

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

# ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию  
для студентов специальности  
1-36 01 04 «Оборудование и технологии высокоэффективных  
процессов обработки материалов»  
очной формы обучения*



Могилев 2021

УДК 621.01:519.6

ББК 34.5:22.18

Т34

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «14» сентября 2021 г.,  
протокол № 2

Составители: канд. техн. наук, проф. А. А. Жолобов;  
канд. техн. наук, доц. В. М. Шеменков;  
Е. Ю. Демиденко

Рецензент канд. техн. наук, доц. В. В. Кутузов

В методических рекомендациях изложены требования к объему, содержанию и оформлению курсового проекта по дисциплине «Технология машиностроения». Даны указания по выполнению всех разделов проекта.

Учебно-методическое издание

## ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Корректор	Т. А. Рыжикова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2021

## Содержание

Введение.....	4
1 Объем и содержание курсового проекта.....	5
2 Требования к оформлению и содержанию разделов проекта.....	6
3 Требования к графической части курсового проекта.....	9
4 Обозначение чертежей.....	11
5 Основное содержание работы.....	12
Список литературы.....	38
Приложение А.....	39

## **Введение**

Курсовой проект по дисциплине «Технология машиностроения» призван закрепить теоретические знания студентов в данной области, способствовать получению ими практических навыков применения этих знаний при технологическом проектировании. Данный проект – первый этап освоения методов проектирования технологических процессов изготовления деталей машин для студентов специальностей 1-36 01 04 «Оборудование и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов».

Основными направлениями проектирования в курсовом проекте являются разделы технологической подготовки производства: выбор метода получения заготовки, разработка нескольких маршрутов обработки детали в условиях концентрации и дифференциации операций, расчет промежуточных размеров, допусков и припусков для этих поверхностей, выбор и обоснование технологических баз, расчет настроечных размеров, расчет технологических размерных цепей при обработке поверхностей.

## 1 Объем и содержание курсового проекта

Исходными данными к курсовому проекту являются задание и чертеж детали, выданные преподавателем – руководителем проекта. Заданием могут являться результаты курсового проектирования по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» – сборочный чертеж редуктора и чертеж одной из деталей редуктора (как правило, вала или шестерни).

Курсовой проект – конструкторско-технологический документ, который содержит расчетно-пояснительную записку и графическую часть. Рекомендуемое содержание пояснительной записки:

- титульный лист;
- задание на курсовое проектирование, утвержденное заведующим кафедрой;
- содержание;
- введение;
- описание конструкции детали и анализ ее технологичности;
- определение типа и организационной формы производства;
- выбор метода получения заготовки;
- разработка маршрута обработки поверхности;
- выбор технологических баз;
- назначение режимов резания на технологических переходах для каждого из вариантов технологического процесса;
- расчет норм штучного или штучно-калькуляционного времени на выполнение операций;
- сравнение и экономический анализ маршрутов обработки;
- расчет технологических размерных цепей и припусков на обработку;
- расчет наладочных размеров маршрута обработки;
- заключение;
- список литературы;
- приложения.

Графическая часть проекта представляется в виде чертежей, которые должны быть выполнены на листах формата А2, А3.

Графическая часть проекта может включать:

- чертеж детали – формат А2 или А3 (рисунок А.1);
- чертеж заготовки или анализ простановки размеров – формат А2 или А3 (рисунок А.2);
- схему расположения припусков – формат А2 или А3 (рисунок А.3);
- размерную схему маршрута обработки – формат А2 (рисунок А.4).
- маршрутные карты технологического процесса – формат А2 или А3 (таблица 5.3).

Объем и содержание проекта на основе методических рекомендаций определяет руководитель и записывает в задание на курсовое проектирование.

## **2 Требования к оформлению и содержанию разделов проекта**

### ***2.1 Требования ко введению***

Во введении приводятся особенности выполняемого проекта, технический уровень используемых станков и инструментов, станочных и контрольных приспособлений. Дается авторская оценка уровня технологических и конструкторских разработок, их особенностей и отличительных характеристик.

Введение, как правило, не должно превышать одной страницы текста.

### ***2.2 Требования к оформлению текстовой части проекта***

Текстовая часть проекта предоставляется отпечатанной на принтерном устройстве ПЭВМ на листах формата А4 в соответствии с ГОСТ 2.105–95.

Первым листом документа является титульный лист, вторым – лист задания на курсовое проектирование, третьим – первый лист содержания документа с основной надписью, выполненной по форме 2 ГОСТ 2.104–68. Все последующие листы, кроме чертежей, выполняются с основной надписью 2а того же ГОСТа. В графу 2 основной надписи записывается код (обозначение) документа. Порядок кодирования чертежей и пояснительной записки приведен в разделе 5 «Обозначение чертежей».

Слово «Содержание» записывается в виде заголовка (симметрично тексту) с прописной буквы. Названия разделов, включенные в содержание, записывают строчными буквами начиная с прописной буквы.

Расстояние от рамки до границ текста в начале и конце строки – не менее 3 мм.

Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней линии рамки должно быть не менее 10 мм.

Текст записки делят на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится.

Разделы должны иметь заголовки. Заголовки следует печатать с прописной буквы без точки в конце, строчными буквами, полужирным шрифтом с размером на 1–2 пункта больше, чем в основном тексте, не подчеркивая.

Заголовки подразделов печатают с абзацного отступа строчными буквами (кроме первой прописной) полужирным шрифтом с размером шрифта основного текста.

Пункты, как правило, заголовков не имеют. При необходимости заголовков пункта печатают с абзацного отступа полужирным шрифтом с размером шрифта основного текста.

Расстояние между заголовками (за исключением заголовка пункта) и текстом должно составлять два межстрочных интервала. Если между двумя

заголовками текст отсутствует, то расстояние между ними устанавливается от полутора до двух межстрочных интервалов.

Каждую структурную часть документа следует начинать с нового листа. Страницы нумеруются арабскими цифрами, которые проставляют в последней графе основной надписи листа без точки в конце. Как указывалось, первой страницей документа является титульный лист, на котором номер страницы не ставят, второй – лист задания на курсовое проектирование, третьей – первый лист содержания документа с основной надписью, выполненной по форме 2 ГОСТ 2.104–68. Все последующие листы, кроме чертежей, выполняются с основной надписью по форме 2а того же ГОСТа. В графу 2 основной надписи записывается код (обозначение) документа. Каждая из формул пишется в документе на отдельной строке симметрично основному тексту. Расчеты, выполненные по приведенной формуле, записываются на следующей строке. Промежуточные результаты не записываются.

Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулы, должны быть приведены непосредственно под формулами. Пояснение каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формулах. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

**Пример** – Минутная подача  $S_m$ , мм/мин, рассчитывается по формуле

$$S_m = S_0 \cdot n,$$

где  $S_0$  – подача на оборот детали, мм/об;

$n$  – частота вращения детали, мин<sup>-1</sup>.

Иллюстрации (пояснительные рисунки, схемы) должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Их следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой.

Иллюстрации при необходимости могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают симметрично полю иллюстрации, например, Рисунок 2.1 – Схема расположения операционных припусков.

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблицы (таблица 2.1).

Таблицы слева и справа, снизу и сверху ограничивают линиями. Линии, ограничивающие формат листа, не могут служить линиями таблицы.

Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела.

Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

Таблица 2.1 – Химический состав качественных углеродистых конструкционных сталей

В процентах

Марка стали	C	Si	Mn	P	S
Сталь 45	0,4...0,5	0,17...0,37	0,50...0,80	0,045	0,045

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице.

Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны документа на отдельной странице.

Если строки или графы таблицы выходят за формат страницы, ее делят на части, помещая одну часть под другой или рядом, при этом в каждой части таблицы повторяют ее головку и боковик. При делении таблицы на части допускается ее головку или боковик заменять соответственно номером граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки первой части таблицы.

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, в первой части таблицы нижнюю горизонтальную линию, ограничивающую таблицу, не проводят.

Графу «Номер по порядку» в таблицу включать не допускается.

Слово «Таблица» указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями пишут «Продолжение таблицы» с указанием её номера.

Если все показатели в графах таблицы выражены в одной и той же единице физической величины, то ее обозначение необходимо помещать над таблицей справа, а при делении таблицы на части – над каждой ее частью.



## 3 Требования к графической части курсового проекта

### 3.1 Требования к чертежу детали

Чертеж детали должен соответствовать требованиям действующих стандартов ЕСКД.

Перед вычерчиванием исходный чертеж должен быть тщательно отредактирован в одном из графических редакторов (AutoCAD, Компас и др.).

Технические требования в отредактированном виде записываются в такой последовательности:

- требования к материалу детали, заготовке и термической обработке;
- требования к качеству поверхности детали, покрытию, отделке, окраске и др.;
- некоторые размеры с их допускаемыми предельными отклонениями от номинальных размеров;
- отклонения формы и взаимного расположения поверхностей детали, не имеющие условных обозначений;
- условия и методы испытаний;
- указания о маркировке и клеймении;
- правила транспортирования и хранения;
- особые условия эксплуатации;
- ссылки на другие документы, содержащие технические требования к данному изделию, но не приведенные на чертеже (стандарты, технические условия, инструкции и т. п.);
- сведения о неуказанных предельных отклонениях размеров и неуказанных технических требованиях записывают в виде: Общие допуски по ГОСТ 30893.1–2002:  $H14$ ,  $h14$ ,  $\pm IT14/2$ . Остальные технические требования – по СТБ 1014–95.

Заголовок «Технические требования» на чертеже не пишут. Пример выполнения чертежа детали приведен на рисунке А.1.

### 3.2 Требования к чертежу заготовки

Заготовка из проката в графической части проекта не вычерчивается. Ее эскизы помещаются в пояснительной записке в разделе «Выбор заготовки». При этом внутри заготовки тонкими линиями вычерчивается контур детали. Предельные отклонения на диаметр устанавливаются по ГОСТ 2590–88, а на длину – в зависимости от принятого способа разрезки прутка [1, таблица 66].

Штампованные заготовки выполняются по ГОСТ 7505–89 и вычерчиваются отдельно от чертежа детали. Внутри заготовки сплошными линиями вычерчивается контур детали. На чертеже поковки в технических требованиях указываются:

- группа материала, класс точности, степень сложности, исходный индекс

по ГОСТ 7505–89;

- радиусы закруглений наружных и внутренних углов;
- штамповочные уклоны;
- допускаемая величина остаточного облоя;
- допускаемое смещение по поверхности разъема штампа;
- допускаемая величина высоты заусенца;
- допускаемое отклонение от concentричности пробитого отверстия относительно внешнего контура поковки (для поковок с отверстием);
- другие технические требования.

Чертежи отливок выполняются в соответствии с ГОСТ 26645–85 и вычерчиваются отдельно от чертежа детали.

Технические требования на совмещенном чертеже детали и отливки пишутся отдельно (первыми указываются технические требования для заготовки).

В состав технических требований для заготовки входят:

- исходная твердость;
- радиусы закруглений, если не обозначены на чертеже;
- литейные уклоны;
- точность отливки по ГОСТ 26645–85;
- масса отливки по ГОСТ 26645–85.

Примеры выполнения поковок приведены в приложении 5к ГОСТ 7505–89. Пример выполнения чертежа заготовки приведен на рисунке А.2.

