

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ**

по дисциплинам  
**«Технология машиностроения отраслевая»,  
«Технология автоматизированного производства»,  
«Технология станкостроения»**  
для студентов машиностроительных  
специальностей **36 01 01 и 36 01 03**

УДК 621.9.02

Методические указания определяют тематику, состав, методику выполнения технологических и конструкторских разработок и правила оформления курсовых проектов. Указания предназначены для оказания помощи студентам машиностроительных специальностей в ходе курсового проектирования, а также могут быть полезны инженерно-техническим работникам машиностроительных предприятий.

Составители: О.А. Медведев, доцент, к.т.н.  
А.П. Акулич, доцент, к.т.н.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Курсовое проектирование по технологии машиностроения (станкостроения) и технологии автоматизированного производства является важным этапом технологической и конструкторской подготовки студентов специальности 36 01 01 и 36 01 03.

Целями курсового проектирования являются:

- углубление и закрепление теоретических знаний, полученных при изучении дисциплин технологического и конструкторского профиля и их комплексного использования;
- формирование навыков проектирования технологических процессов, технологической оснастки (в том числе с использованием САПР), использования источников нормативной и справочной информации;
- развитие творческой активности студентов, направленной на усовершенствование техпроцессов и оснастки для повышения их экономической эффективности.

Для достижения этих целей при проектировании решаются следующие задачи:

- выполнение критического анализа технологии производства изделия (на предприятии - базе конструкторско-технологической практики) и выявление путей ее усовершенствования;
- проектирование, логическое и расчетное обоснование более рационального варианта заготовки;
- проектирование, логическое и расчетное обоснование усовершенствованного технологического процесса изготовления изделия;
- проектирование, логическое и расчетное обоснование элементов технологического оснащения спроектированного техпроцесса.

## ТЕМАТИКА, СОСТАВ, ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

**Темами курсовых проектов** обычно являются: разработка единичного техпроцесса изготовления детали средней сложности; разработка типового или группового техпроцесса изготовления совокупности несложных деталей; разработка техпроцесса сборки изделий средней сложности. Темы проектов должны отражать реальные задачи, стоящие перед отечественным машиностроением и, в частности, перед предприятием - базой конструкторско-технологической практики, во время которой студентами производился сбор исходных данных для выполнения проектов.

Техпроцесс, принимаемый для усовершенствования в курсовом проекте, должен содержать не менее 10 технологических переходов, выполняемых различными методами обработки или сборки. В качестве объекта производства предпочтительно принимать изделия, изготавливаемые на предприятии в условиях серийного или массового производства, подробно описанного в технологической документации и оснащенного унифицированной или специальной технологической оснасткой.

Как правило, каждому студенту назначается индивидуальная тема проекта. Однако в случае выполнения существенных технологических и конструкторских разработок, имеющих практическую или научную значимость, возможно выполнение проекта по одной комплексной теме несколькими студентами. Набор тем курсовых проектов должен ежегодно полностью обновляться.

Примеры тем курсовых проектов:

«Техпроцесс изготовления вилки карданного вала ....»;

«Групповой техпроцесс механической обработки рычагов ...»

«Техпроцесс сборки раздаточной коробки ....»

Курсовой проект обычно состоит из **технологического, конструкторского и научно-исследовательского разделов**. В соответствии с конкретной темой в курсовом проекте может преобладать тот или иной раздел, но наличие первых двух разделов является обязательным. Как правило, в технологическом разделе проводится проектирование техпроцесса изготовления детали (деталей) или техпроцесса сборки изделия. В конструкторском разделе выполняется проектирование элементов технологического оснащения некоторых операций спроектированного техпроцесса (станочных или сборочных приспособлений, средств контроля, вспомогательных инструментов, средств механизации и автоматизации и др.). В научно-исследовательском разделе приводятся методики экспериментальных или теоретических исследований по проблемным вопросам, связанным с темой проекта, и результаты исследований. Конкретный состав разработок, подлежащих выполнению в каждом разделе проекта, приводится в задании на курсовое проектирование. Каждый раздел должен быть представлен в пояснительной записке и в графической части проекта.

**Пояснительная записка** должна содержать полную информацию о выполненных технологических, конструкторских, исследовательских разработках, включая их логические и расчетные обоснования. Содержание пояснительной записки должно соответствовать заданию на курсовое проектирование. Объем пояснительной записки обычно составляет 40...50 страниц машинописного текста (шрифт 12...14 pt), содержащего основные разделы проекта (включая формулы, таблицы, рисунки), к которым дополнительно брошюруются приложения (комплект документации на спроектированный техпроцесс, спецификации к сборочным чертежам и др.).

**Графическая часть** проекта обычно выполняется на 4...5 листах формата А1 и может включать (по усмотрению руководителя проекта): чертежи детали и заготовки (по 1 листу ф. А2); технологические эскизы (1...2 листа ф. А1); карта инструментальной наладки металлорежущего станка (1 лист ф. А1); размерный анализ детали или техпроцесса (1 лист ф. А2 или 1 лист ф. А1); сборочный чертеж или чертеж общего вида станочного или сборочного приспособления (1 лист ф. А1); сборочный чертеж или чертеж общего вида контрольного приспособления (1 лист ф. А1); результаты научных исследований (1 лист ф. А1).

**Исходными данными** для курсового проектирования являются: конструкторская документация на объект производства (чертеж детали и чертеж сборочной единицы, в которой работает деталь, - для проектирования техпроцесса мехобработки или сборочные чертежи изделия - для проектирования техпроцесса сборки); годовой объем выпуска объекта (объектов) производства; число рабочих смен за одни сутки; заводской техпроцесс изготовления изделия или техпроцесс-аналог; конструкторская документация на технологическую оснастку заводского техпроцесса. Основным источником этих данных являются материалы конструкторско-технологической практики, однако для повышения творческой активности студентов руководитель может изменить конструкцию объекта производства, объем его выпуска и другие данные.

## ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Тема проекта, исходные данные и состав разработок указываются в **задании на курсовое проектирование**. Оно выдается студенту руководителем в течение первой недели семестра, в котором выполняется проект, в соответствии с учебным планом. Пример задания на курсовое проектирование приведен в приложении Б. Исходные данные и формулировки намеченных разработок должны исключать простое копирование заводских технологических и конструкторских решений и не допускать разночтений. Руководитель проекта подписывает составленное задание и ставит дату его выдачи. Студент, подписывая задание, ставит дату принятия его к исполнению. После этого задание утверждается заведующим кафедрой. Получив задание, студент должен сразу же приступить к выполнению проекта, придерживаться графика проектирования и представлять соответствующий объем выполненных работ на каждую аттестацию в течение семестра. Руководитель на еженедельных консультациях помогает студенту овладеть методами проектирования, указывает источники необходимой информации, контролирует ход выполнения проекта с целью своевременного устранения ошибок и повышения качества проектирования. Студент должен представить руководителю законченный проект, соответствующий заданию на проектирование не позже чем за неделю до начала сессии. Срок сдачи готового курсового проекта указывается в задании на проектирование. В основных надписях пояснительной записки, спецификаций, листов графической части и в технологических картах должны быть подписи автора проекта. Принимая решение о допуске проекта к защите, руководитель подписывает пояснительную записку и листы графической части, что свидетельствует лишь о возможности их положительной оценки при защите проекта. Курсовой проект защищается студентом перед комиссией из 2-3 преподавателей, назначенных заведующим кафедрой, в число которых входит руководитель проекта. Оценка проекта выставляется коллегиально. При этом учитывается полнота, качество, оригинальность разработок и умение студента обосновывать принятые решения.

### СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

После **титального листа** (приложение А) и **задания на курсовое проектирование** в пояснительной записке приводится **аннотация** курсового проекта, которая содержит краткую информацию об исполнителе и составе проекта, о сущности выполненных разработок, их технической и экономической целесообразности. Далее следует **содержание**, то есть перечень разделов, подразделов, пунктов пояснительной записки и приложений к ней. После этого излагается **введение**, в котором указываются состояние и пути развития современного отечественного машиностроения и направления усовершенствования методик проектирования техпроцессов, актуальность темы курсового проекта, предполагаемые меры по усовершенствованию техпроцесса и оснастки и ожидаемый технико-экономический эффект. После введения следуют основные разделы пояснительной записки, состав разработок которых описан далее, а также заключение, список цитируемых источников, приложения.

# 1 РАЗРАБОТКА ТЕХПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

## 1.1 Назначение и конструкция детали

Указывается наименование и заводской шифр детали (объекта производства), а также наименование и марка машины и сборочной единицы, в которых эта деталь работает. Кратко описывается служебное назначение машины, сборочной единицы, а также детали и каждого ее конструктивного элемента. При этом элементы детали по назначению разделяют на 4 вида: **исполнительные поверхности** (с помощью которых деталь непосредственно выполняет свою функцию, то есть воспринимает и передает силы, ориентирует другие детали, направляет потоки жидкости и т.п.); **основные конструкторские базы** (поверхности, используемые для базирования данной детали в изделии); **вспомогательные конструкторские базы** (поверхности данной детали, используемые для базирования по ней других деталей); **свободные поверхности** (не имеют конкретных функций, а лишь придают определенную конструктивную форму детали). Исполнительные поверхности обычно имеют высокую точность и физико-механические свойства. Следует выявить элементы детали, работающие в наихудших условиях и лимитирующие ее надежность. За тем оценивают целесообразность выбора материала детали, возможность общего или местного улучшения его свойств, или замены. По справочнику [1] определяют химический состав, механические, физические, эксплуатационные свойства материала детали, необходимые для разработки техпроцесса.

## 1.2 Анализ технических условий на изготовление детали

Технические условия на изготовление детали указываются на ее чертеже текстом или условными обозначениями и в технических описаниях изделия. При этом необходимо расшифровать условные обозначения точности размеров, формы, расположения по поверхностям, шероховатости, твердости, параметров покрытий и т. п. Необходимо оценить соответствие состава и численных значений технических условий на изготовление детали условиям ее работы. Для этого их сравнивают с условиями на изготовление деталей-аналогов, с расчетными или опытными значениями [1, 2].

Далее выявляют наиболее важные и ответственные размеры детали, которые задают положение исполнительных элементов относительно конструкторских баз и конструкторских баз относительно друг друга. Если такой размер не указан на чертеже, то в партии деталей, годных по заданным чертежным размерам, он окажется замыкающим звеном поддетальной конструкторской размерной цепи, а составляющими звеньями будут чертежные размеры, образующие с ним кратчайший замкнутый контур. В таком случае точность взаимного положения конструкторских баз и исполнительных элементов относительно баз будет ниже точности, чертежных размеров, что ухудшит эксплуатационные показатели машины. Эти важные размеры могут отсутствовать на чертеже, если невозможно использовать их границы в качестве технологических баз при изготовлении детали или измерительных баз при ее контроле. В необоснованных случаях следует изменить простановку размеров.

Также размеры на чертеже детали должны отвечать следующим требованиям:

- минимум размеров для определения величины и положения всех элементов;
- отсутствие замкнутых контуров размеров;
- наличие по каждому координатному направлению лишь одного размера между обработанными резанием и необработанными поверхностями;
- измерительные базы размеров должны быть удобными для использования в качестве технологических баз.

### 1.3 Анализ технологичности конструкции детали

Анализ технологичности конструкции детали выполняется на основе конструкторской документации на деталь и изделие. **Технологичность** это совокупность свойств изделия, обеспечивающих минимум затрат на его изготовление, эксплуатацию и ремонт. Анализ технологичности детали выполняется с целью выявления элементов, обработка которых потребует больших затрат времени или материальных средств. Качественная оценка технологичности производится на основе сравнения конструкции элементов детали с рекомендуемыми в справочной литературе [3] технологичными аналогами с учетом типа предполагаемого производства. Количественная оценка выражается числовыми показателями, характеризующими степень технологичности [3, 4].

Качественную оценку технологичности детали рекомендуется проводить по следующим критериям:

- оценивается возможность получения для данной детали дешевой и одновременно приближенной к ней по форме и размерам заготовки. При этом учитывают сложность рабочих полостей литейной формы или штампа, количество и сложность поверхностей разъема формы или штампа, число требуемых рабочих ручьев штампа, количество и сложность стержней и т.п.;

- оценивается уровень трудоемкости и затрат на мехобработку для получения формы и точности детали с учетом доли криволинейных поверхностей от общего числа поверхностей, уровня унификации поверхностей и доступа к ним инструмента, наличия удобных для базирования и закрепления поверхностей, возможности соблюдения принципов совмещения и постоянства баз, необходимости точных и дорогостоящих методов обработки, возможности обработки на высоких режимах, затруднений из-за большой массы и габаритов и т. п.;

- оценивается уровень трудоемкости и затрат на контроль с учетом формы, точности и качества поверхностей детали;

- оцениваются уровень трудоемкости и затрат на получение предполагаемой заготовки с учетом технологических свойств материала детали (усадка, жидкотекучесть, склонность к трещинообразованию, пригару и угару, температура плавления, температура начала и концаковки-штамповки, уровень пластичности и т.п.);

- оцениваются уровень трудоемкости и затрат на резание с учетом технологических свойств материала детали (уровень относительной скорости резания, уровень сил резания, истирающее воздействие на инструмент, склонность к наростообразованию, склонность к наклепу, вероятность сливной стружки и т.п.) по данным [5].

Проанализировав степень соответствия конструкции детали всем критериям, формируют общую качественную оценку ее технологичности (хорошая, удовлетворительная, плохая).

### 1.4 Предварительное определение типа и формы организации производства

Знание типа планируемого производства необходимо для принятия соответствующих технологических решений на всех этапах проектирования техпроцесса. Объективным показателем типа производства по ГОСТ 3.1121-84 является значение коэффициента закрепления операций. Однако в начале проектирования его определить невозможно, так как неизвестно число операций в техпроцессе и число требуемых производственных рабочих. Предварительно тип производства можно определять по таблице 1 в зависимости от массы и годового объема выпуска детали.

Таблица 1 – Выбор типа производства

Масса детали, кг	Единичное	Годовой объем выпуска для типа производства, шт.			
		Мелкосерийное	Среднесерийное	Крупносерийное	Массовое
До 1	10	10...2000	2000...100000	100000...200000	Св. 200000
1до 2,5	10	10...1000	1000...50000	50000...100000	Св.100000
2,5...5	10	10...500	500...35000	35000...75000	Св.75000
5...10	10	10...300	300...25000	25000...50000	Св.50000
Св.10	10	10...200	200...10000	10000...25000	Св.25000

Для выбранного типа производства принимают форму его организации, под которой понимают определенный порядок выполнения операций техпроцесса во времени и пространстве. Обычно используют две формы организации техпроцессов мехобработки: поточную и групповую. **Поточная форма** характеризуется узкой специализацией рабочих мест, расположенных в линию, в строгом соответствии с последовательностью синхронизированных операций (длительность каждой операции равна или кратна такту выпуска деталей). Поточная форма используется в массовом и крупносерийном производстве в виде однономенклатурных и многономенклатурных поточных линий. **Групповая форма** характеризуется широким разнообразием несинхронизированных операций на каждом рабочем месте, переналадкой оборудования и оснастки при смене партий обрабатываемых деталей, расположением оборудования либо в соответствии с последовательностью операций для большинства деталей, либо по признаку однородности оборудования. Групповая форма характерна для серийного производства. Для крупносерийного производства возможны обе формы. Если она не указана в задании на проектирование, решение принимают после расчета норм времени, сравнивая среднюю трудоемкость операций и такт выпуска деталей.

