

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт машиностроения  
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного  
производства»

Д.А. Расторгуев

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ  
ВЫПУСКНОЙ  
КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО  
НАПРАВЛЕНИЯ**

Электронное  
учебно-методическое пособие



УДК 621.9.06(075.8)

ББК 34.5

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, руководитель инженерной службы

ООО «Диамера» *Д.Е. Салабаев;*

канд. техн. наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии

машиностроительного производства» Тольяттинского

государственного университета *Д.Г. Левашкин.*

Расторгуев, Д.А. Технологическая часть выпускной квалификационной работы машиностроительного направления : электрон. учеб.-метод. пособие / Д.А. Расторгуев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2017. – 1 оптический диск.

В учебно-методическом пособии рассматриваются вопросы разработки технологического раздела выпускной квалификационной работы, посвященного этапам проектирования технологического процесса изготовления деталей машин.

Предназначено для студентов направлений 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и 15.03.01 «Машиностроение».

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПИИ 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

Редактор *И.И. Меметова*  
Технический редактор *Н.П. Крюкова*  
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*  
Художественное оформление,  
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

Дата подписания к использованию 17.04.2017.

Объем издания 0,97 Мб.

Комплектация издания:

компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-65-16.

Издательство Тольяттинского государственного университета  
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,  
тел. 8 (8482) 53-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ .....	6
2. ВЫБОР ТИПА ПРОИЗВОДСТВА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА .....	9
3. ВЫБОР МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ .....	11
4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА. ВЫБОР СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ .....	16
5. ВЫБОР СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ (СТО) ...	18
6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ .....	20
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	30
Библиографический список .....	31

## ВВЕДЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы является повышение эффективности технологических и производственных процессов современного машиностроения. Это достигается в рамках работы за счет решения инженерно-технической задачи, связанной с конструированием и производством изделий машиностроения, средств производства, исследованием технологических процессов.

В учебно-методическом пособии приведены основные этапы проектирования технологического процесса изготовления деталей машин, связанные с производством изделий машиностроения. Технологическая часть включает все необходимые расчеты, основанные на типовых методиках, взятых из справочников, стандартов и методических указаний. Общий объем расчетно-пояснительной записки составляет 40–60 страниц. Из них на технологическую часть работы приходится 20–40 страниц. Из общего количества графической части (6 листов) на технологическую приходится порядка 3–5 листов формата А1.

Порядок следования подразделов в технологической части:

1. Анализ исходных данных, определение типа производства и выбор стратегии разработки технологического процесса.
2. Выбор метода получения исходной заготовки и ее проектирование.
3. Технологический маршрут. Схемы базирования.
4. Выбор по операциям средств технологического оснащения.
5. Проектирование технологических операций.

Разделы методического пособия следуют в указанном выше порядке.

В рамках графической части выполняются чертежи детали (с изменениями), исходной заготовки, план изготовления детали и технологические наладки, согласованные с руководителем.

Приведена основная структура технологического раздела. Она является основой для самостоятельной работы студентов, которые дополняют ее своими расчетами.

## **1. АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ**

Исходные данные для проектирования технологического процесса собираются и анализируются в рамках преддипломной практики. К ним относятся сборочный чертеж изделия; годовой объем выпуска изделий; детализовка детали с техническими требованиями; режим работы предприятия, базовый технологический процесс (если есть). Перед разработкой технологического процесса необходимо выполнить его анализ по приведенному ниже алгоритму [11]. Задачей первого раздела является формулировка технологических задач работы.

### **1.1. Анализ служебного назначения и условий работы детали**

Деталь (наименование детали) предназначена для (передачи усилия, крутящего момента, перемещения, фиксации, поворота, базирования и т. д.).

Условия работы детали: характер и величина нагрузки, трение в контакте, скорость, обороты, давление, температура, характер изнашивания и т. п.

Химический состав материала детали, основные физико-механические свойства [1–4; 22], коэффициент обрабатываемости при обработке твердосплавным и быстрорежущим инструментом  $K_o$  [22; 30].