## 4 Обозначение чертежей

В курсовом проекте принята следующая структура обозначения чертежей (рисунок 4.1).

КП.	000.	00.	00.	00
Курсовой проект	Номер группы (151, 161, ...)	Шифр (две последние цифры номера зачетной книжки)	Номер чертежа	Номер детали (позиции), (для сборочных чертежей)

Рисунок 4.1 – Структура обозначения чертежей

Номера чертежей (предпоследняя группа цифр) присваиваются следующим образом:

- чертеж детали – 01;
- чертеж заготовки – 02;
- схема расположения припусков – 03;
- размерная схема маршрута обработки – 04.

Следовательно, студент гр. ТМА-161, имеющий зачетную книжку № 10142, обозначает чертеж детали следующим образом:

КП.161.42.01.00

В пояснительной записке на всех листах записываются обозначение детали и буквы ПЗ. Например, КП.161.42.01.00 ПЗ.

Обозначение записывается в графах 2 и 2б основной надписи по ГОСТ 2.104–68.

## 5 Основное содержание работы

### 5.1 Назначение и конструкция детали

Раздел начинается с определения класса деталей, к которому относится заданная в проекте деталь (класс валов, полых цилиндров, зубчатых колес, корпусов, рычагов, вилок и т. п.).

Далее дается краткое описание назначения детали в узле. При этом указываются основные и вспомогательные конструкторские базы, исполнительные и свободные поверхности, анализируются допуски на размеры, форму и взаимное расположение поверхностей детали, указывается, почему к этим поверхностям предъявляются заданные требования. При необходимости такой анализ сопровождается эскизами.

В этом же разделе описывается вид термической обработки детали и цель ее проведения. Приводится чертеж детали с указанием всех размеров и технических требований. Выполняется оценка правильности простановки размеров на чертеже. Такая проверка может осуществляться с помощью теории графов [7–9]. Граф на плоскости изображается множеством соответствующих поверхностей вершин, соединенных дугами или ребрами, каждая из которых соответствует размеру, связывающему две поверхности. Граф размерных связей строится для каждой координатной оси (рисунок 5.1).

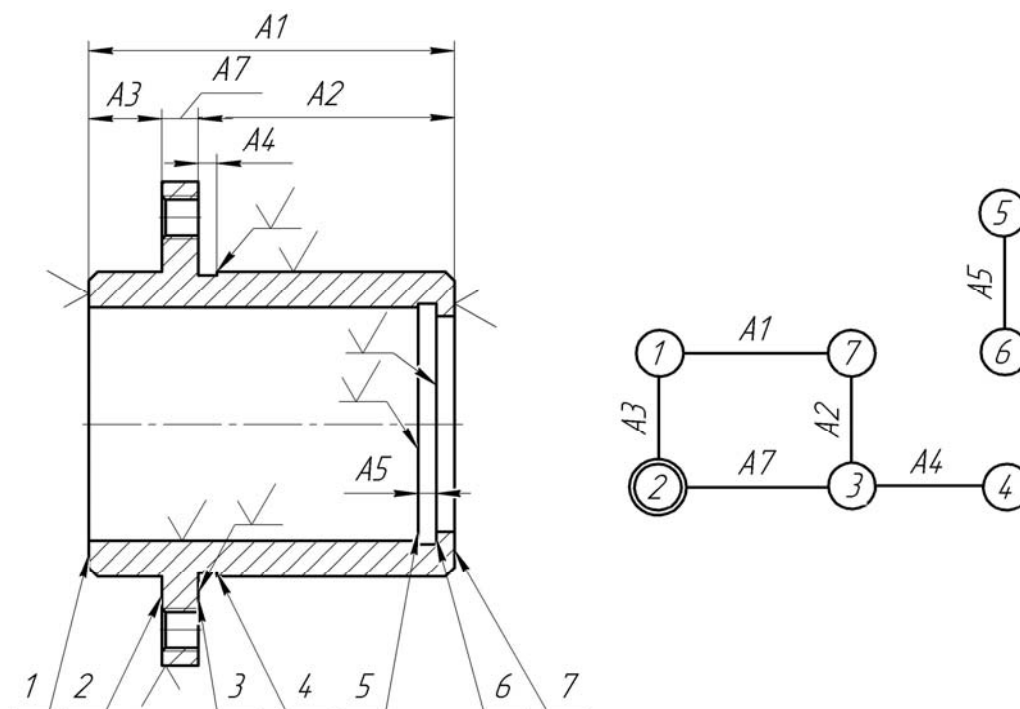


Рисунок 5.1 – Эскиз детали и граф размерных связей

На эскизе детали значком шероховатости обозначены обработанные поверхности. Исходные поверхности (необрабатываемые, которые могут использоваться в качестве замыкающих звеньев размерных цепей) отмечены

двойной окружностью. Номер внутри окружности соответствует номеру поверхности. Симметрично расположенные поверхности, в частности поверхности вращения, на графе обозначены двумя вершинами, одна из которых – ось симметрии.

Если размеры проставлены правильно, то граф размерных связей отвечает следующим требованиям:

- на графе не должно быть оторванных групп вершин. Если таковые на графе присутствуют, то это значит, что не хватает размеров или технических требований;

- на графе не должно быть замкнутых контуров. Наличие замкнутых контуров свидетельствует о том, что проставлены лишние размеры;

- группы исходных и обработанных размеров имеют только одно общее ребро.

Возвращаясь к приведенному выше графу, можно отметить, что в простановке размеров имеются ошибки:

- не выполняется требование по оторванным вершинам, т. к. вершины 6 и 5 не связаны ребром с графом;

- между исходными и обработанными поверхностями имеется несколько размерных связей (ребра A3 и A7);

- имеется на графе замкнутый контур 1–2–3–7.

На рисунке 5.2 показан один из вариантов исправления исходного графа размерных связей. На этом же рисунке показан эскиз детали, соответствующий исправленному графу.

Заканчивается раздел таблицами химического состава и механических свойств заданного материала детали.

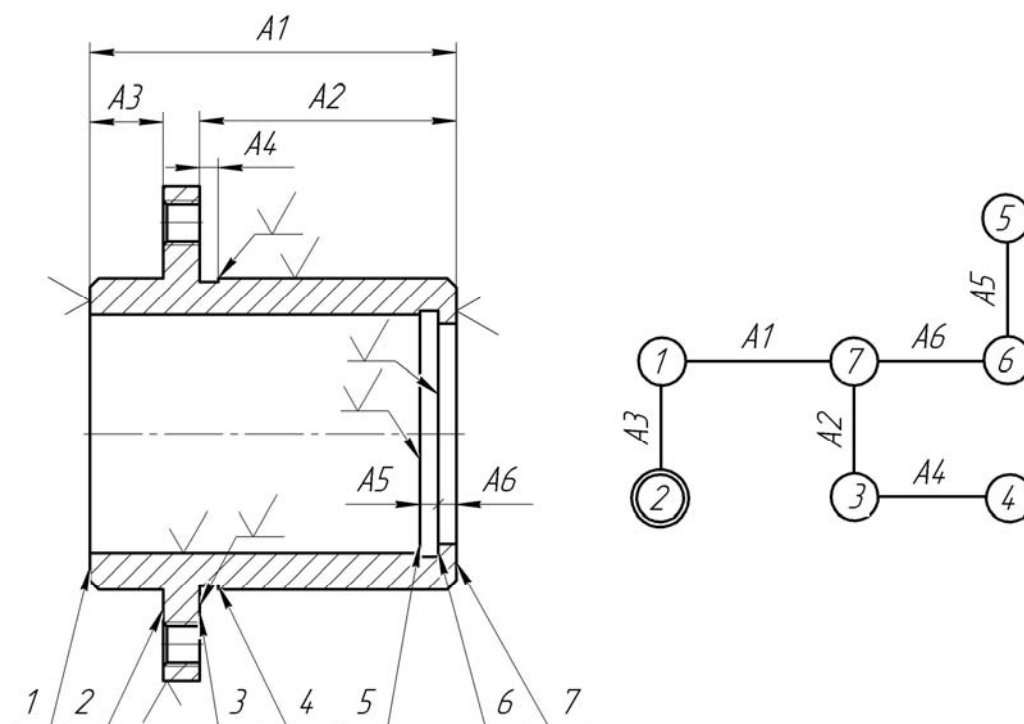


Рисунок 5.2 – Исправленный граф и эскиз детали после исправлений

## 5.2 Анализ технологичности конструкции детали

Анализ технологичности конструкции детали является первым этапом разработки технологического процесса. От этого этапа зависят его основные технико-экономические показатели – трудоемкость и себестоимость изготовления детали.

Анализ технологичности проводится, как правило, в два этапа: качественный анализ и количественный анализ.

Так, детали типа валов признаются технологичными, если они отвечают следующим требованиям:

- возможность максимального приближения формы и размеров заготовки к размерам и форме детали;
- возможность вести обработку проходными резцами;
- уменьшение диаметров поверхностей от середины к торцам вала или от одного торца к другому;
- возможность замены закрытых шпоночных пазов открытыми;
- жесткость вала достаточная и обеспечивает достижение необходимой точности при обработке ( $l/d < 10\dots 12$ ).

Зубчатые колеса признаются технологичными, если они имеют:

- центральное отверстие цилиндрической формы;
- простую конфигурацию наружного контура (наиболее технологичными являются зубчатые колеса простой формы без выступающих ступиц);
- ступицы с одной стороны, что позволяет вести обработку на зубофрезерных станках по две детали;
- симметрично расположенную перемычку между венцом и ступицей, что уменьшает коробление детали при термообработке;
- возможность штамповки фигурной перемычки между венцом и ступицей;
- достаточное расстояние между венцами для обработки на зубофрезерных станках (для двухвенцовых зубчатых колес).

Для всех классов деталей признаются нетехнологичными следующие элементы:

- глубокие отверстия ( $l/d > 5$ );
- отверстия, расположенные под углом к оси, плоскости и т. п.;
- глухие отверстия с резьбой;
- закрытые с одной или двух сторон пазы.

Требования к точности размеров, формы поверхностей деталей и шероховатости вытекают из служебного назначения детали и могут быть изменены только на основании их анализа в совокупности.

Количественная оценка технологичности выполняется согласно ГОСТ 14.201–83 и оценивается основными и дополнительными показателями технологичности [2, 3]. Заканчивается этот раздел проекта выводами о технологичности конструкции детали, предложенными путями её повышения на основе изменений конструкции детали.

### 5.3 Ориентировочное определение типа производства

Тип производства предварительно может быть определен по годовому объему выпуска и массе деталей в соответствии с таблицей 5.1.

Таблица 5.1 – Выбор типа производства по годовому выпуску и массе деталей

Масса детали, кг	Величина годовой программы выпуска, шт.				
	Единичное производство	Мелкосерийное производство	Среднесерийное производство	Крупносерийное производство	Массовое производство
1	10	10...2000	1500...100000	75000...200000	>200000
1...2,5	10	10...1000	1000...50000	50000...100000	>100000
2,5...5	10	10...500	500...35000	35000...75000	>75000
5...10	10	10...300	300...25000	25000...50000	>50000
10...50	10	10...200	200...10000	10000...25000	>25000
>50	5	5...10	10...50	50...1000	>1000

При этом после расчета норм времени по всем операциям выполняется раздел «Уточнение типа производства» на основе расчета коэффициента закрепления операций.