### 1.5 Критический анализ заводского техпроцесса

Для проектирования более эффективного техпроцесса заводской техпроцесс подвергают критическому анализу, в ходе которого следует оценить рациональность и приемлемость его элементов для новых условий. Следует оценить рациональность:

- выбора заготовки (уровень коэффициента использования материала, стоимость, соответствие по производительности новому типу производства, обоснованность припусков и напусков);

- методов обработки (соответствие требуемой шероховатости, точности размеров, формы, расположения поверхностей, новому типу производства по производительности, оценить уровень унификации методов обработки);

- выбора баз (соблюдение принципов единства и постоянства баз, уровень погрешностей установки, степень сложности и универсальности приспособлений для реализации схем базирования, правильность использования черновых баз);

- технологического маршрута (оценить соответствие маршрута принципу последовательного формирования качества поверхностей, принципам решающей операции и технологической предпочтительности, обоснованность распределения технологических переходов по операциям и резервы концентрации переходов в операции, обоснованность хронологии операций мехобработки, термообработки и контроля);

- технологических операций (соответствие структуры операций новому типу производства, резервы совмещения технологических переходов по времени, правильность выбора оборудования по технологическим возможностям, точности, габаритам рабочей зоны, мощности, правильности выбора приспособлений, режущих, вспомогательных и контрольных инструментов, обоснованность режимов резания и норм времени, уровень загрузки станка по сравнению с нормативным).

При описании критического анализа приемлемые технологические решения отмечают кратко. Неприемлемые решения следует описать более подробно с объяснением их недостатков и наметить способы усовершенствования техпроцесса. Для наглядности результаты анализа сводят в таблицу (например, таблица 2). В ней приемлемые технологические решения отмечают знаком «+», а неприемлемые - знаком «-».



Таблица 2 – Критический анализ заводского техпроцесса

№ операции	Наименование и содержание операций	Оборудование	Приспособление	Режущий и вспомогательный инструмент	Средства контроля
005	Токарно-винторезная. Точить цилиндры в размеры: $\varnothing 25_{-0,1}^{+0,1}$ ; $30_{+0,1}^{+0,1}$ «-»	16К20 «-»	Патрон трехкулачковый «+»	Резец проходной 2102-0295 ГОСТ21151-75, Т15К6 «+»	Штангенциркуль ЩЦ-I-125-01 ГОСТ 166-89 «-»
010	Сверлильная с ЧПУ. Сверлить два отверстия $\varnothing 8_{-0,2}^{+0,2}$ «+»	2Р132 «+»	Специальное «+»	Сверло 2035-1009, Р6М5 Втулка К2.349.000 «+»	Калибр-пробка «+»

### 1.6 Выбор метода получения заготовки и разработка ее конструкции

Наилучшей заготовкой является та, при которой себестоимость готовой детали, равная сумме себестоимости заготовки и затрат на последующую обработку, минимальна. Применение простой по форме и дешёвой заготовки часто приводит к увеличению затрат на последующую обработку. Применяя более сложный и дорогой метод получения заготовки, можно приблизить ее по форме и размерам к готовой детали, повысить коэффициент использования материала (Ким) и сократить затраты на последующую обработку. Существующие методики расчета стоимости заготовок разных видов на основе известных масс детали и заготовки, данных прейскурантов (цены за единицу массы заготовок и стружки) позволяют рассчитать первое слагаемое себестоимости детали. Однако для определения второго слагаемого требуется предварительная разработка и нормирование техпроцессов мехобработки, что весьма трудоемко. Во многих случаях обоснованный выбор заготовки можно сделать без расчета себестоимости детали, путем сравнения вариантов заготовки по их стоимости и Ким. Этот коэффициент может служить качественной мерой себестоимости мехобработки заготовки.

В курсовом проекте выбор заготовки выполняется в следующем порядке:

1. Выбирается 2-3 технически приемлемых метода получения заготовки (одним из которых может быть заводской) с учетом технологических свойств материала, формы и размеров детали, типа производства. При этом следует учитывать рекомендации справочников [6, 7] по областям рационального применения методов получения заготовок и технические ограничения при их использовании.

2. Разрабатывается 2-3 варианта конструкции заготовок для каждого из принятых методов (определяется форма заготовки, положения разъемов штампа или литейной формы). Одним из вариантов может быть заводская заготовка.

3. Для принятых вариантов заготовки определяются классы точности, группы сложности, литейные или штамповочные уклоны, припуски, допуски [8, 9], формируются чертежи (эскизы) заготовок, рассчитываются их размеры, объёмы, массы и Ким. Для штучной заготовки в виде куска проката масса определяется с учетом доли всех отходов, возникающих при резке проката (концевые обрезки, резы отрезным инструментом, нескратность длины прутка по отношению к длине штучной заготовки).

4. Рассчитывается стоимость каждого варианта заготовки  $C_{31}$ ,  $C_{32}$ ,  $C_{33}$  по данным прейскурантов [4, 10].

5. Сравниваются варианты заготовки по стоимости и Ким.

Обычно чем больше КИМ, тем ниже себестоимость последующей обработки заготовки. При таком допущении первый вариант заготовки (из двух сравниваемых) будет обеспечивать

минимум стоимости детали, если соблюдается одно из трех условий: 1)  $C_{31} = C_{32}$  и  $KИМ_1 > KИМ_2$ ; 2)  $C_{31} < C_{32}$  и  $KИМ_1 = KИМ_2$ ; 3)  $C_{31} < C_{32}$  и  $KИМ_1 > KИМ_2$ . Однако в случае, когда  $C_{31} > C_{32}$  и  $KИМ_1 > KИМ_2$ , обоснованный выбор по этим параметрам сделать нельзя. В таком случае можно принять заготовку с наибольшим Ким, если он на 10...15% больше, чем у альтернативной заготовки, а в противном случае - заготовку с меньшей стоимостью.

## 1.7 Выбор методов обработки поверхностей детали

Методы обработки резанием выбирают для каждой поверхности детали отдельно в зависимости от её формы, требуемой точности и шероховатости, механических свойств материала детали, требуемого уровня производительности для принятого типа производства, точности и качества поверхности заготовки, а также с учетом достижения возможно более высокого уровня унификации методов обработки.

Сначала выбирают методы обработки, пригодные для получения требуемой формы и расположения конкретной поверхности с учетом рекомендаций [11, 12, 13].

Далее из них отбирают методы окончательной обработки по обеспечиваемой точности и качеству поверхности. Технологические допуски диаметров поверхностей вращения или размеров между чистовыми технологическими базами и обрабатываемыми поверхностями, а также технологические допуски формы и расположения поверхностей, шероховатость поверхностей, получаемые традиционными методами мехобработки в нормальных производственных условиях, приведены в таблицах средней экономической точности [11]. Руководствуясь такими таблицами, отбирают методы окончательной обработки, способные обеспечить допуски размеров, формы, расположения, шероховатость, физико-механические свойства, указанные на чертеже детали для данной поверхности, или расчетные технологические допуски.

$$\omega_d = \frac{TA_d}{K_{zm}}, \quad (1.1)$$

где  $\omega_d$  - расчетный технологический допуск параметра детали;  $TA_d$  - чертежный допуск параметра детали;  $K_{zm}=1,2...1,5$  коэффициент запаса точности.

В случае, когда метод обработки выбирается по точности размера детали определяющего взаимное расположение ее поверхностей и технологически выдерживаемого без единства измерительной и технологической баз, в качестве  $\omega_d$  следует принимать часть чертежного допуска этого размера, оставшуюся после вычета из него погрешности схемы базирования. Так как выбор технологических баз и определение погрешностей базирования еще не выполнен, то в этом случае предварительно можно выбрать метод обработки, обеспечивающий двукратный запас точности. После выбора технологических баз метод обработки следует уточнить на основе анализа технологических размерных цепей.

Точные методы обработки, как правило, требуют наличия предварительных методов, состав которых определяется с учетом точности и качества исходной заготовки на основе принципа последовательного уточнения. Все методы, принятые для мехобработки определенной поверхности заготовки, должны уменьшить рассеяние ее размера, отклонений формы, отклонений расположения до уровня соответствующих параметров детали, то есть обеспечить общий требуемый коэффициент уточнения для каждого такого параметра, определяемый по формуле:

$$K_n = \frac{\omega_3}{\omega_d}, \quad (1.2)$$

где  $\omega_3$  - поле рассеяния (технологический допуск) параметра заготовки;  $\omega_d$  - технологический допуск аналогичного параметра для партии готовых деталей.

При необходимости получить большое уточнение приходится применять последовательно несколько переходов (методов обработки) на одном или разных станках, каждый из которых обеспечит возможный для него коэффициент уточнения  $K_1, K_2, \dots, K_n$ . Выбранный состав методов черновой, промежуточной и окончательной обработки данной поверхности обеспечит требуемую точность параметра детали, если общий требуемый коэффициент уточнения будет меньше или равен произведению возможных коэффициентов уточнения всех  $n$  методов, принятых для обработки этой поверхности (общему возможному коэффициенту уточнения), то есть

$$\frac{\omega_s}{TA_0} \cdot K_{\text{зм}} \leq K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n \quad (1.3)$$

Технологические системы для реализации чистовых методов обработки из-за хрупкости инструментов, необходимости стабильных входных параметров точности полуфабрикатов и режимов резания обычно могут обеспечить меньшие уточнения, чем системы для черновой обработки. По данным [11], после однократного чернового перехода, выполненного одним из традиционных методов резания, точность геометрических параметров обычно улучшается на 2-3 качества или степени точности при обработке сталей и на 3-4 качества (степени) - при обработке чугунов и цветных сплавов. А после однократного промежуточного или окончательного прохода - на 1-2 качества при обработке сталей и на 2-3 качества при обработке чугунов и цветных сплавов. В ЕСДП для одного интервала номинальных размеров допуски в соседних качествах отличаются примерно в 1,6 раза. Поэтому при проектировании техпроцессов численные значения возможных коэффициентов уточнения можно принимать: при обработке сталей  $K_1 = 1,6^2 \dots 1,6^3$  и  $K_{2, \dots, n} = 1,6 \dots 1,6^2$ ; при обработке чугунов и цветных сплавов  $K_1 = 1,6^3 \dots 1,6^4$  и  $K_{2, \dots, n} = 1,6^2 \dots 1,6^3$  (индексы соответствуют номерам переходов для данной поверхности детали).

С учетом сказанного выбор промежуточных методов обработки производят следующим образом. Умножив технологический допуск детали на возможный коэффициент уточнения окончательного метода обработки, получают технологический допуск, который необходимо получить на предшествующем переходе, и по таблицам точности определяют метод обработки на этом переходе. Затем аналогично определяют технологические допуски еще более ранних методов обработки и сами эти методы, до тех пор, пока последний рассчитанный технологический допуск окажется равным или превысит технологический допуск заготовки. Аналогично следует выбрать состав методов обработки для обеспечения технологических допусков формы и расположения поверхности детали.

Если для достижения точности размера, точности формы, точности расположения данной поверхности требуются разные составы методов обработки, то следует принять наибольший по числу методов (технологических переходов) состав, обеспечивающий наиболее жесткий параметр качества.

Если какой-либо технологический допуск можно обеспечить разными методами, то из них выбирают метод, наиболее соответствующий по уровню производительности и себестоимости принятому типу производства. Для крупносерийного и массового производства целесообразно принимать более производительные методы, выполняемые дорогостоящим специальным мерным инструментом, а для остальных типов производства чаще принимают менее производительные, но более дешевые методы обработки. Если необходимо выбрать один из методов, имеющих одинаковые уровни точности, производительности, стоимости, то следует предпочесть метод, аналогичный выбранным ранее для данной или другой поверхности, то есть стремиться к унификации методов. Это позволит сократить разнообразие необходимых инструментов, приспособлений, станков и будет способствовать концентрации операций.

При больших напусках число черновых проходов определяют делением напуска на максимально допустимую по паспорту предполагаемого станка глубину резания.

При выборе состава методов обработки отдельной поверхности и детали в целом следует стремиться к соблюдению **принципа кратчайших путей**, в соответствие с которым, лучшим считается состав, включающий минимально достаточное число методов (технологических проходов).

Методы упрочняющей термической и химико-термической обработки выбирают с учетом материала детали и требований чертежа по объемной или поверхностной твердости и прочности на основе рекомендаций [1]. При этом следует учесть, что такая обработка ухудшает точность поверхности на 1 квалитет или степень точности ( $K_{\tau} \approx 1,6^1$ ).

В курсовом проекте для двух наиболее точных поверхностей детали следует привести подробное логическое обоснование выбора методов обработки на основе ранее изложенных правил и проверить этот выбор по условию (1.3).

Для наглядности результаты выбора методов обработки всех элементов детали следует свести в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты выбора методов обработки.

№ п/п	Поверхность, размеры	Квалитет (степень) точности	Параметр шероховатости	Методы обработки
1	Цилиндр наружный Ø50	8	Ra2.5	Точение черновое, точение получистовое, точение чистовое, шлифование центровое врезное
2	Плоскость шириной 40 мм с размером от базы 65 мм	13	Rz40	Однократное фрезерование торцевой фрезой

### 1.8 Выбор и обоснование технологических баз

Выбор баз - это один из важнейших этапов проектирования техпроцесса. От выбора баз зависит получаемая точность взаимного расположения поверхностей детали, последовательность обработки поверхностей, возможная степень концентрации технологических операций, сложность конструкций требуемых приспособлений и их разнообразие, удобство и трудоемкость установки заготовок и т.п.

Целесообразно выбор технологических баз проводить в порядке обратном хронологии их использования, то есть базы для окончательных методов обработки выбирают в первую очередь, затем - базы для промежуточной обработки, и в последнюю очередь - базы для черновой обработки. Такой порядок объясняется тем, что обоснованно выбрать базы можно, если известно, какие поверхности от них надо обработать и какие размеры выдержать, а такими поверхностями часто являются базы для последующей обработки.

**Выбор чистовых технологических баз** для обработки деталей на настроенных станках в серийном и массовом производстве проводят с учетом следующих правил.

1) Необходимо соблюдать **принцип совмещения (единства) баз**, то есть в качестве технологической базы для выполнения чистового перехода следует принимать одну из двух границ (измерительную базу) получаемого чертежного размера, определяющего положение обрабатываемой поверхности, или границу допуска ее расположения. Эта граница должна формироваться на одном из предшествующих установов (операций). При таком базировании технологический допуск чертежного размера равен только погрешности технологической системы, используемой для этого чистового перехода. При отступлении от принципа совмещения баз технологический допуск чертежного размера будет складываться из технологического допуска размера между технологической базой

и обрабатываемой поверхностью (погрешность технологической системы) и технологического допуска размера между технологической и измерительной базой (погрешность схемы базирования), если обе границы чертежного размера не получают одним инструментом, или набором инструментов. Указанные размеры отсчитываются в направлении чертежного размера от той технологической базы, которая ориентирует заготовку в его направлении. Аналогично выбирают базы по другим координатным направлениям, в которых на данном переходе выдерживают подобные чертежные размеры и получают комплект технологических баз, обеспечивающий (в общем случае) ориентацию заготовки по шести координатам. Без совмещения баз для достижения точности чертежных размеров могут потребоваться более точные и дорогие методы обработки.

