходимо обеспечить посадку 0200  $H8/u8$ ; температура в помещении сборки  $t_{с6} = +20\text{ }^\circ\text{C}$ . Требуется определить температуру, до которой необходимо нагреть втулку или охладить вал.

#### 2. Решение.

Определить максимальный натяг в соединении d200  $H8/u8$

Согласно ЕСПД имеем:

– отверстие –  $d\ 200\ H8 = 200^{+0,072}\text{ мм}$ ;

– вал –  $du8 = 200^{+0,308}_{+0,236}\text{ мм}$

Тогда, согласно формулам, см. практическую работу № 7 – максимальный натяг  $N_{max}$  в соединении равен:

$$N_{max} = es - EI = 0,308 - 0 = 0,308 \text{ мм}, \quad (8.2)$$

где  $es$  – верхнее предельное отклонение вала;  $EI$  – нижнее предельное отклонение отверстия втулки.

**Определить минимально необходимый зазор при сборке  $S_{сб}$ .** Согласно таблице 8.1 минимально необходимый зазор при сборке  $S_{сб}$ , принимается равным минимальному зазору в посадке  $200 H7 / g6 = 0,015 \text{ мм}$ .

Определить температуру нагрева втулки по формуле 3. Вал не нагревают.

$$t = \frac{N_{max} + S_{сб}}{\alpha \cdot d} + t_{сб} = t = \frac{0,308 + 0,015}{12 \cdot 10^{-6} \cdot 200} + 20 = 155^\circ\text{C} \quad (8.3)$$

Такая относительно невысокая температура нагрева не вызывает структурных изменений металла втулки и других вредных воздействий.

Определить температуру охлаждения вала по формуле 8.4. Втулку не охлаждают.

$$t = \frac{N_{max} + S_{сб}}{\alpha \cdot d} - t_{сб} = t = \frac{0,308 + 0,015}{-9,5 \cdot 10^{-6} \cdot 200} + 20 = -190^\circ\text{C} \quad (8.4)$$

Для достижения такой температуры охлаждения необходимо будет использовать жидкий азот ( $t_{охл} = -195,8^\circ\text{C}$ ).

Какой из вариантов сборки сопряжения (с нагревом втулки или с охлаждением вала) принять для практической реализации решает технолог исходя из габаритов и формы сопрягаемых деталей и имеющегося на предприятии оборудования.

### **Задание**

Согласно индивидуальному заданию определить условия, при которых можно осуществить поперечно-прессовое соединение вал-втулка двумя различными способами:

- путём нагрева втулки;
- путём охлаждения вала.

Для обоих вариантов рассчитать необходимую температуру нагрева или охлаждения одной из сопрягаемых деталей.

### *Содержание отчёта.*

- сформулировать тему, цель, задачи работы;
- кратко изложить сведения по поперечно-прессовым соединениям;
- представить решение согласно индивидуальному заданию в следующем порядке:

задание (вариант – см. таблицу 8.3);

исходные данные;



решение.

Таблица 8.3 – Индивидуальные задания

№ варианта	Диаметр соединения, мм	Материал втулки	№ варианта	Диаметр соединения, мм	Материал втулки
1	100 H8/u8	Сталь	11	32 H8/z8	Сталь
2	75H8/z8	Алюминий	12	48 H7/s6	Чугун
3	46 H7/u6	Бронза	13	150 H8/u8	Алюминий
4	120 H7/u7	Чугун	14	72 H7/s6	Бронза
5	55 H6/z5	Сталь	15	60 H6/r5	Сталь
6	200 H7/u7	Чугун	16	45 H8/u8	Бронза
7	350 H6/r5	Алюминий	17	80 H6/z5	Чугун
8	90 H7/s6	Сталь	18	132 H7/s6	Алюминий
9	82 H6/z5	Бронза	19	98 H8/u8	Сталь
10	48 H7/u7	Чугун	20	220 H6/r5	Бронза

*Вопросы для контроля:*

1. Преимущества у соединений, собираемых с охлаждением охватываемой детали (вала) от соединений, получаемыми путём нагрева охватывающей детали (втулки)
2. Методика расчёта поперечно-прессовых соединений
3. Расчёт необходимой температуры нагрева или охлаждения одной из сопрягаемых деталей.

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Согласно учебному плану дисциплины «Технологии и оборудование сборочного производства» направления подготовки 15.03.01 Машиностроение, студенты заочной формы обучения закрепляют изучаемый материал, самостоятельно в виде выполнения контрольной работы.