### 5.4 Выбор метода получения заготовки

При выборе метода получения заготовки решающими факторами являются форма детали, масса, материал, объем выпуска. Окончательное решение о выборе метода принимается на основе технико-экономических расчетов.

При выполнении экономических расчетов в данном разделе стоимость материалов, оборудования и тарифные ставки рабочих принимаются такими, какими они установлены на предприятиях. Для выбора метода получения заготовки сравниваются стоимости заготовок  $S_1$  и  $S_2$  по двум возможным методам их получения.

Стоимость заготовок из проката рассчитывается по формуле [2]

$$S_2 = M + \sum C_{o.z.}, \quad (5.1)$$

где  $M$  – затраты на материал заготовки, р.;

$\sum C_{o.z.}$  – технологическая себестоимость правки, калибрования, разрезки, р.

Расчеты затрат на материалы и технологической себестоимости выполняются по формуле

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \cdot S_{отх}, \quad (5.2)$$

где  $Q$  – масса заготовки (рассчитывается через объем и плотность материала заготовки), кг;

$S$  – цена 1 кг материала заготовки, р.;

$q$  – масса детали, кг;

$S_{отх}$  – цена 1 кг отходов, р.

В отходы включается не только разность между массой заготовки и детали (стружка), но и остаток прутка, образующийся из-за того, что длина заготовки и длина прутка не кратны. Сталь горячекатаная круглая по ГОСТ 2590–88 поставляется в прутках длиной 2...6 м.

$$\sum C_{о.з.} = \frac{C_{п.з.} \cdot t_{ум.(ум-к)}}{60}, \quad (5.3)$$

где  $C_{п.з.}$  – приведенные затраты на рабочем месте, р./ч;

$t_{ум.(ум-к)}$  – штучное или штучно-калькуляционное время выполнения заготовительной операции, мин.

Значения приведенных затрат  $C_{п.з.}$  на рабочем месте следует принимать с учетом действующих цен.

Штучное или штучно-калькуляционное время  $t_{ум.(ум-к)}$  на отрезание заготовки вала из прутка рассчитывается по формуле

$$t_{ум.(ум-к)} = \frac{L_{рез.} + y}{S_M} \cdot \varphi, \quad (5.4)$$

где  $L_{рез.}$  – длина резания при разрезании проката на штучные заготовки (может быть принята равной диаметру проката:  $L_{рез.} = D$ ), мм;

$y$  – величина врезания и перебега (при разрезании дисковой пилой  $y = 6...8$  мм);

$S_M$  – минутная подача при разрезании,  $S_M = 50...80$  мм/мин;

$\varphi$  – коэффициент, показывающий долю вспомогательного времени в штучном,  $\varphi = 1,84$  – для мелко- и среднесерийного производства;  $\varphi = 1,5$  для крупносерийного и массового производства.

Расчет стоимости заготовок, полученных литьем или штамповкой, выполняется по формуле [2]

$$S_2 = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_g \cdot K_M \cdot K_n \right) - (Q - q) S_{отх}, \quad (5.5)$$

где  $C_i$  – базовая стоимость 1 т заготовок, р.;

$Q$  – масса заготовки;

$K_m$  – коэффициент, зависящий от класса точности;

$K_c$  – коэффициент, зависящий от степени сложности;

$K_g$  – коэффициент, зависящий от массы заготовки;

$K_M$  – коэффициент, зависящий от марки материала;

$K_n$  – коэффициент, зависящий от объема выпуска заготовок.



Значения указанных коэффициентов приводятся в [2].

Перед расчетом стоимости заготовки вычерчивается ее эскиз, назначаются припуски, устанавливаются размеры, по которым рассчитываются объем и масса заготовки  $Q$ .

Для штампованных заготовок по ГОСТ 7505–89 устанавливаются:

- группа материала  $M$ ;
- класс точности  $T$ ;
- степень сложности  $C$ ;
- исходный индекс.

По исходному индексу в соответствии с ГОСТ 7505–89 определяются припуски на обрабатываемые поверхности и предельные отклонения размеров заготовки.

Параметры литых заготовок устанавливаются по ГОСТ 26645–85.

Заканчивается этот раздел расчетом экономического эффекта

$$\mathcal{E}_{заг} = (S_1 - S_2)N, \quad (5.6)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – стоимости заготовки по двум рассматриваемым вариантам ее получения;

$N$  – годовой объем выпуска деталей.

### ***5.5 Разработка и анализ маршрутов обработки поверхностей***

Проектирование маршрутов обработки в работе осуществляется только для одной наиболее точной поверхности детали (по указанию преподавателя).

Проектирование начинается с установления общего количества этапов обработки требуемых для обеспечения заданных показателей точности выбранной поверхности. Устанавливается требуемое общее уточнение в процессе обработки по формуле

$$\varepsilon_{общ} = \frac{T_{заг}}{T_{дет}}, \quad (5.7)$$

где  $T_{заг}$  и  $T_{дет}$  – допуски исходной заготовки и готовой детали соответственно.

Затем необходимо определить количество переходов обработки по формуле

$$n = \frac{\lg \varepsilon_{общ}}{0,46}. \quad (5.8)$$

Для условий массового и крупносерийного производства полученное значение, как правило, округляется в большую сторону, а в условиях мелкосерийного и единичного – в меньшую.

Точность обработки на промежуточных стадиях устанавливается на основании зависимости

$$\varepsilon_{обр} = \prod \varepsilon_i \geq \varepsilon_{общ}, \quad (5.9)$$

где  $\varepsilon_{обр}$  – уточнение, достигаемое в процессе выполнения технологического процесса;

$\varepsilon_i$  – уточнение, достигаемое в процессе выполнения отдельного технологического перехода.

При разделении общего уточнения на множители учитывают: на первой стадии методы черновой обработки поверхности обеспечивают  $\varepsilon_{черн} < 6$ ; на второй стадии обработки получистовыми и чистовыми методами –  $\varepsilon_{чист} < 3...4$ ; на третьей стадии обработки (обработка с точностью 5–7 качества) –  $\varepsilon_{отд} < 1,5...2$ ;  $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > ... > \varepsilon_i$ ; сведения о точности обработки [1].

Устанавливается количество операций механической обработки и их содержание. На данном этапе разрабатывается как минимум два маршрута обработки поверхности: в условиях дифференциации и концентрации обработки. Возможные варианты построения маршрута обработки поверхностей деталей класса «валы» представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Типовые маршруты обработки поверхностей вала

Номер операции	Наименование операции, содержание переходов
1	2
<i>Вариант А (дифференциация обработки)</i>	
005	Фрезерно-центровальная 1 Фрезеровать торцы 2 Сверлить центровые отверстия
010	Токарная Установ А. 1 Черновое точение с правой стороны Установ Б. 1 Черновое точение с левой стороны
015	Токарная Установ А. 1 Чистовое точение с правой стороны, канавки и фаски Установ Б. 1 Чистовое точение с левой стороны, канавки и фаски
020	Термическая обработка
025	Круглошлифовальная Шлифование с правой стороны
030	Круглошлифовальная Шлифование с левой стороны
<i>Вариант Б (дифференциация обработки)</i>	
005	Фрезерно-центровальная 1 Фрезеровать торцы 2 Сверлить центровые отверстия

Окончание таблицы 5.2

1	2
010	Токарная 1 Черновое точение с правой стороны 2 Чистовое точение с правой стороны, канавки и фаски
015	Токарная 1 Черновое точение с левой стороны 2 Чистовое точение с левой стороны, канавки и фаски
020	Термическая обработка
025	Круглошлифовальная Шлифование с правой стороны
030	Круглошлифовальная Шлифование с левой стороны
<i>Вариант В (концентрация обработки)</i>	
005	Фрезерно-центровальная 1 Фрезеровать торцы 2 Сверлить центровые отверстия
010	Токарная Установ А. 1 Черновое точение с правой стороны 2 Чистовое точение с правой стороны Установ Б. 1 Черновое точение с левой стороны 2 Чистовое точение с левой стороны
015	Термическая обработка
020	Круглошлифовальная Установ А. 1 Шлифование с правой стороны Установ Б. 1 Шлифование с левой стороны

При выборе маршрутов обработки следует рассматривать для первого случая варианты А–В, для второго – варианты Б–В. При выборе маршрута обработки поверхностей следует учитывать сведения об экономической точности обработки [1], технологических возможностях различных методов, а также конструкцию детали, принятый вид заготовки и тип производства.

На стадии предварительной разработки технологического маршрута разрабатываются эскизы обработки с указанием поверхностей обработки и базирования с простановкой размерных линий без численных величин размеров, которые вместе с допусками определяются в ходе расчета технологических размерных цепей.

При выполнении этого раздела в пояснительной записке приводятся два маршрутных технологических процесса. Здесь же дается обоснование выбора конкретных моделей станков, станочных приспособлений, режущих и мерительных инструментов.

## 5.6 Требования к маршрутной карте

Маршрутная карта выполняется в виде таблицы достаточных размеров, содержание которой соответствует таблице 5.3.

В первой ячейке записываются номер, наименование операции и ее содержание, например, «Операция 005 – Токарная. Точить поверхность, выдерживая размеры 1 и 2 (это полная запись; обозначения 1 и 2 размеров указываются на эскизе). Сокращенная запись выглядит так: «Точить поверхность 1» [2].

В каждой второй ячейке маршрутной карты вычерчивается эскиз одной операции. При изображении эскиза операции, которая выполняется на многошпиндельных (многопозиционных) станках, количество эскизов во второй ячейке равно количеству позиций, включая загрузочную позицию.

Деталь на эскизах изображается в рабочем положении, в произвольном масштабе (одинаковом для всех эскизов) с указанием (условными обозначениями) установочных и зажимных элементов приспособления.

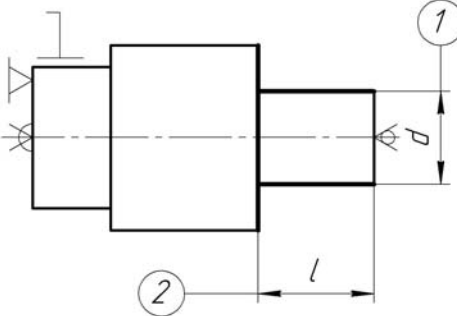
На операционных эскизах обрабатываемые поверхности изображаются утолщенными линиями (в 2–3 раза толще основной линии эскиза).

На операционных эскизах должны быть указаны:

- размеры обрабатываемых поверхностей с предельными отклонениями;
- шероховатость обрабатываемых поверхностей;
- допуски формы и взаимного расположения поверхностей, если они обеспечиваются на данной операции.

Маршрутные карты в виде таблиц (пример – таблица 5.3) разрабатываются для двух вариантов технологических процессов изготовления детали.

Таблица 5.3 – Маршрутная карта технологического процесса

Номер операции, ее наименование (по названию станка), содержание	Операционный эскиз обработки, схематичное обозначение опор, зажимных устройств и обрабатываемых поверхностей	Технологическое оснащение операции (станочное приспособление, режущий инструмент, средства контроля)	Технологическая база
Операция 010 – Токарная. Точить цилиндрическую поверхность, выдерживая размеры 1 ( $L = 120^{+0,5}$ ), 2 ( $d = 30_{-0,15}$ )		Патрон поводковый. Резец проходной упорный ГОСТ 18879–73, Т15К6. Штангенциркуль ШЦ-250-0,05	Центровые отверстия, левый торец

### 5.7 Расчет припусков на механическую обработку и определение межоперационных размеров

В курсовом проекте расчетно-аналитический метод определения припусков на обработку применяется в отношении наиболее точной поверхности. Такая поверхность определяется вместе с руководителем проекта.