Еще более важным является совмещение баз для обеспечения точности угловых положений поверхностей (перпендикулярности, параллельности, перекосов осей). Это объясняется тем, что нормируемый уровень точности угловых размеров обычно выше уровня точности линейных размеров, и тем, что на многих станках нет точной настройки угловых положений рабочих органов и невозможно настроить станок на получение точности угловых размеров методом пробных проходов.

**2) Необходимо соблюдать принцип постоянства технологических баз**, то есть, стремиться к тому, чтобы использовать один и тот же комплект технологических баз при обработке большинства поверхностей детали. Всякая смена технологических баз увеличивает погрешность взаимного расположения поверхностей, обработанных от разных баз на величину погрешности положения этих баз друг от друга.

В ряде случаев возникает потребность отступить от принципа совмещения баз или постоянства баз ради того, чтобы упростить конструкцию станочного приспособления, снизить трудоемкость установки заготовки в приспособлении, повысить уровень концентрации технологических переходов в операции, обеспечить доступ инструментов к обеим границам выдерживаемого размера и т.п. Однако при этом точность чертежных размеров должна быть обеспечена. Анализ приемлемости такого базирования по точности чертежных размеров осуществляется на основе построения и решения поддетальных технологических размерных цепей (смотри подраздел 1.13).

**3) Желательно базировать заготовку по наиболее точным поверхностям**, для уменьшения погрешности базирования из-за неточности размера, формы и шероховатости технологической базы.

**4) Желательно базировать заготовку по поверхностям, расположенным ближе к местам приложения сил резания**, чтобы уменьшить ее деформации.

**5) Следует выбирать базы с учетом обеспечения доступа инструмента** ко всем поверхностям, намеченным для обработки при данном базировании, создавая условия для максимальной концентрации переходов в операции. При этом погрешность взаимного расположения данных поверхностей не зависит от погрешности установки, а определяется только погрешностью технологической системы, применяемой для их обработки. Кроме повышения точности взаимного расположения поверхностей, применение этого правила позволит сократить затраты на переустановки и межоперационное транспортирование заготовки, сократить необходимое количество оборудования и оснастки.

**6) Следует выбирать базы с учетом обеспечения быстрой и удобной установки** заготовки в приспособление, по возможности используя **неполное базирование**, если в некоторых направлениях размеры при обработке не выдерживаются.

Когда эти правила невозможно выполнить одновременно, их приоритет выбирают исходя из конкретных обстоятельств, при условии достижения требуемой точности.

Такие же правила используют при выборе промежуточных технологических баз.

При выборе черновых баз (поверхностей заготовки, используемых для базирования для выполнения первых переходов мехобработки) следует учитывать правила выбора чистовых баз и еще ряд дополнительных правил:

- 1) **черновую базу можно использовать только один раз** для базирования заготовки в определенном координатном направлении. В противном случае большая погрешность базирования по грубой базе приведет к большой погрешности взаимного расположения поверхностей, обработанных при разных установках от этой базы. Поэтому **при первом базировании по черной базе следует обработать чистовую или промежуточную базу** для последующего базирования полуфабриката в том же координатном направлении;
- 2) в качестве черновых баз следует выбирать поверхности, относительно которых удобно обработать чистовые или промежуточные базы принятым методом;
- 3) в качестве черновых баз необходимо применять наиболее точные поверхности заготовки без следов прибылей, питателей, облоя и т.п.;
- 4) **в качестве черновой базы следует выбирать ту поверхность заготовки, после обработки которой формируется наиболее точная и ответственная поверхность детали.** Это обеспечит равномерность припуска при обработке данной поверхности от чистовых баз и будет способствовать получению высокой точности этой поверхности.
- 5) **в качестве черновой базы желательно принимать поверхность заготовки с минимальным припуском,** чтобы при последующей обработке обеспечить равномерность этого припуска и избежать необработанных участков на данной поверхности заготовки;
- 6) в качестве черновых баз желательно принимать поверхности заготовки, которые не обрабатываются резанием. Это позволит обеспечить правильное положение системы обрабатываемых поверхностей относительно необрабатываемых.

Приоритет этих правил устанавливается с учетом конкретных условий обработки.

Творчески применяя данные правила, следует выбрать и обосновать минимально достаточное количество комплектов технологических баз при выполнении всех переходов принятыми методами обработки, начиная с выбора чистовых баз.

Результаты выбора баз для всех методов обработки поверхностей детали оформляются в виде схем базирования и закрепления с учетом рекомендаций [14]. Число опорных точек, приложенных к каждой базе, должно соответствовать числу координат, по которым база ориентирует деталь (числу лишаемых степеней свободы) в соответствии с ГОСТ 21495-76. Места приложения и направления сил зажима выбирают с учетом обеспечения плотного контакта баз с установочными элементами приспособления (силового замыкания), исключения произвольной смены баз, исключения больших деформаций заготовки, обеспечения доступа инструмента к обрабатываемым поверхностям. После этого намечают состав установочных и зажимных элементов, необходимый для реализации каждой схемы базирования и закрепления. Условные обозначения зажимов на схемах должны соответствовать ГОСТ 3.1107-81.

### **1.9 Выбор и обоснование технологического маршрута обработки детали**

На этом этапе определяется состав и последовательность выполнения технологических операций, а также предварительно выбираются типы или модели оборудования для выполнения отдельных операций.

При разработке маршрута необходимо сначала расположить все принятые технологические переходы (методы обработки) в хронологическом порядке и затем распределить их по отдельным технологическим операциям.

Последовательность выполнения технологических переходов определяется с учетом следующих принципов.

**Техпроцесс разделяют на несколько стадий (черновая, получистовая, чистовая и отделочная)** с целью снижения потерь на брак, рационального использования оборудования разных классов точности, мощности, степени износа и рационального использования рабочих разной квалификации.

На черновой и получистовой стадии необходимо обеспечить подготовку промежуточных или чистовых баз, с максимальной производительностью снять основные части напусков и припусков, предварительно обеспечить взаимное расположение поверхностей детали; подготовить благоприятные условия для чистовых методов обработки. Значительный уровень и нестабильность сил и температур, возникающих в процессе черновой обработки, не позволяют обеспечить высокую точность обработки. Станки, используемые для черновой обработки, быстрее изнашиваются и теряют точность, поэтому не рекомендуется их использовать для чистовой обработки (за исключением многоцелевых станков с ЧПУ). При снятии больших напусков и припусков происходит значительное перераспределение внутренних напряжений, следствием которого является постепенное коробление полуфабриката. Это вызывает необходимость паузы между черновой и чистовой стадией (старение), особенно для точных деталей нежесткой конструкции. Для сокращения времени перераспределения внутренних напряжений после черновой обработки ответственных и дорогостоящих деталей приходится вводить операцию искусственного старения в виде рекристаллизационного отжига. При отсутствии старения коробление может продолжаться во время и после чистовой обработки, и его нельзя будет исправить из-за малости оставшихся припусков. На черновой и получистовой стадии целесообразно использовать мощные многоинструментные автоматизированные станки нормального класса точности, обеспечивающие высокую концентрацию операций и управляемые рабочими невысокой квалификации.

Цель чистовой обработки – достижение требуемой точности размеров, формы, взаимного расположения и шероховатости поверхностей детали. Ее рекомендуется выполнять на новых станках повышенной точности. Упрочняющая термообработка может прерывать чистовую стадию или выполняться после нее.

Особо высокую точность и качество отдельных поверхностей формируют на отделочной стадии в конце техпроцесса, чтобы исключить их повреждение при переустановках и межоперационном транспортировании и создать благоприятные условия для отделки. Для выполнения отделки используется специализированное оборудование, реализующее дифференцированные операции и управляемое высококвалифицированными рабочими. В обоснованных случаях некоторые стадии могут отсутствовать.

В соответствии с **принципом технологической предпочтительности** желательна такая очередность операций или переходов, при которой обеспечиваются наилучшие условия выполнения каждого из них. Для использования этого принципа необходимо уяснить условия выполнения переходов и операций, их влияние на ранее достигнутое качество, производительность и качество последующей обработки.

**Решающая операция** (на которой вероятен брак) должна выполняться на каждой стадии как можно раньше, чтобы снизить потери времени и средств на брак.

Руководствуясь указанными принципами, сначала распределяют все переходы мехобработки по стадиям, между которыми вводятся термообработка, мойка, операции технического контроля. В пределах каждой стадии обработки последовательность выполнения переходов обычно выбирается с учетом следующих правил:

- в первую очередь следует подготовить комплект технологических баз для последующей обработки;

- сразу после подготовки баз следует обрабатывать поверхности, с которых снимается наибольшее припуск и напуски. Это позволит обеспечить более полное перераспределение внутренних напряжений перед чистовой или отделочной обработкой, а также раньше выявить внутренние дефекты материала заготовки;

- далее обработку поверхностей детали следует вести в последовательности обратной их точности (чем точнее, тем позже), учитывая хронологию появления принятых технологических баз;

- предыдущие операции должны создавать благоприятные условия для последующих операций и улучшать точность и качество обрабатываемых поверхностей;

- последующие операции не должны ухудшать точность и качество ранее полученных поверхностей;

- обработка мелких, легкоповреждаемых элементов детали (резьбы, отверстия, шпоночные пазы, расточки и т. п.) производится по возможности ближе к концу чистовой стадии;

- если деталь подвергается упрочняющей термообработке (закалке, химико-термической обработке и т.п.), то её выполняют после завершения обработки лезвийными инструментами, как правило, перед чистовой абразивной обработкой. Выполнение упрочняющей термообработки после всех переходов мехобработки возможно, если исключены значительные коробления детали;

- контрольные операции, как правило, следует выполнять после каждой стадии обработки, после операций, на которых вероятен брак, а также перед сложными и дорогостоящими операциями.

После определения хронологического порядка выполнения технологических переходов следует распределить их по отдельным технологическим операциям. При этом предварительно намечают классификационную группу, тип и модель металлорежущего оборудования для каждой операции. С учетом конструкции детали, требуемой производительности, уровня универсальности и автоматизации оборудования, стадии обработки операции разрабатывают по принципу дифференциации (один переход в операции) или по принципу концентрации переходов. Концентрация переходов предпочтительна, так как она обеспечивает следующие преимущества: 1) возможность повышения производительности обработки за счет совмещения переходов во времени, за счет сокращения количества переустановок детали, за счет сокращения межоперационного транспортирования; 2) сокращение количества оборудования, оснастки, рабочих и производственных площадей; 3) повышение точности взаимного расположения поверхностей деталей, обработанных за один установ.

Недостатками концентрации являются: 1) сложность и дороговизна применяемого оборудования, высокая трудоёмкость его переналадки; 2) трудность обеспечения высокой точности размеров и формы отдельной поверхности из-за отступления от оптимальных условий выполнения каждого перехода. Поэтому в чистовую или отделочную операцию обычно включают один - два типовых перехода, чтобы обеспечить для них оптимальные условия.

Для операций, относящихся к черновой и получистовой стадиям обработки, желательно добиться максимально возможной концентрации переходов, учитывая возможности предполагаемого оборудования (ёмкость инструментального магазина, интервал позиционирования поворотного стола, число рабочих шпинделей, число и расположение суппортов, мощность приводов и т. п.). При этом в одну технологическую операцию можно включать переходы, обладающие общим набором следующих признаков: принадлежность к одной стадии обработки; одинаковость метода обработки или набора формообразующих движений, позволяющая применять одинаковое оборудование, вспомогательные и режущие инструменты; общность схемы базирования и закрепления, позволяющая использовать одно приспособление.



При разработке маршрута можно ориентироваться на типовые маршруты обработки деталей [15, 16]

**Выбор металлорежущего оборудования** для отдельной операции проводят руководствуясь следующими правилами.

Выбор начинают с определения **классификационной группы**, к которой относится станок. Она должна соответствовать преобладающему на данной операции методу обработки. Затем определяют **тип станка** в пределах группы с учетом следующих требований: **1)** количество и расположение рабочих органов станка, состав формообразующих, делительных, установочных движений, наличие инструментального магазина и устройств смены инструментов должно соответствовать выделенному составу переходов; **2)** тип управления станком (ручное, ЧПУ, с жесткими программносителями) и степень автоматизации обработки должны соответствовать типу производства; **3)** тип системы ЧПУ (позиционная, контурная, комбинированная), класс системы ЧПУ (NC, CNC, HNC и др.) должны соответствовать форме и расположению обрабатываемых поверхностей. Далее выбирают конкретную **модель станка** принятого типа, учитывая: **1)** соответствие габаритов детали габаритам рабочей зоны станка (без большого запаса); **2)** соответствие емкости инструментального магазина составу переходов в операции; **3)** соответствие класса точности станка и требуемой точности обработки детали (по дискретности управляющих импульсов, точности позиционирования, биению шпинделя, точности фиксации инструмента и т. п.); **4)** соответствие диапазонов регулирования частот вращения, скоростей поступательных подач и мощности приводов станка расчетным режимам резания; **5)** стоимость станка при равных или достаточных технологических возможностях сравниваемых станков.

Необходимые для выбора станков технические данные приводятся в паспортах станков, каталогах, справочниках [15, 17]. Далее модели станков могут уточняться.

На этом этапе могут корректироваться ранее принятые методы обработки и технологические базы с учетом рациональной концентрации операций и технологических возможностей принятого оборудования, так как этапы 1.7, 1.8, 1.9 тесно связаны.

Обоснование и результаты выбора хронологии технологических переходов, их распределения по операциям, выбора оборудования описываются лаконично в логической последовательности. Нумерация операций производится арабскими цифрами по порядку их выполнения, начиная с номера 5 или 10, с шагом в 5 или 10 номеров соответственно (5, 10, 15..., или 10, 20, 30...). Наименование каждой операции должно соответствовать типу применяемого оборудования, например: «фрезерно-центровальная», «токарная с ЧПУ», «вертикально-сверлильная», «агрегатная».

### 1.10 Разработка технологических операций

В этом подразделе решаются следующие задачи: выбор и обоснование структур операций; выбор и обоснование средств технологического оснащения (станочных приспособлений, режущих и вспомогательных инструментов, средств измерения и контроля, средств механизации и автоматизации, СОЖ); уточнение выбора оборудования и оснастки; разработка операционных эскизов, карт наладки станков, разработка управляющих программ для станков с ЧПУ; заполнение операционных карт, карт контроля и другой технологической документации.

Под структурой операции понимают порядок выполнения технологических и вспомогательных переходов, их распределение по установам и позициям.

**Структуры концентрированных операций** различают: по числу одновременно обрабатываемых заготовок (одноместные и многоместные); по числу применяемых инструментов (одноинструментные и многоинструментные); по порядку выполнения технологических переходов (последовательные, параллельные, параллельно - последовательные). Наибольшую производительность обеспечивают параллельные и параллельно-последовательные многоинструментные, многоместные структуры. Однако для их реализации требуется сложное специализированное оборудование и оснастка, которые экономически целесообразно использовать лишь в крупносерийном и массовом производстве. В серийном производстве предпочтительнее последовательная структура операций, реализуемая на станках с ЧПУ. На выбор структуры также влияют габариты, масса, жесткость, точность детали. Малые габариты детали ограничивают возможность многоинструментной параллельной обработки. Большие габариты и масса детали затрудняют многоместную обработку. При малой жесткости и высокой точности детали обычно неприемлема многоинструментная параллельная обработка, так как она сопровождается большими силовыми нагрузками. В таком случае может потребоваться снижение режимов резания, следствием чего будет понижение производительности. В поточном производстве уровень концентрации операций следует выбирать с учетом обеспечения их синхронизации. Слишком высокая концентрация операций может привести к увеличению затрат на обслуживание необходимого сложного оборудования. С учетом принятых структур операций корректируют технологический маршрут и модели оборудования.