### **1.2. Систематизация поверхностей детали**

Результаты по систематизации представляют в таблице с назначенными техническими требованиями (табл. 1). На рисунке показывают эскиз детали без масштаба с соблюдением пропорций и нумерацией поверхностей.

## Анализ технических требований к поверхностям

№ пов.	Вид пов.	Тип	Габариты, мм	Квалитет	Технические требования		Шероховатость, мкм
					расположения	формы	

*Примечание.* Вид поверхностей по назначению: ОКБ – основная конструкторская база, ВКБ – вспомогательная конструкторская база, ИП – исполнительная поверхность, С – свободная. Типы поверхностей: П – плоская, ЦН – цилиндрическая наружная, ЦВ – цилиндрическая внутренняя, Р – резьбовая, Ф – фасонная, З – зубчатая.

### 1.3. Анализ технологичности конструкции детали

Анализ технологичности детали выполняется для выявления возможностей снижения себестоимости обработки детали путем усовершенствования ее конструкции [14; 27; 46].

Если деталь технологичная, то вывод по анализу технологичности делается общий по всем группам технологичности (технологичности заготовки, технологичности конструкции детали в целом, технологичности базирования и закрепления, технологичности обрабатываемых поверхностей). Если деталь содержит нетехнологичные элементы, тогда они подробно расписываются.

### 1.4. Задачи технологической части работы

1. Выбрать тип производства и стратегию разработки проектируемого технологического процесса.
2. Выбрать рациональный способ получения исходной заготовки.
3. Определить маршруты обработки поверхностей.
4. Сформировать из переходов технологический маршрут. Разработать для каждой операции схему базирования заготовки.

5. Обоснованно выбрать технологическое оборудование, станочные приспособления, режущий, вспомогательный и мерительный инструменты, контрольные приспособления.
6. Рассчитать или назначить операционные припуски на обработку и спроектировать заготовку.
7. Определить содержание и структуру технологических операций, рассчитать или назначить режимы резания и время на обработку.
8. Заполнить технологическую документацию и разработать графические материалы.

## **2. ВЫБОР ТИПА ПРОИЗВОДСТВА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА**

В данном разделе необходимо в зависимости от параметров детали и годового объема выпуска определить тип производства и с учетом этого выбрать форму его организации.

### **2.1. Определение типа производства**

Если нет информации для технологического процесса по коэффициенту закрепления операции, по которому в соответствии с ГОСТ 14.004-83 определяют тип производств, то его выбор ведут по массе детали, которая косвенно является характеристикой трудоемкости и годового объема выпуска по [10; 17; 18; 23; 27; 47–49].

### **2.2. Определение характеристик производства**

В зависимости от типа производства определяются характеристики, составляющих его элементов.

Характеристики единичного и мелкосерийного производства: групповая форма организации ТП; отсутствие заранее обусловленной повторяемости изделий; разработка ТП на основе типового техпроцесса; методы получения заготовок – прокат, литьё в землю, свободная ковка; метод расчета припусков, укрупненный по таблицам; универсальное оборудование, в мелкосерийном производстве возможно применение станков с числовым программным управлением (ЧПУ); загрузка различными деталями без закономерности; расстановка оборудования по типам и размерам; отсутствие настройки оборудования, осуществление работы методом пробных проходов и промеров; оснастка универсальная; подробность разработки ТП – маршрутные карты; расчет режимов резания – по нормативам; нормирование укрупненное – по опытно-статистическим нормам; высокая квалификация рабочих.

Характеристики среднесерийного производства: переменнo-пoтoчнaя форма организации ТП; периодический запуск изделий партиями; разработка единичных ТП на основе типовых; стратегия

разработки ТП всех видов; методы получения заготовок – профильный прокат, литье, горячая штамповка; метод расчета припусков подробный по переходам; оборудование – универсальное, с ЧПУ, в некоторых случаях специализированное; расположение оборудования – по направлению грузопотока типового ТП; размерная наладка станков – по измерительным приборам и инструментам; технологическая оснастка – специализированная и/или универсальная; по подробности разработки – операционный ТП; расчет режимов резания – по нормативам и формулам; нормирование – детальное пооперационное; квалификация рабочих – различная.