Исходными данными, которые учитываются при расчете, являются:

- метод получения заготовки;
- размер поверхности по чертежу детали;
- маршрут обработки поверхности.

Расчет сопровождается таблицей (таблица 5.4) и схемой графического расположения припусков и допусков (рисунок 5.3).

Таблица 5.4 – Расчет припусков на механическую обработку ступени вала  $\varnothing 20_{-0,033}$  ( $l = 50$ ;  $Ra = 1,6$  мкм; обработка ведется в центрах)

Технологический переход обработки вала $\varnothing 18_{-0,021}$	Элемент припуска, мкм				Расчетный припуск $2Z_{i \min}$ , мкм	Расчетный размер $D_{pi}$ , мм	Допуск $TD$ , мкм
	$R_{z i-1}$	$h_{i-1}$	$r_{i-1}$	$\varepsilon_i$			
Заготовка	125	150	337	0		19,483	520
Точить начерно	63	60	17	0	$2 \cdot 612$	18,259	130
Точить начисто	6	12	–	0	$2 \cdot 140$	17,979	52
Итого					$2 \cdot 752$		

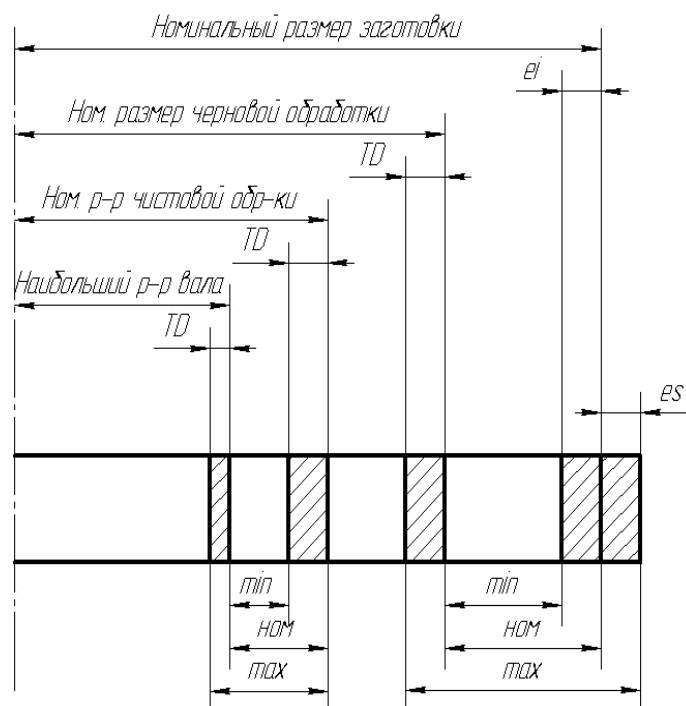


Рисунок 5.3 – Схема расположения операционных припусков и допусков на различных стадиях обработки валов

На остальные поверхности припуски назначают на основе опытно-статистического метода. Общие припуски определяются при расчете заготовки. Межоперационные припуски назначаются в соответствии с рекомендациями:

– при двукратной обработке поверхности значения промежуточных припусков могут быть приняты из соотношения 2:1, при трехкратной обработке – 3:2:1, при четырехкратной – 4:3:2:1;

– при назначении межоперационных припусков следует соблюдать условие

$$Z_{i\text{ном}} = (2\dots4) TA_{i-1}, \quad (5.10)$$

где  $Z_{i\text{ном}}$  – номинальный припуск на  $i$ -й операции;

$TA_{i-1}$  – допуск на обработку на предшествующей операции.

### **5.8 Назначение режимов резания для рассматриваемых маршрутов обработки**

В курсовом проекте назначаются режимы резания: на две разнохарактерные операции расчет ведется по формулам теории резания металлов, на остальные – по нормативам.

Расчет режимов резания с использованием аналитических формул выполняется по [4].

Для выбора режимов резания по нормативам можно использовать [5].

Расчет режимов резания для всех операций начинается с описания исходных условий обработки, которые включают:

- номер и наименование операции;
- краткое содержание операции;
- наименование и модель станка;
- наименование режущего инструмента, его размеры, марку материала режущей части.

Далее определяется глубина резания для диаметральных размеров с учетом величины припуска и маршрутной технологии (черновая обработка, чистовая окончательная) обработки поверхности. При этом на чистовую и отделочную обработку оставляют, как правило, 20...30 % общего припуска; на линейные размеры величина припуска принимается на основе решения размерных цепей.

Подача на оборот  $S_o$  (подача на зуб  $S_z$  при фрезеровании) выбирается в зависимости от глубины резания по [5]. Справочные значения подачи корректируются и принимаются окончательно по паспортным данным станка выбранной модели.

Скорость резания  $V_p$  рассчитывается по формулам теории резания или нормативам. По полученному значению скорости определяется расчетная частота вращения шпинделя:

$$n_p = \frac{1000V_p}{\pi \cdot D}, \quad (5.11)$$

где  $D$  – диаметр детали или инструмента.

Полученное значение частоты вращения корректируется (принимается меньшее) по паспорту станка. По принятой частоте вращения определяется действительная скорость резания:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}. \quad (5.12)$$

Рассчитанные режимы резания записываются в сводные таблицы режимов резания (таблица 5.5). В эти же таблицы записывается основное время, определенное с использованием установленной величины минутной подачи.

Таблица 5.5 – Сводная таблица режимов резания

Номер операции	Наименование операции, перехода	Глубина резания $t$ , мм	Длина резания $l_{рез}$ , мм	Подача $S_0$ , мм/об		Скорость $V$ , м/мин		Частота вращения $n$ , мин <sup>-1</sup>		Минутная подача $S_m$ , мм/мин	Основное время $t_0$ , мин
				Расчетная	Принятая	Расчетная	Принятая	Расчетная	Принятая		
005	Токарная с ЧПУ 1 Точение черновое Ø40	2,0	25	0,4	0,36	118	100	939	800	288	0,1
		1,5	40	0,4	0,36	118	98,9	751	630	227	0,19
010	Сверлильная 1 Сверление отв. Ø10	5	16	0,18	0,16	19	18,2	605	580	92,8	0,24

В заключение рассчитывается эффективная мощность резания  $N_e$  и проверяется возможность обработки по мощности привода главного рабочего движения станка  $N_{см}$ . При этом учитывают КПД станка, который в этом случае принимается равным 0,85...0,90.

### 5.9 Расчет норм времени

Расчет норм времени выполняется также для всех операций в соответствии с методикой, представленной в [2].

В крупносерийном и массовом производстве рассчитывается норма штучного времени:

$$t_{шт} = t_0 + t_в + t_{обс} + t_{омд}, \quad (5.13)$$

где  $t_o$  – основное время;  
 $t_e$  – вспомогательное время;  
 $t_{обс}$  – время на обслуживание рабочего места;  
 $t_{отд}$  – время на отдых.

В мелко- и среднесерийном производстве определяется норма штучно-калькуляционного времени:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{t_{н.з}}{n}, \quad (5.14)$$

где  $t_{н.з}$  – подготовительно-заключительное время;  
 $n$  – размер партии деталей.  
 Основное время находят по формуле

$$t_o = \frac{L_{рез} + y}{S_0 n} i, \quad (5.15)$$

где  $L_{рез}$  – длина резания;  
 $y$  – величина врезания и перебега;  
 $S_0$  – подача на оборот;  
 $i$  – количество рабочих ходов.

Вспомогательное время  $t_e$  состоит из затрат времени на отдельные приемы:

$$t_e = t_{уст} + t_{з.о} + t_{упр} + t_{изм}, \quad (5.16)$$

где  $t_{уст}$  – время на установку и снятие детали;  
 $t_{з.о}$  – время на закрепление и открепление детали;  
 $t_{упр}$  – время на приемы управления станком;  
 $t_{изм}$  – время на измерение детали.

Оперативное время рассчитывается по формуле

$$t_{он} = t_o + t_e. \quad (5.17)$$

Время на обслуживание рабочего места  $t_{обс}$  и время на отдых  $t_{отд}$  в серийном производстве по отдельности не определяются. В нормативах дается сумма этих двух составляющих в процентах от оперативного времени  $t_{он}$  [2].

В массовом производстве время на отдых  $t_{отд}$  задается в процентах от оперативного времени [2].

Время на обслуживание  $t_{обс}$  в массовом и крупносерийном производстве складывается из времени на организационное обслуживание  $t_{орг}$  и времени на техническое обслуживание  $t_{тех}$ :



$$t_{обс} = t_{опз} + t_{мех}. \quad (5.18)$$

Подготовительно-заключительное время состоит из ряда составляющих:

- время на получение инструментов и приспособления до начала работы на станке;
- время на наладку станка и установку инструментов и приспособления;
- время перемещений и поворотов рабочих органов станка, на настройку цепей рабочих движений станка;
- время на установку, выверку и регулировку положений упоров;
- время на снятие и сдачу инструментов и приспособлений после окончания обработки партии деталей на станке.

Составляющие норм штучного или штучно-калькуляционного времени по всем операциям двух вариантов технологических процессов сводятся в таблицу 5.6.

Таблица 5.6 – Сводная таблица норм времени

В минутах

Номер операции	Наименование операции	Основное время $t_o$	Вспомогательное время $t_{в}$			Оперативное время $t_{оп}$	Время обслуживания $t_{обс}$		Время на отдых $t_{отд}$	Штучное время $t_{шт}$	Подготовительно-заключительное время $t_{п.з.}$	Величина партии $n$	Штучно-калькуляционное время $t_{шт-к}$
			$t_{уст}$	$t_{упр}$	$t_{изм}$		$t_{мех}$	$t_{опз}$					

### 5.10 Уточнение типа производства

Тип производства в соответствии с ГОСТ 3.1121–84 характеризуется коэффициентом закрепления операций, который показывает число различных операций, закрепленных в среднем по цеху (участку) за каждым рабочим местом в течение месяца.

Для расчета коэффициента закрепления операций следует использовать нормы времени  $t_{шт}$  или  $t_{шт-к}$ , взятые из принятого варианта технологического процесса. Расчет следует вести в табличной форме (таблица 5.8). В первую графу таблицы записываются все операции технологического процесса, во вторую – нормы времени  $t_{шт}$  или  $t_{шт-к}$ .

Расчетное количество станков  $m_p$  для каждой операции определяется по следующей формуле и записывается в третью графу таблицы 5.8:

$$m_p = \frac{N \cdot t_{шт(шт-к)}}{60 \cdot F_{\partial} \cdot \eta_{3.н}}, \quad (5.19)$$

где  $N$  – годовой объем выпуска деталей, шт.;

$t_{um} (um-k)$  – штучное или штучно-калькуляционное время, мин;

$F_{\partial}$  – действительный годовой фонд времени, принимаемый при двухсменной работе по таблице 5.7, ч;

$\eta_{з.н}$  – нормативный коэффициент загрузки оборудования (для расчетов в курсовом проекте принимается  $\eta_{з.н} = 0,75 \dots 0,85$ ).