**Выбор станочного приспособления** начинают с определения системы (УБП, УСП, СРП, УНП, СНП, НСП), к которой оно должно относиться. Сначала выясняют возможность применения УБП (треххулачковые и четыреххулачковые патроны, планшайбы, центры, поводковые патроны, машинные тиски, магнитные плиты и патроны и т.д.), так как они стандартизованы, производятся централизованно и поэтому дешевы.

Если применение УБП нерационально или технически невозможно, то систему станочных приспособлений выбирают по графику зон рентабельности систем станочных приспособлений в соответствии с ГОСТ 14.305-73 [17].

В случае выбора системы УСП или СРП, состоящих из комплекта нормализованных деталей и сборочных единиц, с учетом модели станка, схемы базирования и закрепления заготовки выбирают состав и компоновку приспособления, используя альбомы типовых компоновок [18, 19, 20].

В случае выбора УНП, СНП, НСП следует кратко описать его предполагаемую конструкцию (схема базирования и закрепления, состав установочных и зажимных элементов, требования к конструкции).

**Выбор режущего инструмента** начинают с обоснования вида, формы и размеров его рабочей части, с учетом формы и размеров обрабатываемой поверхности, принятого метода обработки, доступа инструмента к обрабатываемой поверхности, структуры операции, желательного направления силы резания и направления схода стружки. Предпочтение следует отдавать стандартным и нормализованным инструментам с неперетачиваемыми пластинами инструментального материала [15, 17,]. Применение специального инструмента возможно в условиях серийного, крупносерийного и массового производства, но требует технико-экономического обоснования. Затем выбирается марка инструментального материала с учетом материала детали, метода обработки и условий резания. Далее по стандартам и справочникам [15, 17] определяют форму и размеры державки или хвостовика с учетом размеров гнезд шпинделей, резцедержателей, оправок и т.п.

Конструкции многих **вспомогательных инструментов** (оправки, инструментальные патроны, переходные втулки и др.) стандартизованы и выбираются по соответствующим стандартам [15, 17]. При этом вспомогательные конструкторские базы выбираемого вспомогательного инструмента должны по форме и размерам соответствовать установочным элементам режущего инструмента, а основные конструкторские базы должны соответствовать гнездам рабочих органов станка. При необходимости использования специального вспомогательного инструмента следует обосновать и кратко описать особенность его конструкции и его преимущества.

**Выбор средств контроля**, используемых станочником, начинают с обоснования организационно-технической формы контроля. При выборочном контроле систематично проверяется определенная доля объектов производства (например, каждый десятый). Такой контроль выполняется станочниками или контролерами при стабильно работающем техпроцессе, с целью снижения затрат на контроль. Сплошной контроль применяется во время или после операций, на которых вероятен брак и для оценки особо ответственных параметров детали. Контроль может осуществляться путем измерения действительного значения параметра и сравнения его с численными значениями допустимых пределов или без измерения, когда контролируемый параметр непосредственно сравнивается с физическими моделями допустимых пределов в виде калибров, шаблонов, электроконтактных датчиков. Способ контроля выбирают с учетом вида контролируемого параметра, типа производства, организационно-технической формы контроля. В единичном и мелкосерийном производстве при выборочном и сплошном контроле обычно используют универсальные измерительные средства (при возможности реализации требуемой схемы измерения) обеспечивающие невысокую производительность контроля. В серийном производстве универсальные измерительные средства можно применять при выборочном контроле, а специальные контрольные средства (калибры, шаблоны, контрольные приспособления) - при сплошном контроле. В массовом производстве при выборочном и сплошном контроле целесообразно использовать механизированные и автоматизированные специальные контрольные устройства.

Затем выбирается конкретная конструкция (модель) контрольного средства, с учетом требуемой схемы измерения параметра детали и его точности. Типовые схемы измерения геометрических параметров деталей и средства для их реализации приведены в [15, 22, 23, 24]. Применение дешевого измерительного средства с большой погрешностью измерения может привести к ошибочному заключению о годности детали. С другой стороны, применение точного, но дорогого и сложного в эксплуатации средства измерения приведет к увеличению себестоимости детали. Результат измерения признается достоверным, если погрешность измерения  $\Delta_i$  не превышает допустимого значения  $[\Delta_i]$ , принимаемого по ГОСТ 8.051-81 в зависимости от допуска контролируемого параметра [11, 23]. Погрешности измерения универсальными измерительными средствами приведены в [17, 23]. Экономически целесообразно, чтобы разность между  $[\Delta_i]$  и  $\Delta_i$  была минимальна.

**Выбор смазочно-охлаждающих средств** ведут по рекомендациям [25].

Для одной или нескольких (по указанию руководителя) наиболее концентрированных операций техпроцесса следует подробно изложить обоснование и результаты выбора ее структуры и технологической оснастки. Результаты разработки всех операций или нескольких операций (по указанию руководителя) описываются в операционных картах техпроцесса (ГОСТ 3.1404-86) и картах операционных эскизов (ГОСТ 3.1105-84).

## 1. 11 Определение припусков расчетно-аналитическим методом

Этим методом следует рассчитать припуски и размеры, полученные на всех переходах и построить схемы расположения припусков и допусков для двух наиболее точных поверхностей детали разной формы. Методика расчета припусков и необходимая нормативная информация приведена в [4, 10].

### 1.12 Определение режимов резания

Для двух технологических переходов, выполняемых разными методами резания, подробно описать определение режимов резания. Одним из них должен быть переход, для которого следует спроектировать указанное в задании станочное приспособление. При этом глубина резания принимается равной максимальному припуску на переход, скорость подачи (на зуб, на оборот) и нормативная стойкость определяются по таблицам нормативов [17, 26, 27]. Расчет поправочных коэффициентов, расчет скорости резания, сил (моментов) резания выполняется по эмпирическим формулам [17]. Частоты вращения инструмента или заготовки, скорости подачи корректируются по паспорту станка. Рассчитывается мощность резания [17] и проверяется возможность реализации обработки с рассчитанными режимами на принятом станке. Если расчетная мощность превышает мощность привода станка, уменьшают подачу или скорость резания или заменяют станок на более мощный. Для определения длины рабочего хода рассчитываются длина врезания и перебега инструмента [15]. Основное время на переходы определяют по формулам, приведенным в [15]. Общие режимы резания для нескольких параллельно работающих инструментов определяют исходя из наихудших условий работы одного из них (лимитирующего инструмента).

Для остальных переходов режимы резания определяют по нормативам [26, 27] или справочникам [28, 29]. Результаты определения режимов резания следует свести в таблицу. В строках таблицы указать элементы режима резания отдельно для каждого перехода каждой операции, распределив их по столбцам: глубина резания  $t$ , мм; подача  $s_z$ , мм/зуб или  $s_o$ , мм/об; стойкость  $T$ , мин; скорость резания  $V$ , м/мин (м/с); частота вращения  $n$ , об/мин, минутная подача  $s_m$ , мм/мин; мощность резания  $N$ , кВт; длина рабочего хода  $L$ , мм; основное время  $T_o$ , мин.

### 1.13 Выявление и расчет технологической размерной цепи

Выявление и решение подетальных технологических размерных цепей выполняется с целью оценки приемлемости спроектированного техпроцесса для достижения точности чертежных размеров детали и определения технологических размеров, на которые настраиваются инструменты и станки перед обработкой партии деталей и которые указываются на операционных эскизах с предельными отклонениями. Технологическая размерная цепь отражает функциональную зависимость чертежного размера детали, являющегося в ней замыкающим звеном, от технологических размеров, которые в ней являются составляющими звеньями, но зависящими от других размеров. Технологическими размерами обычно являются: размер между технологической базой и обрабатываемой поверхностью; размер между поверхностями, одновременно обрабатываемыми набором инструментов; размер между поверхностями, обрабатываемыми последовательно одним инструментом на станке с ЧПУ и задаваемый в программе приращением управляемой координаты, а также размеры, полученные при изготовлении заготовки. Технологическая цепь возникает, если чертежный размер детали формируется окончательно без совмещения измерительной и технологической базы на одном из переходов

техпроцесса. В этом случае ни одна из двух границ чертежного размера не будет иметь стабильного положения в пределах партии деталей, так как не контактирует с неизменными опорами приспособления. Стабильной будет технологическая база, ориентирующая деталь в направлении чертежного размера и ее следует принять за начало отсчета положений границ этого размера. Тогда чертежный размер будет являться разностью координат двух его границ, отсчитываемых от технологической базы. Одной координатой является технологический размер между технологической базой и обрабатываемой поверхностью, а второй координатой является размер между технологической базой и границей чертежного размера, которая получена на одном из предшествующих переходов и является его измерительной базой. Таким образом, чертежный размер оказывается замыкающим звеном в трехзвенной размерной цепи. Если составляющий размер этой цепи, заключенный между измерительной и технологической базой, на одном из предшествующих переходов выдерживается без совмещения баз, то он сам является функцией двух размеров, выявляемых аналогично для условий этого перехода. Он может быть заменен в первой трехзвенной цепи на два своих аргумента и эта цепь станет четырехзвенной. Идя, таким образом, к началу техпроцесса, можно выявить все технологические размеры, от которых в данном техпроцессе зависит чертежный размер детали. Аналогично можно выявлять размерные цепи для припусков. Выявлять размерные цепи можно комплексно для всех чертежных размеров детали и припусков, заданных в определенном координатном направлении, используя метод графов [30].

Спроектированный техпроцесс обеспечит точность чертежного размера, если его нормированный допуск будет больше технологического допуска, равного сумме технологических допусков составляющих звеньев выявленной цепи. В противном случае техпроцесс подлежит корректировке (изменение схем базирования, применение более точных методов обработки, других структур операций). Допуски технологических размеров можно определить по таблицам точности [11], для соответствующих переходов, или по стандартам, регламентирующим точность заготовок [8, 9]. При проведении более точных расчетов каждый технологический допуск составляющего размера может быть определен аналитически, как сумма элементарных погрешностей механической обработки. Методика их расчета приведена в [11].

Если техпроцесс приемлем по точности чертежного размера, то следует определить предельные размеры составляющих звеньев методом максимума-минимума [24]. Предельные отклонения составляющих звеньев (кроме одного корректируемого) назначаются с учетом их технологических допусков (на увеличивающие звенья - как для основных отверстий; на уменьшающие - как для основных валов). Предельные отклонения корректируемого звена рассчитывают из условия замкнутости цепи (среднее отклонение замыкающего звена равно алгебраической сумме средних отклонений всех составляющих звеньев) и технологического допуска этого звена.

### 1.14 Определение технических норм времени на операции

В массовом производстве затраты времени на выполнение одной операции над одним объектом производства определяются нормой штучного времени

$$T_{шт} = T_o + T_e + T_{тех.обс.} + T_{орг.обс.} + T_{отд.}, \text{ МИН.}, \quad (1.4)$$

где  $T_o$  - основное время, затрачиваемое на выполнение основных технологических переходов;  $T_e$  - время на вспомогательные переходы, выполняемые рабочим и оборудованием и необходимые для подготовки и обслуживания основных переходов;  $T_{тех.обс.}$  и  $T_{орг.обс.}$  время на техническое и организационное обслуживание рабочего места, соответственно;  $T_{отд.}$  - время на отдых и личные потребности.

Первые два слагаемых определяют затраты времени на действия, повторяющиеся при обработке каждой детали. Так как обслуживание рабочего места и отдых происходят реже выпуска деталей, то остальные слагаемые являются долями соответствующих затрат времени, приходящимися на одну деталь.

В серийном производстве затраты времени на выполнение одной операции над одним объектом производства задаются нормой штучно-калькуляционного времени

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз} / m, \text{ мин.}, \quad (1.5)$$

где  $T_{пз}$  - подготовительно-заключительное время, затрачиваемое на действия рабочих по подготовке рабочего места для обработки партии одинаковых деталей и на действия после обработки партии, приводящие рабочее место к исходному состоянию;  $m$  - число деталей в партии.

Норма времени на отдельную операцию определяется в следующем порядке.

**1) Определяется основное время** как сумма несомещааемых времен всех основных технологических переходов операции.

**2) Определяется вспомогательное время.** Для этого необходимо выявить все элементы вспомогательных переходов, условия их выполнения и отдельно определить затраты времени на элементы по нормативам [31, 32, 33]. Для правильного нормирования необходимо знать организацию рабочего места (способ и место промежуточного складирования заготовок и деталей, расстояние и способ перемещения деталей от места складирования в рабочую зону, способ базирования и закрепления заготовки в приспособлении, устройство органов управления станка, технические характеристики станка и др.). Вспомогательное время затрачивается на следующие переходы, выполняемые рабочим и оборудованием: перемещение заготовки к рабочему месту; перемещение заготовки на рабочем месте из зоны хранения в промежуточное положение (обычно перекрывается машинным временем); перемещение заготовки из зоны хранения в зону установки; установка заготовки в приспособление; закрепление заготовки; управление станком; вспомогательные переходы, выполняемые станком в автоматическом цикле (смена позиций рабочих органов, смена инструментов, быстрые перемещения инструментов между деталью и исходным положением, изменение величины и направления формообразующих движений, технологические паузы и др.); открепление детали; снятие детали; перемещение детали из зоны снятия в промежуточное положение; контроль детали (возможно перекрытие машинным временем); перемещение детали в зону хранения (перекрывается машинным временем).

Вспомогательное время на операцию определяется как сумма несомещааемых друг с другом и с основным временем составляющих, затрачиваемых на отдельные элементы вспомогательных переходов. При нормировании операций, выполняемых на станках с автоматическим циклом работы, отдельно складывают время на элементы, входящие в автоматический цикл, получая машинно-вспомогательное время  $T_{мс}$  и время на элементы, не входящие в этот цикл, получая ручное вспомогательное время  $T_e$  и отдельно определяют время автоматического цикла  $T_{ца} = T_o + T_{мс}$ .

**3) Определяется оперативное время**

$$T_{оп} = T_o + T_e \text{ или } T_{оп} = T_{ца} + T_e \quad (1.6)$$

**4) Определяется время технического обслуживания** рабочего места, которое затрачивается на смену затупившегося инструмента, или время па периодическую правку шлифовального круга, на подналадку станка в процессе работы, на периодическую уборку стружки в процессе работы (кроме времени очистки приспособления, учетного во вспомогательном времени).

Для массового производства

$$T_{\text{тех.обс}} = T_o \cdot a_{\text{тех}} / 100 \quad (1.7)$$

Для серийного производства

$$T_{\text{тех.обс}} = T_{\text{оп}} \cdot a_{\text{тех}} / 100, \quad (1.8)$$

где  $a_{\text{тех}}$  - доля времени технического обслуживания в процентах от основного или оперативного времени, определяемая по нормативам [31, 32, 33].