Характеристики крупносерийного и массового производства: поточная форма организации ТП; непрерывный выпуск в течение длительного времени; разработка специальных ТП на базе анализа; стратегия разработки ТП – циклическая, разветвленная, адаптивная; методы получения заготовок – спецпрокат, литье, холодная и горячая штамповка; метод расчета припусков – детальный на базе размерного анализа; оборудование – специализированное и специальное; непрерывная загрузка станков одними и теми же деталями; расстановка оборудования по ходу техпроцесса; настройка оборудования по эталону; оснастка специальная; подробность разработки ТП – операционные карты с детализацией по переходам; расчет режимов резания – аналитический на базе математической модели; нормирование – детальное по методу хронометража; квалификация рабочих – низкая; квалификация наладчиков – высокая.

### **3. ВЫБОР МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ**

Задачей раздела является выбор такого метода получения заготовки, который обеспечит минимальную технологическую себестоимость ее получения и обработки.

#### **3.1. Выбор рационального метода получения заготовки**

Метод получения исходной заготовки определяется в зависимости от физико-механических и технологических свойств обрабатываемого материала, конфигурации детали, сложности ее формы, серийности производства.

Рекомендуется выбрать один из самых распространенных методов получения исходных заготовок: литье в песчано-глинистые или оболочковые формы, литье по выплавляемым моделям, литье в кокиль и под давлением, центробежное литье, свободная ковка, штамповка, холодная штамповка. Иногда целесообразно принимать в качестве заготовки сортовой прокат (круг, шестигранник, труба). Рекомендации по использованию разных методов получения исходных заготовок содержатся в [6–8; 27; 31; 32; 40].

При выборе метода и способа получения исходной заготовки назначаются:

- 1) припуски на обработку (общие или операционные);
- 2) допуски на размеры обрабатываемых и необработанных поверхностей;
- 3) технологические базы для первой операции механической обработки и требования, предъявляемые к этим поверхностям;
- 4) требования, предъявляемые к структуре и твердости материала заготовки;
- 5) метод предварительной обработки заготовки (правка, зачистка, зацентровка и пр.);
- 6) места и методы вырезки пробных образцов для оценки качества материала (для ответственных заготовок).

Все эти данные приводятся в чертеже заготовки и технологических условиях на ее изготовление.

### 3.2. Расчет технологической себестоимости изготовления детали для обоснования выбора исходной заготовки

При экономическом обосновании выбора заготовок используются те же показатели, что и при выборе процессов механической обработки [5; 17; 36]. Рассчитывается коэффициент использования материала ( $K_{им}$ ). Он сравнивается с рекомендуемым значением:

$$K_{им} = \frac{q}{Q}, \quad (3.1)$$

где  $q$  и  $Q$  – соответственно, масса детали и заготовки, кг.

Сравнивая различные варианты получения исходных заготовок, необходимо учитывать, что различные методы получения заготовок вызывают различные по величине затраты на механическую обработку.

Для разрабатываемого технологического процесса возможны три способа получения исходной заготовки:

- 1) оставить базовый способ получения исходной заготовки;
- 2) изменить способ получения исходной заготовки (без изменений в ходе технологического процесса);
- 3) изменить способ получения заготовки (с существенным изменением ряда технологических операций).

Для первого варианта ссылаемся на соответствующий ГОСТ или справочник. В этом случае стоимость заготовки не изменяется и ее не надо учитывать при расчете технологической себестоимости.

Для второго варианта выбор заготовки основывается на стоимости и коэффициенте использования материала.

Для третьего варианта выбор необходимо делать после полного расчета технологической себестоимости изготовления детали по альтернативным вариантам. Выбирать необходимо тот, который имеет меньшую себестоимость.