Принятое число рабочих мест  $P$  (четвертая графа таблицы 5.8) устанавливается округлением значений  $m_p$  (третья графа) до ближайшего большего целого числа.

Таблица 5.7 – Фонд времени работы оборудования

Оборудование	Номинальный годовой фонд времени, ч	Действительный годовой фонд времени, ч
Металлорежущие станки 1–30 категорий ремонтной сложности	4154	4029
Металлорежущие станки свыше 30 категории ремонтной сложности	4154	3904
Автоматические линии	4154	3738
Поточные линии	4154	3987
Рабочие места без сложного оборудования (верстаки, столы)	4154	4154

Таблица 5.8 – Расчет коэффициента закрепления операций

Операция	$t_{um-k}$ , МИН	$m_p$	$P$	$\eta_{з.ф}$	$O$
005 Токарная	4,2	0,087	1	0,087	9,20
010 Протяжная	1,2	0,025	1	0,025	32,00
015 Зубофрезерная	8,6	0,181	1	0,181	4,42
020 Зубошевинговальная	3,4	0,071	1	0,071	11,27
025 Внутришлифовальная	4,1	0,086	1	0,086	9,30
030 Плоскошлифовальная	3,6	0,076	1	0,076	10,53
			$\Sigma P = 6$		$\Sigma O = 76,72$
$K_{з.о} = 76,72/6 = 12,8$ – производство среднесерийное					

Далее для каждой операции вычисляют значение фактического коэффициента загрузки оборудования

$$\eta_{з.ф} = \frac{m_p}{P}. \quad (5.20)$$

Количество операций (шестая графа таблицы 5.8), выполняемых на рабочем месте, определяется по формуле

$$O = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{з.ф}}. \quad (5.21)$$

Коэффициент закрепления операций рассчитывается по формуле

$$K_{3.0} = \frac{\sum O}{\sum P}. \quad (5.22)$$

По ГОСТ 3.1121–84 приняты следующие коэффициенты закрепления операций  $K_{3.0}$ :

$K_{3.0} \leq 1$  – массовое производство;

$1 < K_{3.0} \leq 10$  – крупносерийное производство;

$10 < K_{3.0} \leq 20$  – среднесерийное производство;

$20 < K_{3.0} \leq 40$  – мелкосерийное производство;

$K_{3.0} > 40$  – единичное производство.

Для серийного производства рассчитывается размер партии деталей по формуле

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi}, \quad (5.23)$$

где  $a$  – количество дней запаса деталей на складе;

$\Phi$  – количество рабочих дней в году.

Рекомендуется принимать  $a = 2 \dots 3$  дн. – для крупных деталей;  $a = 3 \dots 5$  дн. – для средних;  $a = 5 \dots 10$  дн. – для мелких.

Для массового и крупносерийного производства рассчитывается такт выпуска по формуле

$$t_e = \frac{60 \cdot F_d}{N}, \quad (5.24)$$

где  $F_d$  – годовой фонд времени работы оборудования, ч.

### **5.11 Экономическое обоснование принятого варианта технологического процесса**

В курсовом проекте сравниваются два возможных варианта изготовления детали. При этом применяется методика, изложенная в [2].

Все расчеты раздела выполняются с использованием цен и тарифных ставок, действующих в Республике Беларусь на момент выполнения расчетов.

При оценке эффективности того или иного варианта техпроцесса наиболее выгодным признается тот, у которого сумма текущих и приведенных капитальных затрат на единицу продукции будет минимальной.

Расчеты приведенных затрат и технологической себестоимости выполняются для всех изменяющихся операций технологического процесса.

Приведенные затраты для двух сравниваемых вариантов техпроцесса рассчитываются по формуле

$$Z = C + E_n (K_c + K_{зд}), \quad (5.25)$$

где  $C$  – технологическая себестоимость, р.;

$E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений,  $E_n = 0,1$ ;

$K_c, K_{зд}$  – удельные капитальные вложения в станок и здание соответственно.

Технологическая себестоимость рассчитывается для всех операций по формуле

$$C = (C_z + C_{эксн}) \frac{t_{шт-к}}{60}. \quad (5.26)$$

Расчет основной и дополнительной зарплаты выполняется по формуле

$$C_z = C_ч \cdot K_д \cdot Z_n \cdot K_{о.м.}, \quad (5.27)$$

где  $C_ч$  – часовая тарифная ставка рабочего (принимается по установленным тарифным ставкам), р./ч;

$K_д$  – коэффициент, учитывающий дополнительную зарплату и начисления,  $K_д = 1,7$ ;

$Z_n$  – коэффициент, учитывающий оплату наладчика,  $Z_n = 1,0$ ;

$K_{о.м.}$  – коэффициент, учитывающий оплату рабочего при многостаночном обслуживании,  $K_{о.м.} = 1,0$ .

Расчет часовых затрат по эксплуатации рабочего места ведется по формуле

$$C_{эксн.} = C_{ч.з} \cdot K_m, \quad (5.28)$$

где  $C_{ч.з}$  – часовые затраты на базовом рабочем месте (принимаются по данным базовых предприятий), р./ч. Этими затратами не всегда можно располагать для определенного рабочего места на предприятии, а потому при расчетах их следует принимать приближенно и в ряде случаев условно. Однако для обоих технологических процессов эти затраты должны быть одинаковыми;

$K_m$  – коэффициент, показывающий, во сколько раз затраты, связанные с работой данного станка, больше, чем аналогичные расходы для базового станка (принимается по данным [1, таблица 2.54, с. 97]).

Удельные капитальные вложения в станок определяются по формуле

$$K_c = \frac{Ц_c \cdot K_m \cdot C_n}{N}, \quad (5.29)$$

где  $C_c$  – отпускная цена станка, р.;

$K_m$  – коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку и монтаж,  $K_m = 1,1$ ;

$C_n$  – принятое число станков на операцию,  $C_n = 1,0$ ;

$N$  – годовой объем выпуска деталей.

Удельные капитальные вложения в здание рассчитываются по формуле

$$K_{зд} = \frac{C_{пл} \cdot P_c \cdot C_n}{N}, \quad (5.30)$$

где  $C_{пл}$  – стоимость 1 м<sup>2</sup> производственной площади, р./м<sup>2</sup>;

$P_c$  – площадь, занимаемая станком с учетом проходов, м<sup>2</sup>;

$C_n$  – принятое число станков на операцию,  $C_n = 1,0$ .

Площадь, занимаемая станком, определяется по формуле

$$P_c = f \cdot K_c, \quad (5.31)$$

где  $f$  – площадь станка в плане (произведение длины и ширины), м<sup>2</sup>;

$K_c$  – коэффициент, учитывающий дополнительную производственную площадь,  $K = 3,5$  при  $f = 2...4$  м<sup>2</sup>;  $K = 3$  при  $f = 4...6$  м<sup>2</sup>;  $K = 4$  при  $f < 2$  м<sup>2</sup>.

Экономический эффект от внедрения предпочтительного варианта технологического процесса рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E} = (Z_{баз} - Z_{пр}) / N, \quad (5.32)$$

где  $Z_{баз}$  – приведенные затраты по базовому варианту техпроцесса;

$Z_{пр}$  – приведенные затраты по проектируемому или предпочтительному варианту.

Результаты расчетов приведенных затрат сводятся в таблицы 5.9 и 5.10. Расчеты ведутся по одним и тем же формулам (5.26)–(5.30). В таблицу 5.9 вносятся результаты расчетов для базового варианта технологического процесса.

Таблица 5.9 – Расчет приведенных затрат (вариант дифференциации обработки)

Операция	Модель станка	$t_{шт}$ , мин	$C_z$ , р.	$C_{эсп}$ , р.	$K_c$ , р.	$K_{зд}$ , р.	$C$ , р.
010 Токарная	16K20	7,8	(32)	(33)	(34)	(35)	(37)
...							
025 Сверлильная	2Н55	6,4	(32)	(33)	(34)	(35)	(37)
...							
Итого		$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$			$\Sigma$

В таблицу 5.10 вносятся аналогичные результаты расчетов для принятого (предпочтительного) варианта технологического процесса.

Таблица 5.10 – Расчет приведенных затрат (вариант концентрации обработки)

Операция	Модель станка	$t_{um}$ , мин	$C_z$ , р.	$C_{эксп}$ , р.	$K_c$ , р.	$K_{зд,р.}$	$C$ , р.
010 Токарная с ЧПУ	16K20Ф3	2,3	(32)	(33)	(34)	(35)	(37)
015 Сверлильная	2P135Ф2	3,4	(32)	(33)	(34)	(35)	(37)
...							
Итого		$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$			$\Sigma$

Экономический эффект от внедрения предпочтительного варианта технологического процесса определяется по формуле (5.32).

Наиболее экономически выгодный вариант технологического процесса принимается для дальнейших расчетов.

### 5.12 Размерный анализ технологического процесса

Главная задача размерного анализа технологического процесса (ТП) – обоснованное определение промежуточных и окончательных размеров и допусков на них для обрабатываемой детали. Особенно важно это для линейных размеров. Основные этапы размерного анализа технологического процесса:

- разработка размерной схемы ТП;
- выявление технологических размерных цепей;
- расчет технологических размерных цепей.