**5) Определяется время организационного обслуживания** рабочего места, которое затрачивается на осмотр и опробование оборудования в процессе работы, раскладку инструмента в начале и его уборку в конце смены, смазку и чистку станка в течение смены, получение инструмента мастера или бригадира в течение смены, уборку рабочего места в конце смены.

Для всех типов производства

$$T_{\text{орг.обс}} = T_{\text{оп}} \cdot a_{\text{орг}} / 100, \quad (1.9)$$

где  $a_{\text{орг}}$  - доля времени организационного обслуживания в процентах от оперативного времени, определяемая по нормативам.

**6) Определяется время на отдых и личные потребности** в процентах от оперативного времени

$$T_{\text{отд}} = T_{\text{оп}} \cdot a_{\text{отд}} / 100 \quad (1.10)$$

**7) Определяется подготовительно-заключительное время** (для серийного производства), затрачиваемое на: получение наряда, чертежа, технологической документации, программноносителя, режущего, вспомогательного и контрольного инструмента, приспособления, заготовок до начала обработки и их сдачу после обработки партии деталей; ознакомление с документацией, осмотр заготовок; инструктаж мастера; установку и снятие приспособления, режущих и вспомогательных инструментов; установку программноносителя и снятие его; настройку исходного положения инструментов; пробную обработку детали по программе с учетом времени на ее контроль, на определение и введение коррекции положений инструмента, на приемы управления станком. Составляющие подготовительно-заключительного времени определяются по нормативам [32, 33] и суммируются аналогично составляющим вспомогательного времени.

**8) Определяется штучное время** на операцию

Для массового производства

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_e + T_o \cdot a_{\text{тех}} / 100 + (a_{\text{орг}} + a_{\text{отд}}) \cdot (T_o + T_e) / 100 \quad (1.11)$$

Для серийного производства

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} \cdot [1 + (a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{отд}}) / 100] \quad (1.12)$$

**9) Определяется штучно-калькуляционное время** (для серийного производства) по формуле (1.5). Для этого надо определить объем партии деталей

$$m = N \cdot a / \Phi, \quad (1.13)$$

где  $N$  - годовой объем выпуска деталей;  $a$  - число дней запаса деталей для сборки (для крупных деталей  $a = 2-3$ , для средних деталей  $a = 3 \dots 6$ , для мелких деталей  $a = 6 \dots 10$ );  $\Phi$  - число рабочих дней в году.

Расчетный объем партии обычно корректируют приравнивая к норме сменной выработки, емкости тары, гальванической ванны, печи для термообработки.

Для одной операции техпроцесса определение нормы времени следует описать подробно. Результаты нормирования всех операций сводятся в таблицу. В строках таблицы указать составляющие штучного или штучно-калькуляционного времени, распределив их по столбцам:  $T_o, T_a, T_{\text{оп}}, T_{\text{тех.обс}}, T_{\text{орг.обс}}, T_{\text{отд.}}, T_{\text{шт.}}, T_{\text{п.}}, T_{\text{шт.к}}$ .

### 1.15 Определение количества оборудования и его загрузки

Количество и загрузку оборудования, требуемого для выполнения операций, определяют в следующем порядке.

1) Расчетное количество оборудования (рабочих мест) для выполнения  $l$ -той операции

$$P_{ip} = \frac{T_{шт.к.l} \cdot N}{60 \cdot F \cdot K_в}; \quad (1.14)$$

где  $T_{шт.к.l}$  - штучно- калькуляционное время (для массового производства использовать штучное время  $T_{шт}$ )  $l$ -той операции, мин;  $N$  - годовой объем выпуска данной детали;  $F = 4055$  -годовой фонд времени работы оборудования в две смены, час;  $K_в = 1, 1, \dots, 1, 3$  - коэффициент выполнения норм времени.

При известной программе выпуска для многономенклатурного производства расчетное число рабочих мест (оборудования) для выполнения  $l$ -той операции определяют по формуле

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^m T_{шт.к.l,j} \cdot N_j}{60 \cdot F \cdot K_в}, \quad (1.15)$$

где  $T_{шт.к.l,j}$  - штучно-калькуляционное время  $l$ -той операции над  $j$ -той деталью;  $N_j$  - объем выпуска в год  $j$ -той детали,  $m$  - число наименований деталей в номенклатуре.

2) Принятое количество оборудования (рабочих мест)  $P_{in}$  получают, округляя расчетное число  $P_{ip}$  до ближайшего большего целого.

3) Коэффициент загрузки  $i$ -го рабочего места выполнением  $l$ -той операции в течение года, при объеме выпуска заданной детали

$$\eta_{ip} = \frac{P_{ip}}{P_{in}}; \quad (1.16)$$

Расчетный коэффициент загрузки  $\eta_{ip}$  не должен превышать нормативного значения  $\eta_n$  ( $\eta_n = 0, 8 \dots 0,85$  - для мелкосерийного и серийного производства,  $\eta_n = 0,75 \dots 0,8$  - для крупносерийного производства,  $\eta_n = 0,65 \dots 0,75$  - для массового производства).

Пункты 1), 2), 3) выполняют для всех операций техпроцесса.

При получении малой загрузки оборудования на некоторых однотипных операциях, следует, по возможности, выполнять их на одном станке (после его переналадки) или объединить эти операции в одну, применив более универсальное оборудование. Расчетное и принятое количество оборудования, коэффициент загрузки оборудования для каждой операции следует свести в таблицу.

### 1.16 Уточнение типа и формы организации производства

В соответствии с ГОСТ 3.1119-83 тип производства характеризуется коэффициентом закрепления операций

$$K_{з.о} = \frac{\sum \Pi_i}{\sum R_i}; \quad (1.17)$$

где  $\sum \Pi_i$  - суммарное число различных операций над одной или разными деталями, выполняемых в данном производственном подразделении за одну смену в течение планового периода;  $\sum R_i$  - явочное число основных производственных рабочих в одной смене в данном подразделении.



ГОСТ 3.1108-74 устанавливает следующие значения  $K_{3.0}$  для типов производства:

$K_{3.0}=1$  – для массового;  $K_{3.0} = 1 \dots 10$  – для крупносерийного;  $K_{3.0} = 10 \dots 20$  – для средне-серийного;  $K_{3.0} = 20 \dots 40$  – для мелкосерийного;  $K_{3.0} > 40$  – для единичного.

Расчет  $K_{3.0}$  для уточнения типа производства выполняется исходя из ранее определенного числа рабочих мест и коэффициентов их загрузки в следующем порядке.

1) Если  $\eta_{ip}$  получится меньше нормативного, то  $i$ -тое рабочее место можно использовать для выполнения аналогичных операций над данной или другими деталями. При условии, что эти операции имеют ту же трудоемкость, приближенно определяют общее число операций, которые можно выполнить в течение года на  $i$ -том рабочем месте

$$\Pi_i = \frac{\eta_{in}}{\eta_{ip}}; \quad (1.18)$$

Пункт 1) выполняют для всех операций техпроцесса. Значения  $\Pi_i$  сводят в таблицу вместе с коэффициентами загрузки и количеством оборудования.

2) Общее количество операций для всех принятых рабочих мест  $\sum \Pi_i$  определяют сложением расчетных значений  $\Pi_i$ .

3) Явочное число основных производственных рабочих приближенно принимают равным суммарному числу принятых рабочих мест

$$\sum R_i = \sum P_{in}; \quad (1.19)$$

4) Рассчитывают  $K_{3.0}$  по (1.17) и уточняют тип производства.

Для крупносерийного и массового производства, когда возможна групповая и поточная форма организации техпроцесса, для ее уточнения следует определить такт производства

$$\tau = \frac{60F}{N} \quad (1.20)$$

и среднее штучное  $T_{шт.ср}$  или среднее штучно-калькуляционное  $T_{шт.к.ср}$  время, а также средний коэффициент загрузки станков

$$\eta_{ср} = \frac{T_{шт.к.ср}}{\tau \cdot K_{3.0}}; \quad (1.21)$$

Если  $\eta_{ср} < 0.65$ , применение однономенклатурной поточной линии нецелесообразно и подбирают однотипные детали для обработки на многономенклатурной поточной линии или принимают групповую форму организации производства.

## **2 РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ**

### **2.1 Расчет и проектирование станочного приспособления**

#### **2.1.1 Задание на проектирование станочного приспособления**

Разработка технического задания на проектирование необходима для тщательного уяснения исходных данных, назначения, условий работы, требуемых эксплуатационных показателей проектируемого приспособления, состава разрабатываемой конструкторской документации. В соответствии с ГОСТ 15.001-73 задание на проектирование станочного приспособления должно содержать:

1. Наименование и назначение приспособления (функции на оснащаемой операции, оборудование, получаемые поверхности и их размеры).
2. Исходные данные для проектирования (технологическая документация на операцию, тип производства и годовой объем выпуска детали, система, к которой относится приспособление, паспортные данные станка, руководящая информация, документация на приспособления-аналоги).
3. Данные о заготовке, поступающей на обработку в приспособлении (форма, масса, размеры, допуски размеров, формы и расположения, состояние и шероховатость поверхностей, физико-механические свойства).
4. Параметры получаемых поверхностей (форма и расположение, размеры, допуски размеров, формы, расположения, шероховатость).
5. Схема базирования и закрепления заготовки.
6. Число заготовок устанавливаемых в приспособлении.
7. Сведения о применяемых режущих инструментах (вид, материал, размеры, точность).
8. Режимы и силы резания (точки приложения, направления, величины).
9. Источник силы зажима заготовки (ручной зажим не допускается).
10. Время установки заготовки в приспособлении.
11. Схема базирования и закрепления приспособления на станке.
12. Требования по технике безопасности и обслуживанию приспособления.

#### **2.1.2 Эскизная проработка станочного приспособления**

Сначала следует обосновать состав требуемых установочных и зажимных элементов приспособления, состав элементов, направляющих режущие инструменты или определяющих их положение перед рабочим ходом, и нанести их на эскиз, расположив относительно контура заготовки согласно схеме базирования и закрепления. Установочные элементы следует располагать так, чтобы их реакции компенсировали силы резания. Положение прижимов должно быть таким, чтобы силы зажима не могли сдвигать, опрокидывать, изгибать заготовку, для чего их следует располагать против жестких установочных элементов, имеющих наибольшую площадь контакта с заготовкой. Направления сил зажима по возможности должны совпадать с силой тяжести заготовки и силами резания.

Затем следует выбрать и обосновать источник силы привода зажима (пневмоцилиндр, гидроцилиндр, электродвигатель, электромагниты, вращающиеся грузы и др.) и минимально необходимый состав механизмов, преобразующих и передающих усилие от источника к зажимам. Так же следует выбрать и обосновать состав необходимых вспо-

могательных устройств (поворотных, делительных, фиксирующих, выталкивающих и т.п.) При этом можно использовать альбомы стандартизованных деталей и узлов приспособлений [19, 20]. При эскизном прочерчивании надо определить наиболее компактное размещение всех элементов и механизмов приспособления относительно заготовки, друг друга, и рабочих органов станка, чтобы обеспечить высокую жесткость и малую металлоемкость корпуса и наметить его контуры. Для удобства и безопасности установки и снятия заготовки следует предусмотреть зоны, свободные от элементов приспособления. По составленному эскизу предварительно определяют размеры элементов приспособления (габариты установочных элементов, плечи рычагов, углы клиньев, длины винтов и т.п.) и длины перемещений подвижных частей. Описывая эскизную проработку приспособления, следует обосновать принимаемые конструктивные решения. Используя нормативы [31, 32, 33], с учетом конкретной конструкции проработанного приспособления определить время на установку-снятие заготовки и сравнить его с заданным. Если найденное время больше заданного, скорректировать конструкцию приспособления.

### 2.1.3 Расчет сил зажима заготовки

На основе компоновки приспособления составляется **схема для расчета сил зажима**. Схема должна иметь столько видов (проекций), чтобы давать представление о составе и направлении всех сил, действующих на заготовку при обработке в приспособлении. Каждый вид схемы должен содержать: контур заготовки с изображением обрабатываемых поверхностей, технологических бах, поверхностей, к которым приложены силы зажима; упрощенное изображение жестких и подводимых опор, зажимных элементов; изображение моментов сил и векторов сил резания, приложенных в наиболее удаленных от опор точках обрабатываемых поверхностей, когда потеря равновесия заготовки наиболее вероятна; изображение векторов сил зажима, реакций опор и сил трения, сил тяжести (для крупных заготовок); расстояния от точек приложения сил до центров возможных поворотов заготовки при потере равновесия.

Силы зажима обычно определяют из **шести уравнений статического равновесия заготовки** под действием всех сил и моментов (три уравнения равновесия сил, действующих вдоль трех координатных осей и три уравнения равновесия моментов сил, действующих в плоскостях, перпендикулярных этим осям). Все силы и моменты целесообразно разделить на две группы: активные, стремящиеся сдвинуть или повернуть заготовку из положения достигнутого при базировании (силы резания, сила тяжести); силы сопротивления, противодействующие смещениям заготовки (силы зажима, нормальные реакции опор, силы трения).

С целью снижения трудоемкости расчетов сил зажима, при обеспечении их достоверности, можно ограничиться рассмотрением условий равновесия только в тех направлениях, в которых потеря равновесия заготовки наиболее вероятна при данном составе сил. Эти направления следует выявить путем анализа расчетной схемы, учитывая величины активных сил. Уравнения равновесия составляют на основе данных расчетной схемы, эскиза приспособления и технического задания на проектирование.

Для более надежного равновесия заготовки выражение для силы зажима, полученное из уравнений равновесия, следует умножить на коэффициент запаса [34, 35].

Для часто встречающихся типовых схем установки заготовки и действия сил резания и зажима в справочниках [34, 35] приведены формулы для расчета сил зажима. Использовать соответствующие формулы можно, если расчетная схема, составленная для проектируемого приспособления, соответствует схеме в справочнике.

Далее, исходя из рассчитанной силы зажима, необходимо определить требуемую **силу ведущего элемента привода зажима** (источника силы), учитывая **передаточные отношения всех механизмов**, находящихся между зажимом и источником силы. Формулы для расчета передаточных отношений типовых механизмов приспособлений приведены в [34]. Общее передаточное отношение привода зажима равно произведению передаточных отношений всех его механизмов. Поделив силу зажима на общее передаточное отношение привода можно определить требуемую силу ведущего элемента (пневмоцилиндра, гидроцилиндра и т.п.). По найденной силе следует рассчитать **характерный параметр источника силы** (например, диаметр пневмо- или гидроцилиндра по формулам, приведенным в [34, 35], вес инерционных грузов, мощность электродвигателя, параметры пружины) и по значению этого параметра выбрать его стандартную модель [1]. При отсутствии подходящего стандартного источника силы следует разработать нестандартную его конструкцию.

### 2.1.4 Расчет станочного приспособления на прочность

Перед расчетом на прочность следует выбрать материалы деталей приспособления и методы их упрочнения в соответствии с условиями их работы и рекомендациями [1, 34]. Для расчета на прочность следует выбрать наиболее нагруженную **уязвимую деталь или соединение** деталей приспособления, размеры которого конструктивно ограничены. Если в ранее выполненных силовых расчетах силы, действующие на эту деталь, не определены, то следует составить соответствующую расчетную схему и определить их. По методикам, изложенным в [1], выполнить проектный расчет детали или соединения на прочность, определив его требуемые размеры.