При выполнении контрольной работы студенты отвечают на два вопроса. Варианты вопросов определяется по таблице 4 в зависимости от двух последних цифр студенческого шифра (номера студенческого билета и зачетной книжки). В таблице по горизонтали (Б) размещены цифры от 0 до 9, каждая из которых – последняя цифра шифра студента. По вертикали (А) также размещены цифры от 0 до 9, каждая из которых – предпоследняя цифра шифра студента. Пересечение горизонтальной и вертикальной линий определяет клетку с номерами вариантов контрольной работы. Перечень вопросов для выполнения контрольной работы представлен в приложении А.

Таблица 4 – Варианты заданий

Б		Последняя цифра шифра									
А		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Предпоследняя цифра шифра	0	1,26	11,5	21,11	1,26	11,1	21,13	1,22	11,2	21,12	1,18
	1	2,26	12,3	22,11	2,26	12,1	22,13	2,22	12,3	22,12	2,18
	2	3,26	13,5	23,11	3,26	13,1	23,13	3,22	13,15	23,12	3,18
	3	4,26	14,5	24,11	4,26	14,24	24,13	4,22	14,15	24,12	4,18
	4	5,26	15,5	25,11	5,26	15,24	25,13	5,22	15,1	25,12	5,18
	5	6,26	16,5	26,11	6,26	16,24	26,13	6,22	16,15	26,12	6,18
	6	7,26	17,8	27,11	7,26	17,24	27,13	7,22	17,15	27,12	7,18
	7	8,26	18,5	3,10	8,26	18,2	8,9	8,22	18,15	16,8	8,18
	8	9,26	19,5	7,10	9,26	19,24	8,9	9,22	19,15	9,8	9,18
	9	10,26	20,5	2,11	10,26	20,24	8,12	10,22	20,15	9,13	10,18

Ответы на рассматриваемые вопросы должны излагаться по существу, быть четкими, полными, ясными и содержать элементы анализа.

При ответе на вопросы студент должен использовать не только учебную литературу, но и статьи, публикуемые в периодической печати, указывая в работе источники информации. Текстовая часть работы может быть иллюстрирована рисунками, схемами, таблицами. В конце приводится список использованных источников (не менее 10 источников).

Работа должна быть выполнена на листах формата А4 с одной стороны листа, в печатном варианте. Шрифт текстовой части размер – 12 (для заголовков – 14), вид шрифта – Times New Roman, интервал 1,5. Поля страницы: левое 3 см, правое 1,5 см, верхнее и нижнее 2 см. Нумерация страниц внизу справа.

*Структура контрольной работы:*

- титульный лист (приложение Б)
- содержание
- текстовая часть (каждый вопрос начинать с нового листа)
- список используемой литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.0.100-2018, ГОСТ 7.82-2001.

В текстовой части не допускается сокращение слов. Объем выполненной работы не должен превышать 15 листов А4.

Контрольная работа должна быть оформлена в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к контрольным работам:

- текст должен быть отпечатан на компьютере;
- основной текст подразделяется на озаглавленные части в соответствии с содержанием работы. Заглавия не подчеркиваются, в конце заголовка точка не ставится, переносы допускаются;
- страницы текста пронумерованы арабскими цифрами в правом верхнем углу без точек. Титульный лист считается первым и не нумеруется;
- на каждой странице оставлены поля для замечаний рецензента;
- список использованных источников оформляются по соответствующим требованиям.

Стиль и язык изложения материала контрольной работы должны быть четкими, ясными и грамотными. Грамматические и синтаксические ошибки недопустимы. Выполненная контрольная работа представляется для регистрации на кафедру, затем поступает на рецензирование преподавателю.

Положительная оценка («зачтено») выставляется в зависимости от полноты раскрытия вопроса и объема предоставленного материала в контрольной работе, а также степени его усвоения, которая выявляется при ее защите (умение использовать при ответе на вопросы научную терминологию, лингвистически и логически правильно отвечать на вопросы по проработанному материалу). Студент, получивший контрольную работу с оценкой «зачтено», знакомится с рецензией и с учетом замечаний преподавателя дорабатывает отдельные вопросы с целью углубления своих знаний.