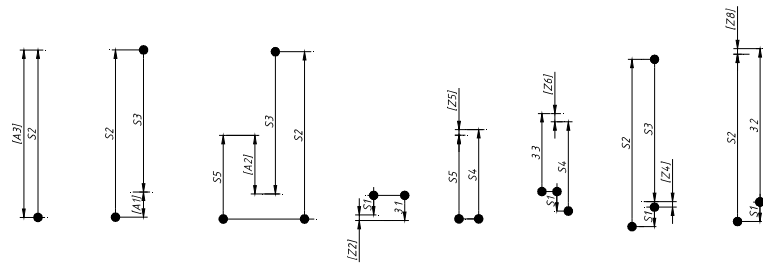
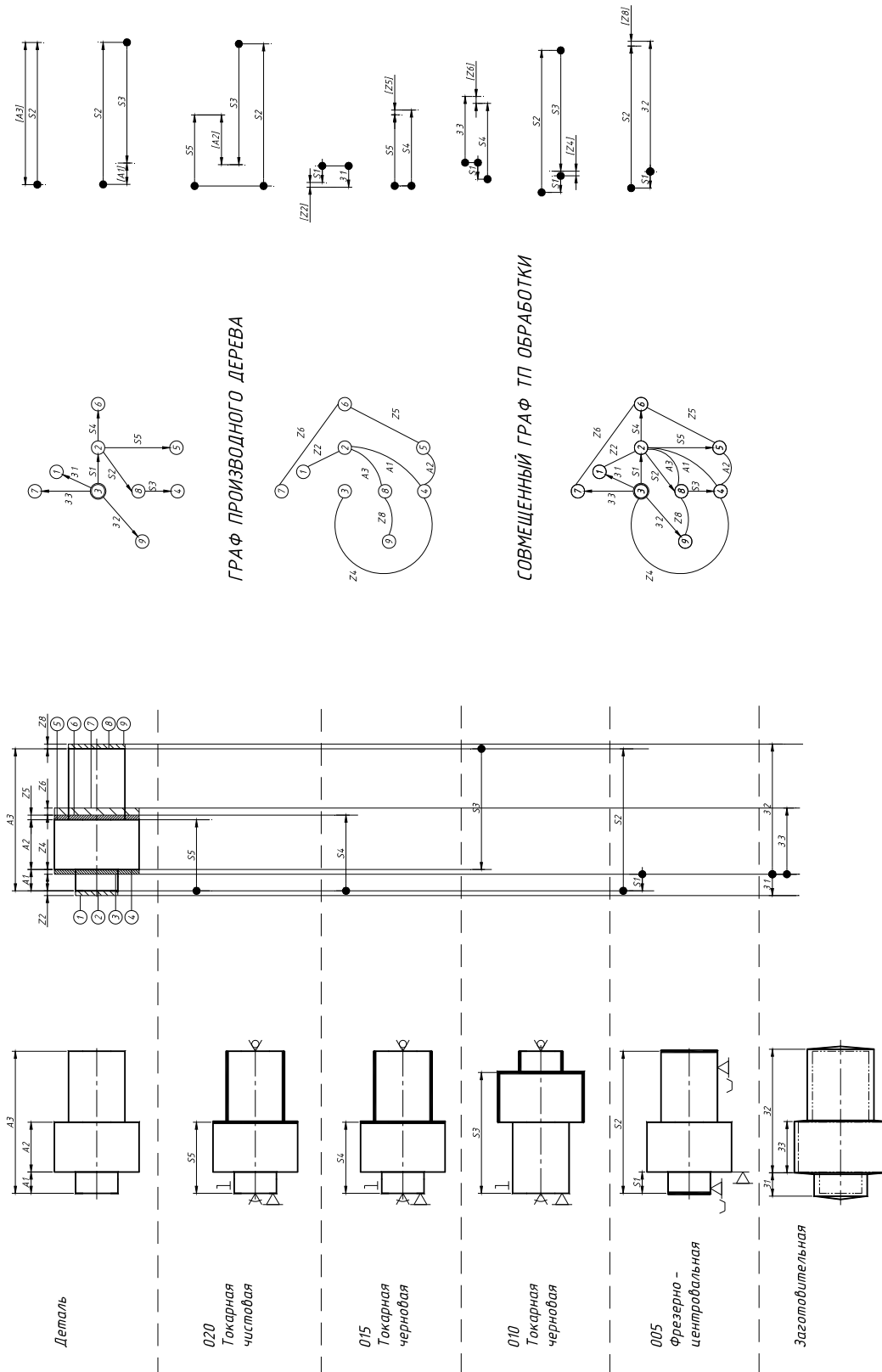
#### 5.12.1 Разработка размерной схемы ТП.

Вычерчивают эскиз детали в одной (для тел вращения), двух или трех проекциях. На детали указывают размеры с допусками, установленными конструктором. Конструкторские размеры обозначают буквой  $A_i$ , где  $i$  – порядковый номер размера. Также на эскизе указываются припуски  $Z_m$ , где  $m$  – номер поверхности, к которой относится припуск. Все поверхности детали нумеруются по порядку слева направо. Через границы нумерованных поверхностей проводят вертикальные линии. Между вертикальными линиями по порядку снизу вверх указывают технологические размеры, получаемые при выполнении каждого технологического перехода. Технологические размеры обозначают буквой  $Sk$ , где  $k$  – порядковый номер технологического перехода. Размеры заготовки обозначают  $Z_r$ , где  $r$  – порядковый номер поверхности заготовки (рисунок 5.4).

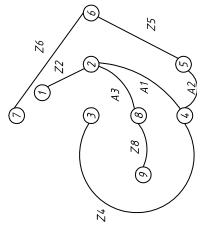
### *5.12.2 Выявление технологических размерных цепей.*

Выявление размерных технологических цепей даже при составленной размерной схеме техпроцесса – достаточно сложная задача, особенно при большом (более пяти) числе звеньев. Проще выявлять технологические размерные цепи с помощью теории графов. Приняв поверхности заготовки и детали за вершины, размерные связи между ними за ребра, чертеж детали можно представить в виде двух деревьев. Дерево с конструкторскими размерами и припусками на обработку называется исходным, а дерево с технологическими размерами и размерами заготовки – производным или технологическим. Если оба дерева совместить, то такой совмещенный граф позволяет представить геометрическую структуру технологического процесса обработки детали.

Любой замкнутый контур на совмещенном графе, состоящий из ребер, образует технологическую размерную цепь. В ней ребро исходного дерева является замыкающим звеном, ребра производного дерева – составляющими. В каждой размерной цепи одно ребро должно быть ребром исходного дерева (конструкторский размер или припуск), а остальные – ребрами производного дерева, т. е. технологическими размерами или размерами заготовки.



ГРАФ ПРОИЗВОДНОГО ДЕРЕВА



СОВМЕЩЕННЫЙ ГРАФ ТП ОБРАБОТКИ

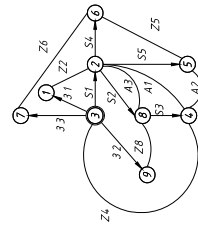


Рисунок 5.4 – Размерный анализ технологического процесса



При построении графов размерных цепей принято: вершины (поверхности) обозначают кружками, внутри которых указывают их номер. Ребра производного дерева изображают прямыми линиями со стрелками на конце, показывающими, в какую вершину они входят. Ребра исходного дерева изображают в виде неориентированных дуг, если они соответствуют конструкторским размерам, и в виде волнистых линий, если это припуски. При построении производного дерева корнем выбирают вершину (поверхность), к которой на размерной схеме техпроцесса не подходит ни одна стрелка.

После построения проверяют правильность каждого дерева.

1 Число вершин у каждого дерева должно быть равно числу поверхностей на размерной схеме техпроцесса (с учетом поверхностей заготовки и промежуточных).

2 Число ребер у каждого дерева должно быть одинаковым и равным числу вершин без единицы.

3 К каждой вершине производного дерева, кроме корневой, должна приходить только одна стрелка ориентированного ребра, а к корневой вершине – ни одной.

4 Деревья не должны иметь разрывов и замкнутых контуров.

После проверки правильности деревьев совмещают так, чтобы вершины с одинаковыми порядковыми номерами совпали, при этом вершины надо располагать так, чтобы ребра не пересекались (см. рисунок 5.4).

Любой замкнутый контур на графе совмещенного дерева образует размерную цепь, у которой ребро исходного дерева является замыкающим звеном, а ребра производного дерева – составляющими звеньями. В качестве технологической размерной цепи принимается такой замкнутый контур, в котором имеется только одно ребро исходного дерева, а остальные – производного.

Выявление и расчет размерных цепей по графу начинают с двухзвенных размерных цепей, а затем в такой последовательности, чтобы в каждой цепи было только одно неизвестное по величине звено, а остальные звенья были определены расчетом предыдущих размерных цепей. Для этого рекомендуется выявление и расчет размерных цепей начинать в последовательности, обратной выполнению технологического процесса, т. е. начинать с последней операции и последнего перехода и заканчивать первым переходом или размером заготовки.

Граф размерных цепей облегчает выявление размерных цепей и позволяет обнаружить ошибки в технологии или на чертеже. Если при составлении производного дерева (или исходного) обнаружится разрыв между вершинами или появится замкнутый контур, то это будет указывать в первом случае на отсутствие нужных размеров в принятой технологии, а во втором – на наличие лишних размеров.

### *5.12.3 Расчет технологических размерных цепей.*

Расчет технологических размерных цепей сводится в таблицу 5.11. В первый столбец заносятся определяемые размеры (выдерживаемые размеры на технологической операции). Используя сведения об экономически выгодной

точности обработки [1], предварительно устанавливают допуски на обработку (столбец 2 таблицы 5.11). Выявляются и записываются уравнения размерных цепей для определения соответствующего параметра.

Таблица 5.11 – Расчет технологических размерных цепей

Определяемый размер	Экономически выгодный допуск обработки, мм	Уравнение размерной цепи	Замыкающее звено	Определяемый размер
1	2	3	4	5
S2	0,1	A3 = S2	A3 = 100 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.2</sub>	S2 = 100 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.2</sub>
S3	...	A1 = S2 – S3	A1 = ...	S3 = ...
S5	...	A2 = S5 + S3 – S2	A2 = ...	S5 = ...
S1	...	Z2 = 31 – S1	Z2 = ...	S1 = ...
S4	...	Z5 = S4 – S5	Z5 = ...	S4 = ...

Далее определяется величина замыкающего звена и выполняется расчет цепи. Технологические размерные цепи редко содержат более четырех звеньев. Поэтому их расчет чаще всего производят по методу полной взаимозаменяемости. Если число звеньев более четырех, используют вероятностный метод.

В зависимости от характера замыкающего звена расчет выполняется в следующем порядке.

### 1 Замыкающее звено – конструкторский размер.

Устанавливается и записывается в столбец 4 (см. таблицу 5.11) величина замыкающего звена с отклонениями – данные принимаются по чертежу детали. Проверяется, обеспечивает ли структура технологического процесса точность (допуск) конструкторских размеров. Для всех размерных цепей, где замыкающее звено – конструкторский размер, при расчете должно выполняться требование

$$TA_i \geq \sum TS_i, \quad (5.33)$$

где  $TA_i$  – допуск конструкторского размера, являющегося замыкающим звеном рассматриваемой размерной цепи;

$\sum TS_i$  – сумма допусков всех технологических размеров, которые входят в эту цепь.

Далее устанавливаются на основании расчета размерной цепи номинальное значение и предельные отклонения искомого звена, результаты заносятся в столбец 5 таблицы 5.11.

### 2 Замыкающее звено – припуск.

Устанавливается минимальное значение припуска расчетным или табличным методом (таблица 5.12).

Таблица 5.12 – Минимальные припуски на сторону под различные переходы обработки торцовых поверхностей [17]

В миллиметрах

Диаметр, мм	Под чистовое точение после чернового	Под шлифование после чистового точения чугунных и стальных заготовок	Под черновое точение заготовок	
			Горячая штамповка	Чугунное литье
До 50	0,35	0,20	0,9	1,2
Св. 50...120	0,45	0,25	1,3	1,6
Св. 120...260	0,55	0,30	1,8	2,3
Св. 260...500	0,65	0,35	2,1	2,7
Св. 500	0,75	0,40	2,4	3,0

Определяется поле рассеяния припуска:

$$\omega Z_i \geq \sum T S_i . \quad (5.34)$$

Рассчитывается максимальная величина припуска  $Z_{i\max}$ . Критерием для оценки правильности принятого варианта обработки является ограничение по величине отношения  $Z_{i\max}/Z_{i\min}$  (для лезвийной обработки –  $Z_{i\max}/Z_{i\min} \leq 3$  [17]).

Далее устанавливается минимальное или максимальное значение искомого звена, определяются номинальное значение и предельные отклонения, результаты заносятся в столбец 5 таблицы 5.11.

Если принятый технологический процесс не обеспечивает требуемую точность обработки, изменяют схемы базирования заготовок, точность обработки на отдельных переходах, структуру операций, последовательность выполнения операций и т. п. с выполнением повторного размерного анализа для вновь принятого процесса обработки.