### 2.1.5 Расчет станочного приспособления на точность

Требуемая точность приспособления определяется исходя из допусков размеров детали, получаемых при обработке в этом приспособлении. Рекомендуется следующий порядок расчета приспособления на точность.

1) Выявить размер детали, получаемый при обработке в проектируемом приспособлении, точность которого напрямую, а не через другие погрешности (например, погрешность деформаций, погрешность базирования) зависит от точности изготовления приспособления. При этом следует учесть, что точность изготовления приспособления напрямую влияет лишь на размеры, определяющие расположение обрабатываемых в нем поверхностей детали, относительно обработанных ранее на других операциях. Если таких размеров несколько, то из них следует выбрать более точный размер или размер, систематическую погрешность которого трудно компенсировать настройкой инструмента. Допуск этого размера детали  $\delta$ , принятый по чертежу или из операционной карты, будет использоваться в расчете погрешности изготовления приспособления.

2) Выявить конкретный размер собранного приспособления, точность которого напрямую влияет на выявленный ранее размер детали. Он должен быть заключен между исполнительной поверхностью установочного элемента (или нескольких элементов), контактирующей с базой заготовки, и основной конструкторской базой корпуса приспособления, контактирующей со станком, и иметь то же направление, что и выбранный размер детали. Допустимую погрешность изготовления приспособления по этому размеру и следует определить при дальнейших расчетах.

3) Определить составляющие общей погрешности обработки, возникающие в направлении выявленного размера детали (кроме погрешности изготовления приспособления), по методике, изложенной в [34, 35]:  $\varepsilon_{\delta}$  - погрешность базирования заготовки;  $\varepsilon_z$  - погрешность закрепления заготовки;  $\varepsilon_y$  - погрешность установки приспособления на станке;  $\varepsilon_u$  - погрешность износа исполнительных поверхностей установочных элементов приспособления;  $\varepsilon_{\text{ин}}$  - погрешность перекоса инструмента из-за неточности направляющих элементов приспособления (если есть кондукторные втулки, копиры, и они влияют на выдерживаемый размер детали);  $\omega$  - технологический допуск получаемого размера детали, соответствующий средней экономической точности.

4) Рассчитать допустимую погрешность изготовления приспособления как разность между допуском размера детали и общей погрешностью обработки

$$\varepsilon_{\text{доп}} = \delta - \kappa_1 \cdot \sqrt{(\kappa_2 \cdot \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_u^2 + \varepsilon_{\text{ин}}^2 + (\kappa_3 \cdot \omega)^2}, \quad (2.1)$$

где  $\kappa_1 = 1 \dots 1,2$  – коэффициент, учитывающий отклонение распределения общей погрешности от нормального распределения;  $\kappa_2 = 0,8 \dots 0,85$  – коэффициент, учитывающий уменьшение погрешности базирования при работе на настроенных станках;  $\kappa_3 = 0,6 \dots 0,8$  – коэффициент, учитывающий долю погрешностей, не зависящих от приспособления в общей погрешности обработки.

Рассчитанная погрешность приспособления должна быть указана в технических условиях на его изготовление при разработке сборочного чертежа.

5) По эскизу приспособления выявить сборочную конструкторскую размерную цепь, используя методику [36]. В этой цепи замыкающим звеном (а при выявлении - исходным звеном) будет принятый в п. 2) размер приспособления в сборе.

6) Выполнить проектный расчет сборочной конструкторской размерной цепи методом максимума - минимума при ограничении разнообразия допусков составляющих звеньев способом равноточных допусков [24]. Рассчитанные допуски составляющих звеньев можно использовать при разработке чертежей деталей приспособления. Пункты 5), 6) выполнять по указанию руководителя.

### 2.1.6 Разработка сборочного чертежа станочного приспособления

Разработку ведут с учетом результатов предыдущих этапов в следующем порядке.

1) Вычертить необходимое число контуров проекций заготовки тонкими линиями, предусмотрев вокруг них место для изображения элементов приспособления. Контур главной проекции должен соответствовать положению заготовки на станке.

2) Изобразить используемые на операции режущие инструменты тонкими линиями в исходном или конечном положении (при наличии элементов для их направления).

3) Вокруг каждого контура заготовки вычертить установочные, зажимные и вспомогательные элементы, а также элементы, направляющие режущие инструменты или служащие для настройки их рабочих положений.

4) Изобразить механизмы силового привода и источник силы. Если используется стандартный источник силы, то изображают только его внешние очертания.

5) Вычертить корпус приспособления, объединяя им все элементы приспособления и предусмотрев на нем элементы базирования и закрепления на станке (плоскость основания, направляющие шпонки, пальцы, проушины и т.п.)

6) Изобразить разрезы и сечения, необходимые для уяснения конструкции механизмов привода и других элементов приспособления.

7) Проставить размеры сопряжений деталей с посадками, размеры присоединительных элементов к станку и заготовке с предельными отклонениями, контрольные и координирующие размеры с предельными отклонениями, габаритные размеры.

8) Все детали отметить позициями в соответствии со спецификацией.

9) Выше основной надписи (штампа) чертежа записать основные технические характеристики приспособления (модель станка, на котором оно используется, диапазон размеров баз заготовок, силу зажима, давление воздуха или масла и т.п.). Под техническими характеристиками записать технические условия на сборку приспособления (точность параметров и периодичность ее проверки, способ установки и регулирования положения на станке, периодичность очистки и замены изнашиваемых элементов, периодичность и марку смазки).

В этом разделе пояснительной записки следует описать конструкторские решения, окончательно принятые при проектировании станочного приспособления.

## 2.2 Расчет и проектирование контрольно-измерительного приспособления

Проектирование контрольного приспособления включает, в основном, те же этапы, что и проектирование станочного приспособления, за исключением расчетов на прочность, которые можно не проводить из-за малости сил зажима и измерения.

### 2.2.1 Задание на проектирование контрольно-измерительного приспособления

Задание на проектирование должно содержать те же сведения, что и задание в подразделе 2.1.1, кроме пунктов: 5, 7, 8, 11. Дополнительно следует указать организационно-техническую форму контроля, метод измерения (прямой, косвенный, непосредственный, сравнения с мерой), время контроля, температурный режим.

### 2.2.2 Эскизная проработка контрольно-измерительного приспособления

С учетом вида контролируемого параметра и формы детали принимается одна из типовых схем измерения [22, 23, 24] или разрабатывается индивидуальная схема, которая отражает базирование и закрепление детали, ее расположение относительно первичного измерительного преобразователя, их относительные движения при измерении, предельные положения контролируемого элемента детали и измерительного наконечника преобразователя. **Схема измерения** должна как можно полнее отвечать следующим требованиям: базировать деталь при измерении следует по измерительной базе контролируемого параметра; движения детали при измерении должны соответствовать ее движениям при эксплуатации; направление измерения должно соответствовать направлению основной силы, действующей на деталь при эксплуатации; форма измерительного наконечника должна совпадать с формой поверхности детали, сопрягаемой при эксплуатации с измеряемой поверхностью.

При эскизной проработке конструкции приспособления наиболее важно обеспечить условия, при которых погрешность измерения не превысит максимально допустимого значения. Для этого следует применять установочные элементы, позволяющие обеспечить **стабильное положение измерительной базы контролируемого параметра относительно измерительного преобразователя** и горизонта, и перемещения детали в соответствии со схемой измерения. Для удобства установки детали следует предусмотреть

реть зоны, свободные от элементов приспособления. Зажимные элементы (если зажим необходим) желателен располагать напротив установочных элементов для избегания деформаций детали. Они должны обеспечить минимально достаточный зажим для сохранения стабильного положения детали и не препятствовать ее требуемому перемещению. Часто вместо зажима можно использовать вес детали.

Положение детали в приспособлении должно обеспечить **доступ первичного измерительного преобразователя** ко второй границе контролируемого параметра, которая не фиксируется установочными элементами. Преобразователь вырабатывает измерительный сигнал в форме, удобной для визуального восприятия, передачи, дальнейшего преобразования. Обычно в неавтоматизированных приспособлениях в качестве преобразователя используют стандартные индикаторные головки [17, 23,]. В автоматизированных приспособлениях используют датчики на основе электроконтактных, пневматических, индуктивных, емкостных преобразователей [23, 24]. Кроме преобразователя, стандартные датчики могут содержать измерительный шток, рычаг с наконечником, передающий механизм, элементы настройки. Первичный преобразователь выбирают по паспортной погрешности, диапазону измерения, чувствительности, быстродействию, габаритам, измерительному усилию, условиям эксплуатации. При предварительном выборе следует принять преобразователь (датчик), паспортная погрешность которого не превышает 30% допуска контролируемого параметра, подходящий по диапазону измерений и другим условиям измерения.

**Форму измерительного наконечника** штока преобразователя следует выбирать исходя из того, какой геометрический параметр требуется измерить. Для контроля размера и положения поверхности детали наконечник должен иметь большую измерительную поверхность, обычно плоскую, для простоты изготовления. Это позволяет снизить требования к точности расположения наконечника относительно линии измерения. При контроле погрешностей формы без учета шероховатости применяют наконечник со сферической измерительной поверхностью, диаметр которой должен быть больше шага микронеровностей. При измерении параметров шероховатости радиус сферического наконечника должен быть минимальным (игла).

В случае если контролируемой границей является нематериальный объект (ось поверхности, ось симметрии, точка пересечения осей и т.п.), надо предусмотреть элемент приспособления для ее материализации (оправку, призму и т.п.) или выполнять косвенные измерения (по измеренным положениям материальных объектов рассчитывать положение нематериального). Если доступ первичного преобразователя к указанной границе или совмещение направления измерения с направлением контролируемого параметра затруднены, то следует предусмотреть **передаточные элементы** (рычаги, удлинители и др.). При этом могут потребоваться дополнительные **элементы (пружины), создающие измерительное усилие**, которое не должно вызывать существенных контактных деформаций между деталью, передаточным элементом, измерительным наконечником и деформаций установочного узла преобразователя. Первоначально размеры пружин выбирают минимально возможными, ориентируясь на размеры штока преобразователя. При определении положения передаточных элементов следует придерживаться принципа Аббе, принципа однотипных рычагов (синусных или тангенсных), принципа равных углов [24]. Далее прорабатывается **узел установки преобразователя** с учетом расположения, формы, размеров его присоединительных элементов, диапазона

регулировки его положений и измерительных перемещений. при обеспечении высокой жесткости. При эскизном прочерчивании надо определить наиболее **компактное размещение всех элементов** и механизмов приспособления относительно друг друга, чтобы обеспечить высокую жесткость и малую металлоемкость корпуса и наметить его контуры. По составленному эскизу предварительно определяют размеры элементов приспособления и длины перемещений подвижных частей. Описывая эскизную проработку приспособления, следует **обосновать принимаемые конструктивные решения**.

После эскизной проработки приспособления следует подробно описать настройку приспособления на измерение, установку детали в приспособление, движение детали и измерительного преобразователя при измерении, снятие показаний, расчет измеряемого параметра (при косвенных измерениях).

### 2.2.3 Силовой расчет контрольно-измерительного приспособления

Целью расчета является определение требуемых сил зажима детали, для сохранения ее равновесия в процессе измерения под действием измерительного усилия, сил зажима, силы тяжести, реакций опор, сил трения. Порядок силового расчета в основном соответствует порядку, изложенному в подразделе 2.1.3., но вместо сил резания учитывают измерительную силу. Ее определяют по паспорту измерительного преобразователя или размерам принятой стандартной пружины передаточного элемента [1]. Сначала целесообразно проверить достаточность одной силы тяжести для равновесия детали. Если равновесие будет обеспечено, то зажим можно исключить. В противном случае следует составить расчетную схему с участием силы зажима, рассчитать ее величину (без коэффициента запаса) и выбрать ее источник (например, пружину) и, при необходимости, механизмы, преобразующие силу. По результатам расчета следует скорректировать конструкцию приспособления.

### 2.2.4 Расчет контрольно-измерительного приспособления на точность

Расчет сводится к определению суммарной погрешности измерения и сравнению ее с максимально допустимым значением и выполняется в следующем порядке.

1) Выявить случайные составляющие суммарной погрешности измерения, возникающие при работе проектируемого приспособления в направлении измерения, которые невозможно компенсировать при его настройке. В общем случае такими погрешностями могут быть:  $\varepsilon_6$  - погрешность базирования (сумма погрешности положения измерительной базы контролируемого параметра от базы, используемой при измерении и погрешности из-за неточности размера, формы, шероховатости базы);  $\varepsilon_3$  - погрешность закрепления детали из-за нестабильности сил зажима;  $\varepsilon_{ny}$  - погрешность положения установочных элементов во время измерительных движений;  $\varepsilon_n$  - погрешность износа установочных элементов за период между настройками приспособления;  $\varepsilon_n$  - погрешность передачи измерительного сигнала от измеряемой поверхности до измерительного преобразователя;  $\varepsilon_c$  - погрешность деформаций от измерительной силы;  $\varepsilon_m$  - погрешность температурных деформаций;  $\varepsilon_{up}$  - погрешность измерительного преобразователя;  $\varepsilon_o$  - погрешность отсчета показаний.

2) Рассчитать максимально возможные значения выявленных погрешностей:

-  $\varepsilon_6$  рассчитывают на основе геометрических построений, если измерительная база в процессе измерения может изменять свое положение, или принимают равной погрешности формы (или шероховатости базы);



- $\varepsilon_3$  определяют как поле рассеивания контактных деформаций исходя из диапазона колебаний сил зажима [11];
- $\varepsilon_{ly}$  определяют из геометрических построений;
- $\varepsilon_u$  определяют по методике [34, 35], как для станочных приспособлений;
- $\varepsilon_n$  определяют из геометрических построений с учетом формы рабочих поверхностей рычагов и удлинителей, посадок их осей и направляющих;
- $\varepsilon_c$  определяют аналогично  $\varepsilon_3$ , по диапазону колебаний измерительной силы преобразователя [23], или характеристикам пружины [1];
- $\varepsilon_{un}$  определяют по паспорту преобразователя или справочникам [17, 23, 24];
- $\varepsilon_o$  можно определить как погрешность параллакса, при направлении взгляда контролера перпендикулярном шкале преобразователя, и принять равной половине цены деления этой шкалы;
- $\varepsilon_m$  можно принимать приближенно по рекомендациям [17], в размере 10% от суммы предыдущих погрешностей, из-за отсутствия методик ее расчета.

3) Рассчитать суммарную погрешность измерения

$$E_u = \sqrt{\varepsilon_o^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{ly}^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_c^2 + \varepsilon_m^2 + \varepsilon_{un}^2 + \varepsilon_u^2} \quad (2.2)$$

4) Определить максимально допустимую погрешность измерения  $[E_u]$  по ГОСТ 8.051-81 в зависимости от допуска контролируемого параметра [11, 23, 24].

5) Проверить проектируемое приспособление на достоверность результатов измерения по выполнению условия  $E_u \leq [E_u]$ . При выполнении условия сделать вывод о приемлемости конструкции приспособления по точности измерений.

6) Если условие  $E_u \leq [E_u]$  не соблюдается, скорректировать конструкцию приспособления и повторить расчет  $E_u$ .