Контрольная работа с оценкой «не зачтено» возвращается студенту с рецензией, выполняется студентом вновь и сдается вместе с не зачтенной работой на проверку преподавателю. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, возвращается без проверки и зачета.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проектирование технологических процессов машиностроительных производств: учебник / В. А. Тимирязев, А. Г. Схиртладзе, Н. П. Солнышкин, С. И. Дмитриев. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 384 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/211652> (дата обращения: 18.02.2022). – ISBN 978-5-8114-1629-5. – Текст : электронный.
2. Фещенко, В. Н. Обеспечение качества продукции в машиностроении: учебник / В. Н. Фещенко. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 789 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564257> (дата обращения: 18.02.2022). – ISBN 978-5-9729-239-2. – Текст : электронный.
3. Сысоев, С. К. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов: учеб. пособие для вузов / С. К. Сысоев, А. С. Сысоев, В. А. Левко. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 352 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/201644> (дата обращения: 18.02.2022). – ISBN 978-5-8114-9942-7. – Текст : электронный.
4. Беспалов, В. В. Технологическое обеспечение качества. Сборка машин и механизмов: учеб. пособие / В. В. Беспалов, Р. Ш. Мансуров, Б. В. Устинов. – Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2019. – 180 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/254861> (дата обращения: 18.02.2022). – ISBN 978-5-502-01201-0. – Текст : электронный.
5. Маталин, А. А. Технология машиностроения: учебник для ВО / А. А. Маталин. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 512 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/143709> (дата обращения: 18.02.2022). – ISBN 978-5-8114-5659-8. – Текст : электронный.
6. Ковшов, А. Н. Технология машиностроения: учебник / А. Н. Ковшов. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 320 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/212438> (дата обращения: 18.02.2022). – ISBN 978-5-8114-0833-7. – Текст : электронный.
7. Морозов, И. М. Основы технологии сборки в машиностроении: Учебное пособие. Компьютерная версия / И .М. Морозов, В. Ю. Шамин. – 2-е изд., перер. и доп. – Челябинск: ЮурГУ, 2006. – 72 с.
8. ГОСТ 12485-67. Ручки с винтовым креплением. Конструкция.
9. ГОСТ 12486-67. Ручки со штифтовым креплением. Конструкция.
10. ГОСТ 4751-73. Рым-болты. Технические условия
11. РД 50-635-87. Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчёта линейных и угловых цепей.
12. ГОСТ 25347-82. ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки.

13. ГОСТ 25346-82. ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.
14. ГОСТ 2.307. Нанесение размеров и предельных отклонений.
15. Технология сельскохозяйственного машиностроения: учеб, пособие / Л. М. Кожуро [и др.]; под ред. Л. М. Кожуро. – Минск: Новое знание, 2006. – 512 с.
16. Проектирование технологических процессов сборки машин: учебник / А. А. Жолобов [и др.]; под общ. ред. А. А. Жолобова. – Минск: Новое знание, 2005. – 410 с.
17. Машиностроение: энцикл. Т. III / Ю.М. Соломенцев [и др.]: под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – Москва: Машиностроение, 2000. – 780 с.
18. Кожуро, Л. М. Проектирование технологических процессов в сельскохозяйственном машиностроении / Л. М. Кожуро, А. В. Миранович, В. В. Тризна. – Минск: БГАТУ, 2003. – 190 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А

#### Вопросы для контрольной работы

1. Точность сборки и надежность машин.
2. Методы сборки.
3. Требования к техпроцессу сборки.
4. Исходные данные для проектирования техпроцесса сборки.
5. Разработка техпроцесса сборки.
6. Слесарно-пригоночные работы при сборке.
7. Мойка деталей.
8. Классификация соединений деталей при сборке.
9. Сборка резьбовых соединений.
10. Сборка шпоночных соединений.
11. Сборка шлицевых соединений.
12. Сборка неподвижных конических соединений.
13. Сборка неподвижных соединений с применением пластмассовых компенсаторов.
14. Сборка соединений с гарантированным натягом.
15. Сборка соединений, получаемых развальцовыванием.
16. Сборка заклепочных соединений.
17. Сборка соединений сваркой, пайкой, склеиванием.
18. Сборка составных валов и муфт.
19. Сборка с подшипниками скольжения.
20. Сборка соединений с подшипниками качения.
21. Сборка соединений по плоским поверхностям.
22. Сборка подвижных конусных соединений.
23. Сборка зубчатых и червячных передач.
24. Балансировка деталей и узлов.
25. Контроль качества изделий.
26. Окраска сборочных единиц и изделий.
27. Консервация и упаковка изделий.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт агроинженерии и пищевых систем

Кафедра инжиниринга технологического оборудования

Контрольная работа  
допущена к защите:  
должность (звание), ученая степень  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Контрольная работа  
защищена  
должность (звание), ученая степень  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Контрольная работа № \_\_\_\_\_

по дисциплине  
«ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

Шифр студента \_\_\_\_\_  
Вариант № \_\_\_\_\_

Работу выполнил:  
студент гр. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Калининград – 20 \_\_\_\_\_

Локальный электронный методический материал

Елена Петровна Щербакова

## ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Редактор С. Кондрашова

Корректор Т. Звада

Уч.-изд. л. 7,2. Печ. л. 5,5.

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
236022, Калининград, Советский проспект, 1