### 5.13 Расчет наладочных размеров маршрута обработки

При настройке инструмента перед обработкой партии деталей методом автоматического получения размеров центр рассеивания размеров должен быть расположен в такой части установленного допуска, чтобы иметь возможность использования всего поля допуска для компенсации размерного износа инструмента и для сокращения количества подналадок за период стойкости инструмента. Например, если настроить при точении резец на середину поля допуска, то для компенсации износа резца можно будет применить лишь половину допуска на размер. Если же настроечный размер расположен на расстоянии примерно в  $1/3 TD$  от нижнего предельного размера, то на компенсацию износа инструмента можно будет использовать почти две трети поля допуска. В соответствии с рекомендациями [10, 11] уровень настройки  $X_0$  определяется по одной из следующих формул:

– при смещении уровня настройки в процессе обработки к верхнему

предельному отклонению  $ESA$  поля допуска на обработку (при наружном точении)

$$X_0 = ESA - \delta_c - 3\sigma_m - \frac{IT_H}{2}; \quad (5.35)$$

– при смещении уровня настройки в процессе обработки к нижнему предельному отклонению  $EIA$  поля допуска на обработку (при растачивании)

$$X_0 = EIA + \delta_c + 3\sigma_m + \frac{IT_H}{2}, \quad (5.36)$$

где  $ESA$  и  $EIA$  – верхнее и нижнее отклонения размера  $A$  обрабатываемой поверхности, мм;

$\delta_c$  – смещение уровня настройки за период стойкости инструмента (между настройками инструмента), мм;

$\sigma_m$  – среднее квадратическое отклонение размеров при обработке в малой выборке, мм;

$IT_H$  – поле допуска на настройку, мм.

Основной причиной смещения настройки является размерный износ инструмента. При односторонней обработке (точение торца, обработка плоскости и т. п.)

$$\delta_c \approx \Delta_H = \frac{u_0 l}{1000}. \quad (5.37)$$

При двусторонней обработке (обработка поверхности вращения, одновременная обработка двух поверхностей и т. п.)

$$\delta_c \approx 2\Delta_H = \frac{2u_0 l}{1000}, \quad (5.38)$$

где  $u_0$  – относительный износ инструмента, мкм/км [12];

$l$  – путь резания за период стойкости инструмента, м [12].

Число деталей, обработанных за период стойкости инструмента, может быть определено по формуле

$$n = \frac{T}{T_o}, \quad (5.39)$$

где  $T$  – период стойкости инструмента, мин;

$T_o$  – основное время обработки одной детали, мин.

Среднее квадратическое отклонение размеров  $\sigma_m$  в малой выборке может быть рассчитано по формуле

$$\sigma_m = \frac{\Delta_m}{4}, \quad (5.40)$$

где  $\Delta_m$  – значение поля рассеивания размеров в выборке [12].

Допустимая в разных условиях обработки погрешность настройки при распределении ее значений по нормальному закону может быть определена по формуле

$$IT_n = \sqrt{ITA^2 - \Delta_m^2 - \delta_c^2 - \Delta_{н.у}^2 - \delta_{изм}^2}, \quad (5.41)$$

где  $ITA$  – поле допуска на обработку, мм;

$\Delta_{н.у}$  – абсолютное значение погрешности контроля точности настройки, мм;

$\delta_{изм}$  – погрешность измерения, мм.

Значение  $\Delta_{н.у}$  представляет собой погрешность метода расчета среднего арифметического значения или медианы в малой выборке и может быть вычислено следующим образом:

$$\Delta_{н.у} = \Delta_{расч} = \frac{\sigma_m}{\sqrt{n}}, \quad (5.42)$$

где  $n$  – объем выборки.

Допустимая для данных условий погрешность измерений  $\delta_{изм}$  принимается по [13]. В соответствии с  $\delta_{изм}$  по [15] выбираются средства измерений. Результаты расчетов сводят в таблицу 5.13.

Таблица 5.13 – Наладочные размеры обработки ступени вала Ø18<sub>-0,02</sub>

Операция	Содержание перехода	Технологический размер	Наладочный размер	Средства контроля
010	Точение черновое	Ø18,26 <sup>+0,13</sup>	Ø18,3	...
015	Точение чистовое	...	...	...
025	Шлифование	...	...	...

### 5.14 Заключение

В этом разделе приводятся общие выводы по проекту, наиболее существенные отличия принятого варианта технологического процесса от других возможных вариантов. Здесь отражается использование новых высокопроизводительных методов обработки, нового оборудования, инструмента и приспособлений. Даются сведения о возможности получения экономического эффекта и его величине.

## Список литературы

- 1 Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. М. Дальского [и др.]. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2001. – Т. 1. – 910 с.
- 2 Технология машиностроения. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие / М. Ф. Пашкевич [и др.]; под ред. М. Ф. Пашкевича. – Минск: Изд-во Гревцова, 2010. – 400 с.
- 3 Технология машиностроения: учебное пособие / М. Ф. Пашкевич [и др.]; под ред. М. Ф. Пашкевича. – Минск: Новое знание, 2008. – 478 с.
- 4 Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – Москва: Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
- 5 Режимы резания металлов: справочник / Под ред. Ю. В. Барановского. – Москва: Машиностроение, 1972. – 408 с.
- 6 Технологическая оснастка: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / М. Ф. Пашкевич [и др.]. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 320 с.
- 7 **Матвеев, В. В.** Проектирование экономичных технологических процессов в машиностроении / В. В. Матвеев, Ф. И. Бойков, Ю. П. Свиридов. – Челябинск: Юж.-Ураль. кн. изд-во, 1979. – 112 с.: ил.
- 8 **Махаринский, Е. И.** Основы технологии машиностроения: учебник / Е. И. Махаринский, В. А. Горохов. – Минск: Вышэйшая школа, 1997. – 432 с.: ил.
- 9 **Пузанова, В. П.** Размерный анализ и простановка размеров в рабочих чертежах / В. П. Пузанова. – Москва: Машгиз, 1958. – 196 с.
- 10 **Маталин, А. А.** Технология машиностроения: учебник для вузов / А. А. Маталин. – Ленинград: Машиностроение, 1985. – 496 с.
- 11 Лабораторный практикум по технологии машиностроения / В. В. Бабук [и др.]; под ред. В. В. Бабука. – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 220 с.
- 12 Дипломное проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов / В. В. Бабук [и др.]; под общ. ред. В. В. Бабука. – Минск: Вышэйшая школа, 1979. – 464 с.
- 13 **ГОСТ 8.051–81 (СТ СЭВ 303–76).** Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм. – Москва: Изд-во стандартов, 1987. – 11 с.
- 14 **Беляев, Г. Я.** Технология машиностроения: учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта и курсовой работы для студентов дневной и заочной форм обучения / Г. Я. Беляев, М. М. Канне, А. И. Медведев; под ред. М. М. Канне. – Минск: БНТУ, 2006. – 88 с.
- 15 **РД 50-98–86.** Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм (по применению ГОСТ 8.051–81). – Москва: Изд-во стандартов, 1987. – 115 с.
- 16 Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении / Под ред. В. В. Бабука. – Минск: Вышэйшая школа, 1987. – 255 с.
- 17 **Ашихмин, В. Н.** Размерный анализ технологических процессов. Практикум / В. Н. Ашихмин. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2010. – 60 с.