### 2.2.5 Разработка сборочного чертежа контрольно-измерительного приспособления

Разработка выполняется согласно пункту 2.1.6. с учетом результатов предшествующих расчетов. В этом подразделе следует описать конструкторские решения, окончательно принятые при проектировании станочного приспособления.

### 2.3 Разработка инструментальных наладок станков

Инструментальная наладка - это совокупность режущих и вспомогательных инструментов, необходимых для выполнения технологической операции и установленных на рабочих органах станка. В проекте следует разрабатывать наладки станков, используемых в спроектированном техпроцессе для выполнения концентрированных многоинструментных операций, для определения взаимосвязанных положений инструментов, рабочих органов станка, приспособления, заготовки.

Исходными данными для разработки наладки являются: чертеж детали и заготовки; операционная карта, содержащая сведения об операции (модель оборудования, состав, порядок выполнения и содержание установов, позиций, переходов, применяемые режущие и вспомогательные инструменты, приспособления, режимы резания); форма рабочей части, форма основных конструкторских баз, габариты, присоединительные размеры режущих инструментов; габариты, форма, размеры основных и вспомогательных конструкторских баз вспомогательных инструментов; форма и присоединительные размеры посадочных мест станка под инструмент (шпинделя, инструментального магазина, резцедержателя).

При разработке чертежей наладок следует соблюдать требования ЕСКД, касающиеся оформления сборочных чертежей изделий. Все элементы наладки надо изображать в масштабе 1:1. Количество проекций должно быть минимально достаточным для уяснения положения элементов наладки по всем направлениям. Разработку специальной наладки, включающей несколько параллельно работающих инструментов (например, для многолезцовых токарных полуавтоматов, токарно-револьверных, агрегатных станков) начинают с изображения детали в том виде, который она приобретает после обработки всеми инструментами наладки, с указанием выдерживаемых размеров, предельных отклонений, шероховатости. В контакте с деталью прочерчивают контуры приспособления и режущие инструменты в конечном положении после рабочего хода, с учетом направления формообразующих движений. Это взаимное расположение режущих инструментов определяет конструкцию специальной инструментальной державки (силовой головки), соединительные элементы которой изображают в контакте с державками (хвостовиками) режущих инструментов и прочерчивают ее корпус с габаритами, минимально достаточными для объединения инструментов в единый блок, при допустимых вылетах инструментов. В конструкции державки также следует предусмотреть элементы регулирования положений режущих инструментов. Режущие и вспомогательные инструменты допускается изображать упрощенно без мелких конструктивных элементов. При прочерчивании следует исключить наложение их контуров друг на друга и на контуры приспособления и заготовки. Основные конструкторские базы и крепежные элементы державки (шпонки, сухари, болты, тяги) должны соответствовать соединительным элементам рабочего органа станка (суппорта, револьверной головки, шпинделя). Далее следует тонко прочертить положение наиболее выступающих элементов наладки в начальном положении рабочего хода и убедиться, что в обоих положениях они не выходят за пределы рабочей зоны станка. Между крайними положениями этих элементов указать длину рабочего хода. На чертеже наладки надо указать размеры, связывающие центры режущих инструментов (вершины резцов, точки пересечения осей и режущих кромок стержневых инструментов) с точкой пересечения технологических баз детали, а также расстояния от этой точки до основных конструкторских баз державки. Инструменты обозначают номерами на линиях-выносах. На свободном поле чертежа изображают таблицу с обозначениями стандартных инструментов (номер инструмента, шифр и ГОСТ режущего и вспомогательного инструмента) и режимы резания для каждого из них.

Инструментальные наладки станков с ЧПУ обычно включают стандартные режущие и вспомогательные инструменты [15, 18]. При их разработке особое внимание следует уделить: соответствию вспомогательного инструмента хвостовикам режущих инструментов и посадочным местам рабочих органов станка; возможности размещения комплектов из вспомогательных и режущих инструментов в соседних гнездах резцедержателей (инструментальных магазинов); размерной привязке центров инструментов относительно рабочего органа станка.

На чертеже наладки токарного станка с ЧПУ число изображений детали должно соответствовать числу режущих инструментов. Каждое изображение должно показывать форму и размеры детали после обработки соответствующим инструментом, если смотреть в направлении, перпендикулярном ее оси. Рядом с каждым контуром детали изображают контур приспособления и траекторию центра соответствующего инструмента с пронумерованными опорными точками. Режущий инструмент (совместно со вспомогательным инструментом и фрагментом резцедержателя) изображают в положении, когда его центр находится в исходной точке траектории, и указывают размеры от центра инструмента до торца и оси резцедержателя. На контуре детали показывают систему ее ко-

ординат, направление осей которой совпадает с направлением координатных осей станка. Нуль детали должен находиться в точке пересечения ее технологических баз или может быть перенесен в номинальное положение той точки детали, от которой на чертеже задано большинство выдерживаемых на операции размеров. Координаты исходной точки траектории каждого инструмента задают от нуля детали. Инструменты обозначают номерами на линиях-выносах в соответствии с гнездами резцедержателя, которые они занимают. Соблюдая проекционную связь между видами первого инструмента, с правой стороны чертежа изображают полный вид резцедержателя, если смотреть вдоль оси его поворота, со всеми установленными инструментами. На этом виде на линиях-выносах указывают номера инструментов и размеры от их вершин до оси резцедержателя. На свободном поле чертежа изображают таблицу с обозначениями стандартных инструментов (номер гнезда резцедержателя, шифр и ГОСТ режущего и вспомогательного инструмента) и режимы резания для каждого из них, а также таблицу с номерами и координатами опорных точек траекторий всех инструментов от нуля детали.

Наладки фрезерных, сверлильных, расточных станков с ЧПУ разрабатывают аналогично, но деталь, обработанную каждым инструментом, контуры приспособления, режущий и вспомогательный инструмент с фрагментом шпинделя, траекторию центра инструмента изображают как минимум в двух проекциях (виды на рабочую зону станка спереди или сбоку и сверху) [38].

### **3 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА**

Этот раздел проекта выполняется за счет сокращения других разделов, по согласованию с руководителем. Конкретная тема научно-исследовательской работы, состав ее подразделов и листов графической части отражаются в задании на курсовой проект. Как правило, она должна быть логически связана с темой проекта. Рекомендуется излагать содержание этого раздела в следующем порядке:

- цель и задачи исследований;
- состояние исследуемой проблемы;
- методика исследований, применяемое оборудование и оснащение;
- результаты исследований и анализ их достоверности;
- области применения, значимость, технико-экономический эффект исследований.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В этой части пояснительной записки в краткой форме излагаются особенности и предполагаемый технико-экономический эффект при использовании выполненных в проекте технологических и конструкторских разработок (повышение производительности, снижение доли бракованных изделий, ресурсосбережение, повышение уровня безопасности, снижение загрязнения окружающей среды, повышение культуры производства).

### **СПИСОК ЦИТИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

В этой части пояснительной записки приводится список литературных источников, нормативных документов, ресурсов Интернет, из которых при выполнении проекта заимствовались информация и на которые в тексте пояснительной записки следует указать ссылки.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

В приложения к пояснительной записке выносятся результаты разработок, понимание которых невозможно без тесной связи с основным текстом. Обычно это: комплект технологической документации на спроектированный техпроцесс, включающий титульный лист, маршрутные карты (МК), операционные карты (ОК), карты операционных эскизов (КЭ), карты кодирования информации (ККИ); спецификации к сборочным чертежам; алгоритмы и компьютерные программы; описание приборов и т.п.

## ОФОРМЛЕНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Пояснительная записка оформляется с учетом требований ГОСТ 2.105-95. Каждая страница пояснительной записки пишется на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210 x 297мм). Титульный лист и задание оформляются по установленной форме (приложения А и Б). Далее на отдельной странице приводится аннотация проекта. Следующая страница, на которой начинается содержание (оглавление), оформляется с основной надписью расчетно-пояснительной записки (штампом) высотой 40мм и рамкой, отстоящей от левого края листа на 20мм, а от остальных краев - на 5мм [37]. Содержание указывает номера и заголовки всех разделов, подразделов, пунктов и других поименованных частей записки, номера страниц, с которых они начинаются. Последующие листы записки оформляются с такой же рамкой, но со штампом высотой 15мм [37]. Страницы записки нумеруют по порядку арабскими цифрами в соответствующей графе штампа, начиная с титульного листа и заканчивая последней страницей приложений. На титульном листе и задании номера не ставят. Текст пишется с оставлением полей от краев листа: сверху - 20мм; снизу и слева - 30мм; справа - 10мм. На странице со штампом высотой 40мм нижнее поле 55мм. При оформлении записки с помощью графических устройств вывода ЭВМ рекомендуются следующие параметры основного текста: шрифт Arial или Times New Roman; размер шрифта 12 или 14 p; выравнивание по ширине; расстояние между строк в 1 интервал; абзацный отступ 10мм. Номера и заголовки разделов, подразделов, пунктов пишутся полужирным шрифтом размером, соответственно, 14 или 16 pt, с выравниванием по середине страницы, без переноса слов и точки в конце, с расстоянием от основного текста в 2 интервала. Допускается аккуратное рукописное оформление записки черной или синей пастой (чернилами), обычным почерком, с приблизительным соблюдением указанных параметров.

Каждый раздел следует начинать с новой страницы. Разделы нумеруются арабскими цифрами без точки, с пробелом между номером и заголовком. Задание, содержание, введение, заключение, список цитируемых источников не нумеруют. Подразделы нумеруют в пределах раздела двумя числами, разделенными точкой и заданными арабскими цифрами с пробелом между номером и заголовком. Первое число соответствует номеру раздела, а второе число - порядковому номеру подраздела в данном разделе, например, 1.12 - двенадцатый подраздел первого раздела. Такой же принцип применяется для нумерации пунктов в пределах подраздела и раздела, например, 2.3.1 - первый пункт третьего подраздела второго раздела.

Каждый рисунок (схему, эскиз, график и др.) располагают после первой ссылки на нее в тексте или на следующей странице. Рисунок сопровождается подрисуночной под-

письму, состоящей из слова «Рисунок», его номера, наименования и расшифровки буквенных или цифровых обозначений на нем (если они не даны в тексте). Рисунки нумеруют по тому же принципу, что и подразделы.

Каждую таблицу располагают после первой ссылки на нее или на следующей странице. Слева над таблицей выполняется запись, состоящая из слова «Таблица», номера таблицы и ее наименования. Таблицы нумеруют по тому же принципу, что и подразделы. Таблицы чертят тонкими линиями, без деления граф диагоналями. При необходимости продолжения таблицы на следующей странице предусматривают строку с номерами столбцов на обеих страницах, а головку таблицы не повторяют. Слева над продолжением таблицы выполняется запись, состоящая из слов «Продолжение таблицы» и ее номера.

Каждую формулу располагают в том месте раздела, где она непосредственно впервые используется для расчета и отделяется от текста сверху и снизу двумя межстрочными интервалами. В конце последней строки, занимаемой формулой, в круглых скобках указывается номер формулы. Формулы нумеруют по тому же принципу, что и подразделы. В следующей за формулой строке после слова «где» приводится расшифровка параметров формулы, с указанием размерности после запятой.

Ссылки на цитируемые источники, из которых заимствуются формулы, расчетные данные, рекомендации, обозначаются порядковым номером соответствующего источника в их списке, заключенным в квадратные скобки. Каждый источник в списке нумеруют арабскими цифрами в порядке появления в тексте первой ссылки на него.

Технологическая документация оформляется в соответствии со стандартами ЕСТД: титульный лист - по ГОСТ 3.1117-81; маршрутные карты - по ГОСТ 3.1118-82 (форма 1 для первого листа, форма 1б - для последующих); операционные карты - по ГОСТ 3.1404-86 (форма 3 для первого листа, форма 2а - для последующих); карты эскизов - по ГОСТ 3.1105-84 (форма 7); карты кодирования информации - по ГОСТ 3.1404-86 (формы 5 и 5а). Примеры оформления приведены в [39] и в приложениях В, Г, Д, Е.

## ОФОРМЛЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

Графическая часть оформляется с помощью графических устройств вывода ЭВМ или ручным черчением карандашом или тушью в соответствии с требованиями ЕСКД (кроме операционных эскизов).

Операционные эскизы выполняются на листах формата А1 при расположении основной надписи (штампа по ГОСТ 2.104-68), общей для всех эскизов листа, вдоль длинной стороны листа. Свободное от штампа поле листа разделяют тонкими линиями на 6 частей (по три части в два ряда), каждая из которых используется для изображения эскиза одной операции (установа, позиции, перехода). Следует изображать эскизы наиболее важных операций, на которых формируются основные конструктивные элементы детали и параметры точности разными методами обработки.

В верхней части каждого эскиза записывается слово «Операция», номер и наименование операции. Для концентрированных операций ниже записывается слово «Установ» и обозначение установка прописной буквой русского алфавита (если их несколько в составе операции), слово «позиция» и номер позиции – арабскими цифрами (если их несколько в составе операции, установка), слово «переход» и номер перехода – арабскими цифрами (если их несколько в составе операции, установка, позиция). Ниже изображают

одну или несколько проекций детали в той форме, которую она приобретает после данной операции (установки, позиции, перехода). Число проекций должно быть минимально достаточным для уяснения формы и положения поверхностей, получаемых при данной обработке (они выделяются линиями удвоенной толщины), и положения инструментов относительно детали. Положение главной проекции детали должно соответствовать виду спереди или сверху на рабочую зону станка. В контакте с технологическими базами детали изображают обозначения идеальных опорных точек (схему базирования) с учетом ГОСТ 21495-76. Для обрабатываемых поверхностей указывают получаемые размеры с предельными отклонениями, допуски формы и расположения, параметры шероховатости и другие параметры качества. Режущие инструменты изображают упрощенно, без мелких конструктивных элементов, в конце рабочего хода, в том же масштабе, что и деталь. Стержневые мерные инструменты (сверла, зенкеры, развертки) целесообразно изображать в начале рабочего хода, чтобы не затруднять простановку получаемых размеров и параметров качества. Рядом с инструментом и заготовкой стрелками изображают направления формообразующих и вспомогательных движений и их обозначения ( $D_r$  - движение резания,  $D_s$  - движение подачи,  $D_v$  - вспомогательные движения,  $D_d$  - делительные движения). В правом нижнем углу эскиза изображается таблица, в которой указываются модель оборудования, номера инструментов (если их несколько, и они указаны рядом с изображениями инструментов), режимы резания, основное и штучное время. Пример оформления операционных эскизов в графической части проекта приведен в приложении Ж.