Когда рассчитана масса исходной заготовки (приблизительно) и известна масса детали при проектировании технологического процесса, рациональный вариант получения заготовки определяют сравнением технологических себестоимостей изготовления, рассчитанных по формуле

$$C_{ТЕХ} = C_{ЗАГ} \cdot Q + C_{МЕХ}(Q - q) - C_{ОТХ}(Q - q), \quad (3.2)$$

где  $C_{\text{ТЕХ}}$  – общая технологическая себестоимость, руб.;  $C_{\text{ЗАГ}}$  – удельная стоимость одного килограмма базового способа получения исходной заготовки, руб./кг;  $C_{\text{МЕХ}}$  – удельная стоимость механической обработки, руб./кг;  $C_{\text{ОТХ}}$  – цена одного килограмма отходов, руб./кг.

Если известны масса детали и коэффициент использования материала  $K_{\text{ИМ}}$ , то формула технологической себестоимости может быть преобразована к виду:

$$C_T = \frac{q}{K_{\text{ИМ}}} \cdot [C_{\text{ЗАГ}} + (C_{\text{МЕХ}} - C_{\text{ОТХ}}) \cdot (1 - K_{\text{ИМ}})], \quad (3.3)$$

Значения всех коэффициентов находятся в [5].

Приведенные затраты на механическую обработку на один килограмм стружки, определяются по формуле

$$C_{\text{МЕХ}} = C_C + E_H \cdot C_K, \quad (3.4)$$

где  $C_C$  – текущие удельные затраты по съему стружки, руб./кг;  $C_K$  – удельные капитальные затраты, руб./кг;  $E_H$  – стандартный коэффициент эффективности отдачи капитальных вложений ( $E_H = 0, 1-0,2$ ).

Данные по нормативам  $C_C$  и  $C_K$  приводятся в [17].

Затраты на заготовку  $C_{\text{ЗАГ}}$  определяются в зависимости от материала, вида и способа получения заготовки.

Экономический эффект при сопоставлении различных способов получения заготовок может быть рассчитан по формуле (3.5)

$$\Delta = (C_{T_2} - C_{T_1}) \cdot N, \quad (3.5)$$

где  $C_{T_1}$ ,  $C_{T_2}$  – техническая себестоимость изготовления детали из сопоставляемых заготовок, руб.

После сравнения технологических себестоимостей по альтернативным вариантам делается вывод о том, какой вариант принимается для дальнейшей разработки.

### 3.2.1. Определение затрат на заготовки из проката

Затраты на исходную заготовку из проката определяются исходя из стоимости проката, требуемого на изготовление детали:

$$C_{\text{ЗАГ}} = C_B \cdot h_\Phi, \quad (3.6)$$

где  $C_B$  – базовая цена материала заготовки, руб./кг;  $h_\Phi$  – коэффициент, характеризующий форму проката.

### 3.2.2. Определение затрат на горячештампованные заготовки

Стоимость горячештампованных заготовок, полученных на молотах, прессах, ГКМ (горизонтально-ковочных машинах), а также электровысадкой, с достаточной для проектирования точностью можно определить по формуле

$$C_{\text{ЗАГ}} = C_{\text{ШТ}} \cdot h_{\text{T}} \cdot h_{\text{С}} \cdot h_{\text{В}} \cdot h_{\text{М}} \cdot h_{\text{П}}, \quad (3.7)$$

где  $C_{\text{ШТ}}$  – базовая стоимость одного килограмма штампованных заготовок, руб.;  $h_{\text{T}}$ ,  $h_{\text{С}}$ ,  $h_{\text{В}}$ ,  $h_{\text{М}}$ ,  $h_{\text{П}}$  – коэффициенты, которые определяются по классу точности, массе, группе сложности, марке материала и объему производства заготовок. Значения всех коэффициентов можно определить по [5, 17].

### 3.2.3. Определение затрат на литые заготовки

Стоимость заготовок, полученных таким методами, как литье в песчано-глинистые формы, в кокиль, литье цветных сплавов под давлением, сложное литье по выплавляемым моделям, можно определить по формуле

$$C_{\text{ЗАГ}} = C_{\text{ОТ}} \cdot h_{\text{T}} \cdot h_{\text{С}} \cdot h_{\text{В}} \cdot h_{\text{М}} \cdot h_{\text{П}}, \quad (3.8)$$

где  $C_{\text{ОТ}}$  – базовая стоимость одного килограмма литых заготовок, руб.