**Приложение А  
(справочное)**

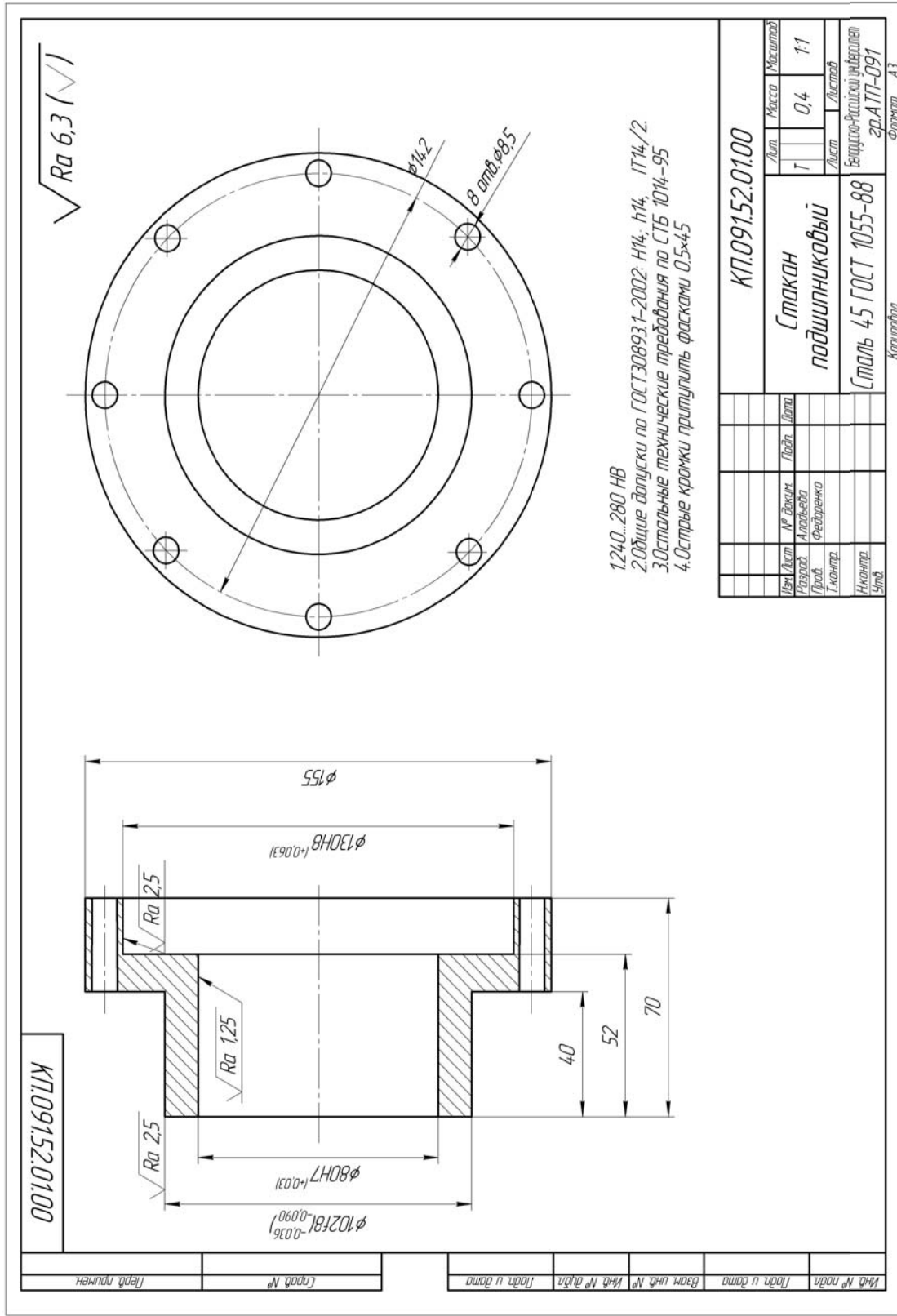


Рисунок А.1 – Пример выполнения чертежа детали

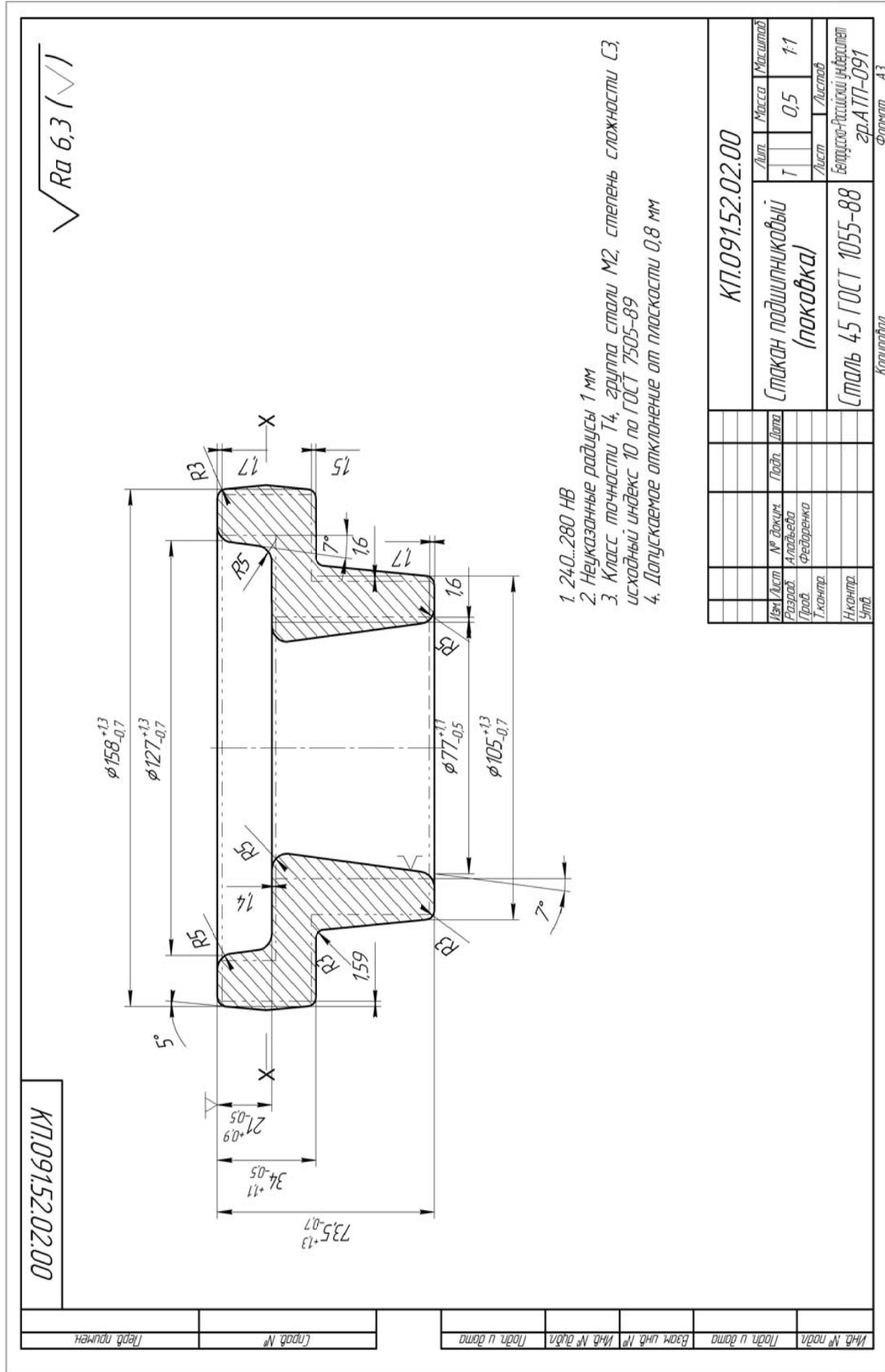


Рисунок А.2 – Пример выполнения чертежа заготовки



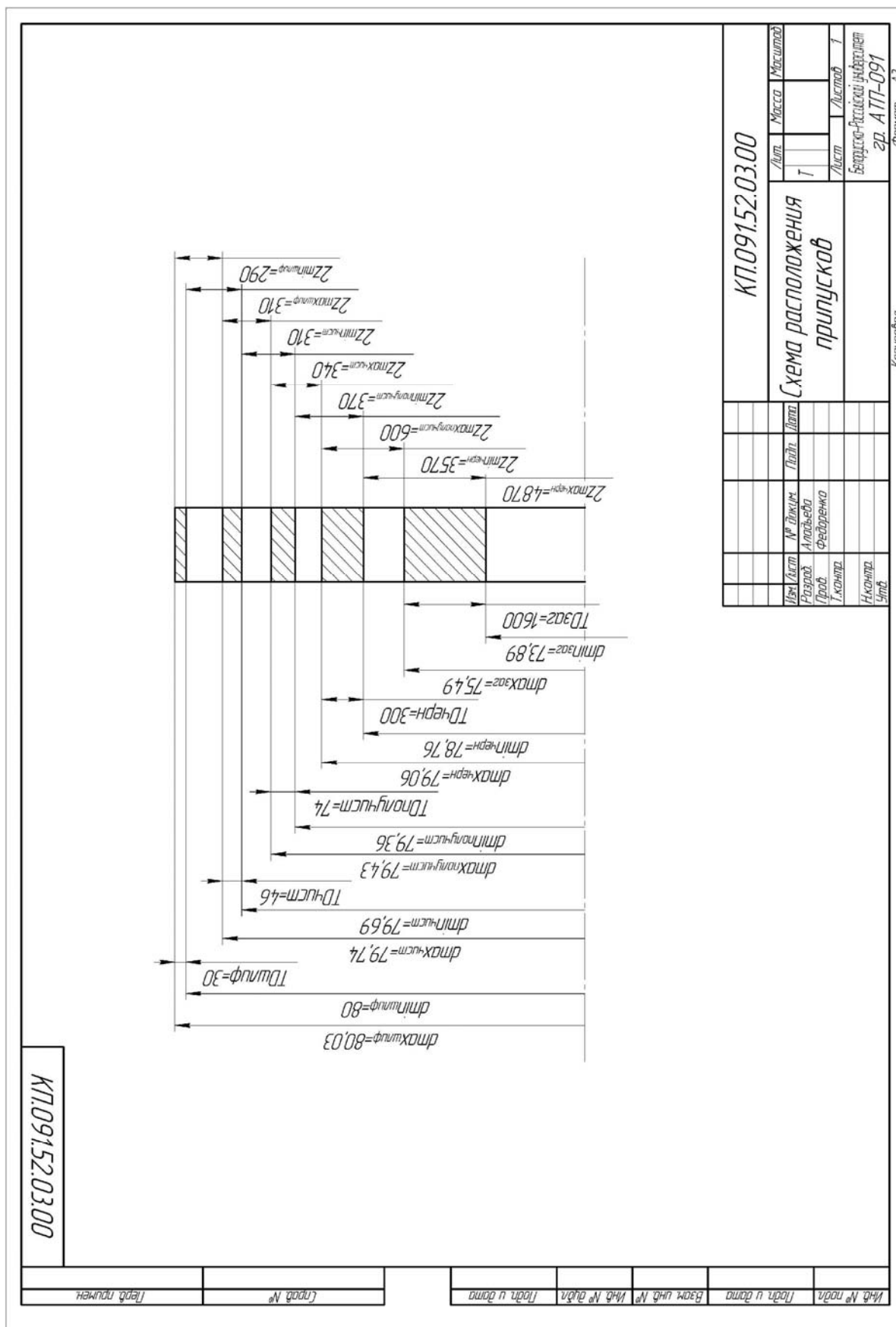


Рисунок А.3 – Пример выполнения схемы расположения припусков

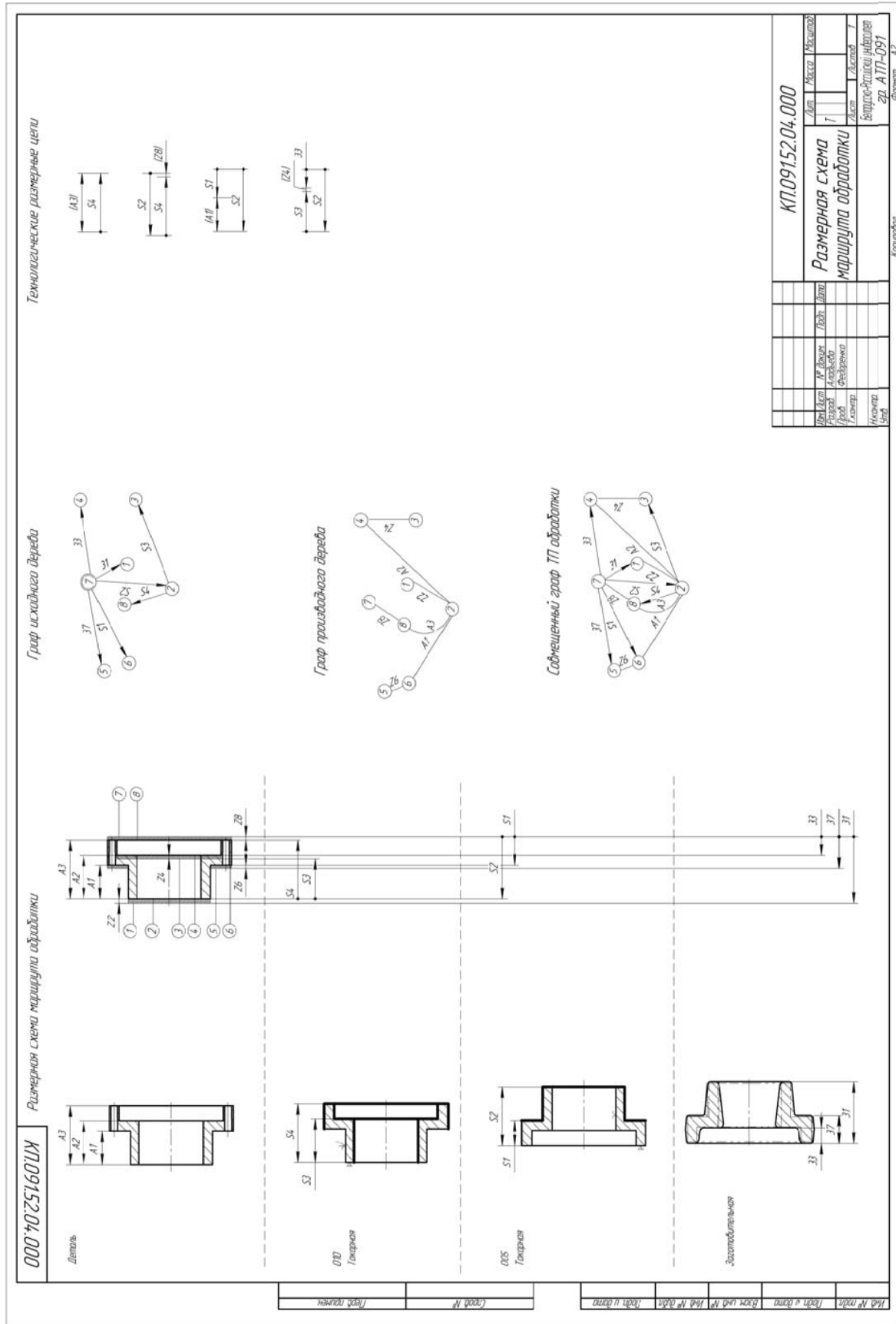


Рисунок А.4 – Пример выполнения размерной схемы маршрута обработки