### СПИСОК ЦИТИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. – М.: Машиностроение.
2. Допуски и посадки: Справочник. В 2-х ч. / В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. Л.: Машиностроение, 1983. – Ч.1 543 с.; Ч.2 448 с.
3. Балабанов А.Н. Технологичность конструкций машин. – М.: Машиностроение, 1987.
4. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: учеб. пособие / В.В. Бабук, В.А. Шкред, Г.П. Кривко, А.И. Медведев; под ред. В.В. Бабука.- Мн.: Выш. шк., 1987. – 255 с.
5. Ящерицын П.И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: учебник для вузов / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн. – Мн.: Выш. шк., 1990. – 512 с.
6. Афонькин М.Г. Производство заготовок в машиностроении / М.Г. Афонькин, М.В. Магницкая. – Л.: Машиностроение, 1987. – 256 с.
7. Кондаков А.И. Выбор заготовок в машиностроении: Справочник / А.И. Кондаков, А.С. Васильев. – М.: Машиностроение, 2007. – 560 с.
8. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 52 с.
9. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку: ГОСТ 26645-85 – М.: Издательство стандартов, 1985. – 55 с.
10. Горбачевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пособие / А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. – Мн.: Выш. шк., 1983. – 256 с.
11. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 2003. – Т.1.
12. Технология машиностроения. В 2-х кн. Производство деталей машин: учеб. пособие для вузов / Э.Л. Жуков, И.И. Козарь, С.Л. Мурашкин [и др.]; под ред. С.Л. Мурашкина. – М.: Высш. шк., 2005.- Кн.2. – 295 с.
13. Технология машиностроения: учеб. пособие / Под. ред. М.Ф. Пашкевича. - Мн.: Новое знание, 2008. – 475 с
14. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник для вузов.- Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
15. Обработка металлов резанием: справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм; под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.
16. Технология машиностроения (специальная часть): учебник для вузов / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов [и др.] – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.
17. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 2003. – Т.2.
18. Кузнецов Ю.И. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю.И. Кузнецов, А.Р. Маслов, А.Н. Байков. – М.: Машиностроение, 1983. – 359 с.
19. Базаров Б.М. Альбом по проектированию приспособлений/ Б.М. Базаров, А.И. Сорокин. – М.: Машиностроение, 1991. – 121 с.
20. Станочные приспособления: Справочник. В 2-х т. / Под ред. Б.Н. Вардашкина. - М.: Машиностроение, 1984. – Т.1 – 592 с.; Т.2– 656 с.
21. Технологическая оснастка многократного применения / Под ред. Д.И. Полякова.- М.: Машиностроение, 1981. – 401 с.

22. Технология технического контроля в машиностроении: справ. пособие / В.И. Чупырин [и др.] – М. Издательство стандартов, 1990.
23. Точность и производственный и производственный контроль в машиностроении: справочник / И.И. Болонкина, А.К.Кутай, Б.М. Сорочкин [и др.]; под общ. ред. А.К. Кутая и Б.М. Сорочкина. – Л.: Машиностроение, 1983. – 368 с.
24. Справочник контролера машиностроительного завода. Допуски, посадки, линейные измерения / Под ред. А.И. Якушева. – М.: Машиностроение, 1980. – 527 с.
25. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием. Справочник / Под ред. С.Г. Энтелеса и Э.М. Берлинера. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
26. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение, 1974. – Ч.1 – 416 с.
27. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. Нормативы режимов резания. – М.: Экономика, 1990. – Ч.2.
28. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов. Справочник / под ред. Ю.В. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
29. Режимы резания металлов. Справочник / Под. ред. А.Д. Корчемкина. – М.: НИИ Атомпром, 1995. – 256 с.
30. Методические указания к практическим работам «Размерный анализ технологических процессов изготовления деталей» для студентов специальности Т.03.01.00 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроения» / Сост. О.А. Медведев. – Брест.: БрГТУ, 2001. – 35 с.
31. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени и времени на обслуживание рабочего места на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Массовое производство. – М.: Экономика, 1988. – 366 с.
32. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. Нормативы времени. – М.: Экономика, 1990. – Ч.1.
33. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного обслуживания рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. – М.: Машиностроение, 1974. – 136 с.
34. Антонюк В.Е. Конструктору станочных приспособлений. Справочное пособие. – Мн.: Выш. шк., 199. – 400 с.
35. Горохов В.А. Проектирование технологической оснастки. – Мн.: Бервита, 1997.
36. Методические указания к практической работе «Выявление сборочных конструкторских размерных цепей» для студентов специальности 36 01 01 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроения» / Сост. О.А. Медведев. – Брест.: БрГТУ, 2004. – 14 с.
37. Общие правила оформления текстовых документов: ГОСТ 2.105 95.
38. Гжиров, Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ: справочник / Р.И. Гжиров, П.П. Серебренничий. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.
39. Худобин Л.В. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пособие / Л.В. Худобин, В.Ф. Гурьянихин. – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.



Приложение А

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

к курсовому проекту по «Технологии машиностроения» на тему  
**«Технологический процесс изготовления детали \_\_\_\_\_».**

Разработал студент гр. Т - 68 Зданович Г.М.

Руководитель Медведев О.А.

Брест 2009

## Приложение Б

Брестский государственный технический университет  
Машинностроительный факультет  
Кафедра «Технология машиностроения»

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2009 г.

### ЗАДАНИЕ

к курсовому проекту по технологии машиностроения (станкостроения)  
студенту гр. Т-68 Здановичу Г.М.  
на тему «Техпроцесс изготовления вала ИВ 346.254.001»

#### Исходные данные:

1. Чертеж детали вал ИВ 346.254.001
2. Объем выпуска 12000 шт. в год.
3. Режим работы - двухсменный.
4. Материалы конструкторско-технологической практики.

#### Содержание расчетно-пояснительной записки.

Введение.

1. Разработка технологического процесса.
  - 1.1. Служебное назначение и конструкция детали.
  - 1.2. Анализ технических условий на изготовление детали.
  - 1.3. Предварительное определение типа производства (по таблицам).
  - 1.4. Анализ технологичности детали.
  - 1.5. Анализ базового технологического процесса.
  - 1.6. Выбор метода получения заготовки и разработка ее конструкции.
  - 1.7. Выбор и обоснование методов обработки поверхностей детали.
  - 1.8. Выбор и обоснование технологических баз, составление схем базирования.
  - 1.9. Выбор и обоснование технологического маршрута.
  - 1.10. Разработка технологических операций (выбор структуры, оборудования, оснастки).
  - 1.11. Аналитический расчет припусков (на 2 поверхности разной формы).
  - 1.12. Выявление и расчет технологической размерной цепи.
  - 1.13. Определение режимов резания по эмпирическим формулам (2 перехода) и таблицам.
  - 1.14. Определение норм времени на операции (для одной операции описать подробно).
  - 1.15. Определение необходимого количества оборудования и его загрузки.
  - 1.16. Уточнение типа производства по коэффициенту закрепления операций.
2. Расчет и проектирование средств технологического оснащения.
  - 2.1. Проектирование приспособления для фрезерования шпоночного паза 6Н9.
    - 2.1.1. Описание разработки конструкции приспособления.
    - 2.1.2. Расчет усилия зажима заготовки.
    - 2.1.3. Расчет приспособления на точность.
    - 2.1.5. Расчет приспособления на прочность.
  - 2.2. Проектирование приспособления для контроля симметричности шпоночного паза 6Н9 относительно оси шейки Ø36.

Заключение

**Приложения:** комплект технологической документации (МК, ОК, КЭ, КК, ККИ); спецификации к сборочным чертежам;

#### Содержание и объем графической части:

1. Чертеж детали 1 л. Ф. А2
2. Чертеж заготовки 1 л. Ф. А2
3. Операционные эскизы 1 л. Ф. А1
4. Сборочный чертеж приспособления для фрезерования шпоночного паза 6Н9 1 л. Ф. А1
5. Сборочный чертеж приспособления для контроля симметричности шпоночного паза 6Н9 1 л. Ф. А1
6. Инструментальная наладка токарного станка с ЧПУ 1 л. Ф. А1

Задание выдал \_\_\_\_\_ 3.09.2009 доцент Медведев О.А.

Срок сдачи проекта 30.12.2009. Задание принял к исполнению 3.09.2009 \_\_\_\_\_

(дата и подпись студента)

Приложение В

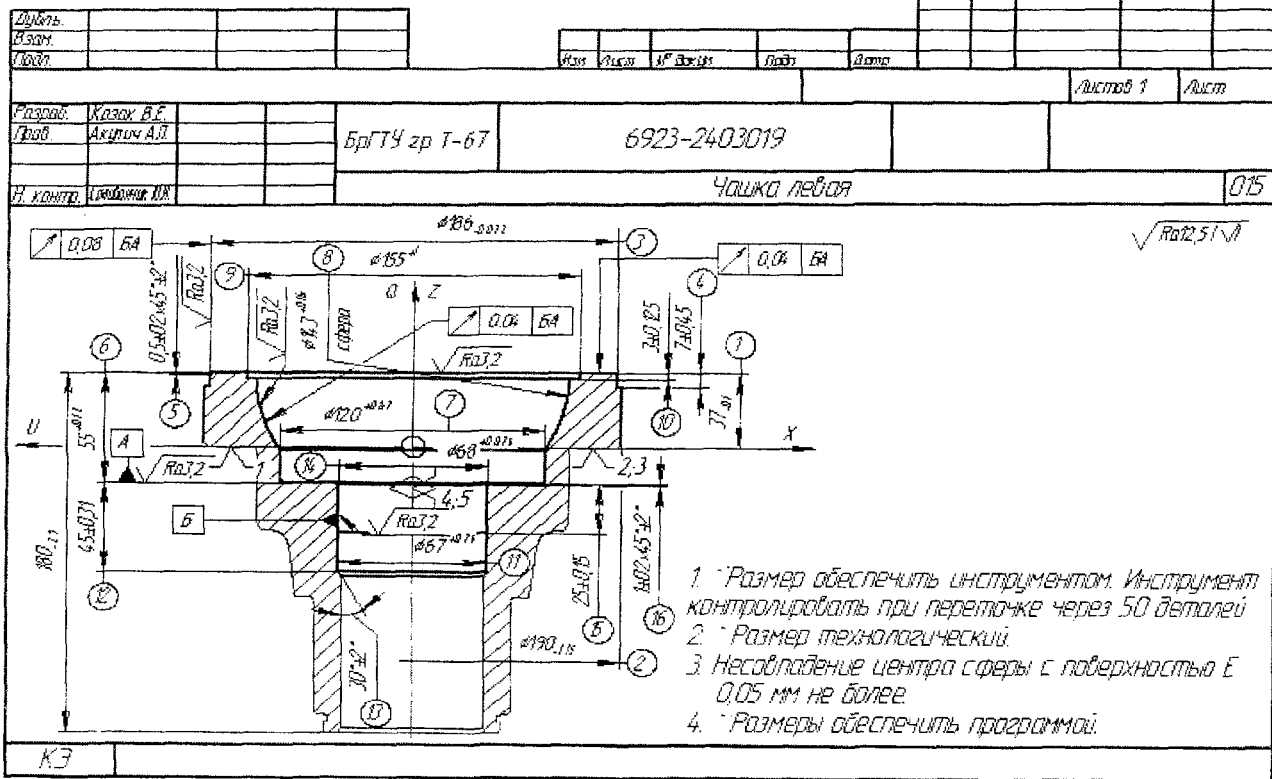
ГОСТ 3.1117-81

Форма 2

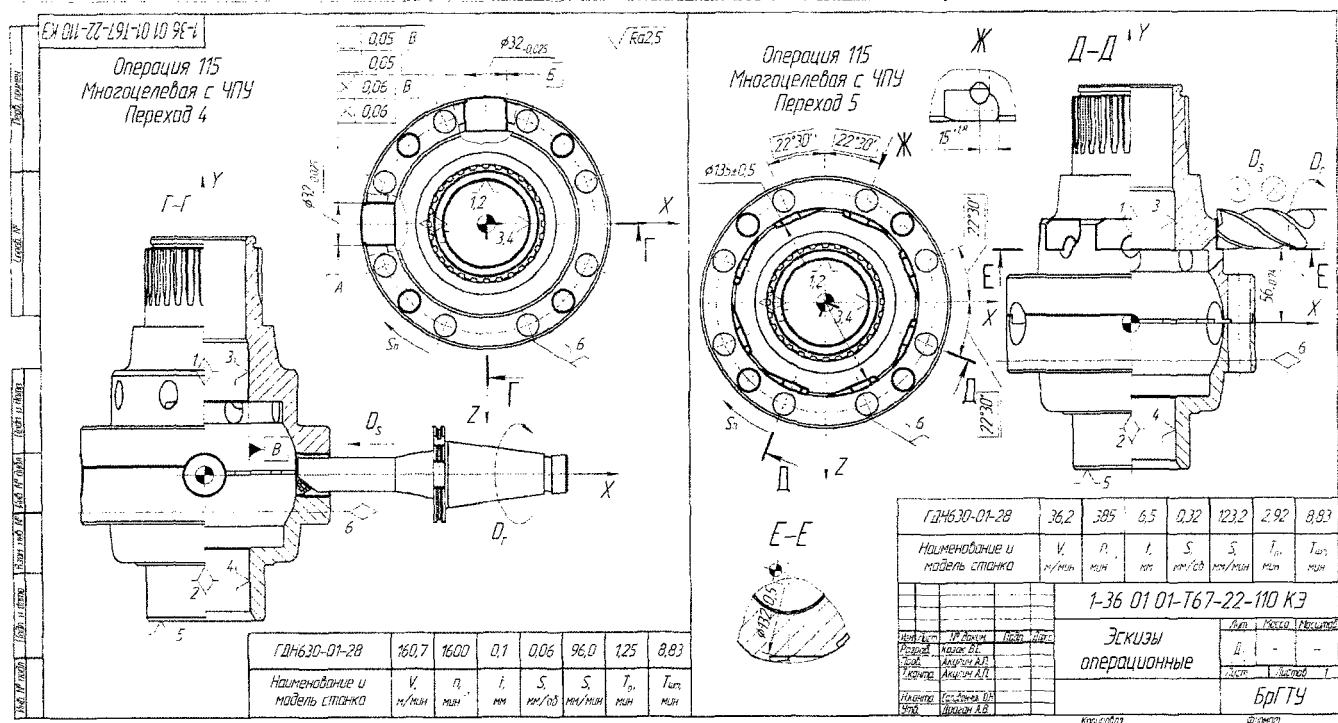
Дудл.																		
Взам.																		
Подпись						Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата								
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">БрГТУ</td> <td style="padding: 5px;">СМД2-1964</td> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="padding: 5px; text-align: center;">Колесо зубчатое</td> </tr> </table>											БрГТУ	СМД2-1964			Колесо зубчатое			
БрГТУ	СМД2-1964																	
Колесо зубчатое																		
<p>Министерство образования Республики Беларусь                  Брестский государственный технический университет                  Кафедра технологии машиностроения</p> <p><b>Комплект документов</b>                  на технологический процесс изготовления детали                  колесо зубчатое СМД2-1964.</p> <p style="text-align: right; margin-top: 20px;">                 Разработал                      Зданович Г.М.                  Руководитель                    Медведев О.А.             </p>																		







Приложение Ж



Учебное издание

**Составители:**

Медведев Олег Анатольевич

Акулич Антон Павлович

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ**

по дисциплинам

«Технология машиностроения отраслевая»,  
«Технология автоматизированного производства»,

«Технология станкостроения»

для студентов машиностроительных  
специальностей **36 01 01** и **36 01 03**

Ответственный за выпуск: **Медведев О.А.**

Редактор: **Строкач Т.В.**

Компьютерная верстка: **Боровикова Е.А.**

Корректор: **Никитчик Е.В.**

---

Подписано к печати 3.09.2009 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Arial Narrow.  
Бумага «Снегурочка». Усл. п. л. 2,8. Уч.-изд. л. 3,0. Заказ № 705. Тираж 100 экз.

Отпечатано на ризографе Учреждения образования  
«Брестский государственный технический университет».

224017, г. Брест, ул. Московская, 267.