Значения всех коэффициентов можно определить по [5; 17].

## 3.3. Назначение маршрутов обработки поверхностей

Выбор маршрутов обработки на каждую поверхность ведут, руководствуясь технологическими возможностями методов обработки (кавалитет IT и шероховатость Ra), конфигурацией заготовки, видом исходной заготовки, конечными требованиями по точностным показателям, физико-механическим свойствам.

Среднестатистические погрешности методов обработки приведены в [17; 24; 34; 35; 47].

Форма для заполнения приведена в табл. 2, где в последней колонке перечисляются названия технологических переходов (точение черновое, фрезерование чистовое и т. д.). Названия можно сокращать или писать полностью.

## Маршруты обработки поверхностей

№ пов.	Вид пов.	Тип	Квали-тет	Технические требования		Шерохова-тость, мкм	Технологиче-ские переходы
				располо-жения	формы		

### 3.4. Проектирование заготовки

Проектирование заготовки проводится по методикам [6–8; 17; 31; 32]. Используются ГОСТ 26645-85 «Отливки из металлов и сплавов» для назначения общих припусков на механическую обработку, напусков, допусков размеров, пространственных отклонений, шероховатостей поверхностей отливок или ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные» для определения общих припусков на механическую обработку, допусков размеров, пространственных отклонений, шероховатостей поверхностей поковок.

Размеры заготовки получаются сложением величин размеров детали с величинами припусков и напусков.

Проектирование заготовки заканчивается выполнением рабочего чертежа заготовки. Пример рабочего чертежа заготовки можно найти в [6–8; 17; 31; 32].

## 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА. ВЫБОР СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ

Задачей раздела является разработка рационального технологического маршрута. Необходимо сформировать такую последовательность операций, которая обеспечит получение детали из исходной заготовки с минимальными затратами, и выбрать схемы базирования заготовки на операциях, которые обеспечили бы минимальную погрешность обработки.

### 4.1. Разработка технологического маршрута

Построение маршрута ведут на базе ранее установленных в п. 3.3 маршрутов обработки отдельных поверхностей детали.

Указывается тип используемого технологического оборудования, марка станка.

Информация по типовым технологическим процессам находится в [6; 10; 18; 23; 27; 29; 47–50].

Оформление технологического маршрута проводится в виде табл. 3.

Таблица 3

Технологический маршрут изготовления детали

Номер операции	Наименование, модель оборудования	Содержание операции	Наименование операции	Номер обрабатываемых поверхностей

### 4.2. Разработка схем базирования

В разделе приводится обоснование выбора черновых и чистовых технологических баз при механической обработке заготовки. В сводной таблице (табл. 4) приводится классификация технологических баз, указывается их целевая принадлежность, выполнение правил единства и постоянства баз. В случае несоблюдения правил единства и постоянства баз необходимо дать объяснения причин смены баз. В графе «Наименование базы» указывают аббревиату-

ру названия базы по количеству лишаемых степеней свободы: У – установочная; ДН – двойная направляющая; Н – направляющая; ДО – двойная опорная; О – опорная.

В столбцах по характеру проявления баз, виду реализации, соблюдению принципов единства баз и постоянства баз делается отметка символами + или –.

Таблица 4

Технологические базы

№ технологической операции	№ обрабатываемых поверхностей	Принцип постоянства баз	Принцип единства баз	Операционные размеры	№ опорных точек	Наименование базы	Характер проявления		Реализация	
							явная	скрытая	естественная	искусственная

## **5. ВЫБОР СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ (СТО)**

Задачей раздела является выбор для каждой операции технологического оборудования, приспособлений, инструмента и средств контроля, которые необходимы для обеспечения минимальных затрат на ТП при условии выполнения всех требований по точности и качеству обработки.

### **5.1. Выбор технологического оборудования**

Модели металлорежущего оборудования и его технические характеристики можно найти в [15; 21; 29; 41].

Наименования и модели выбранного оборудования заносят в графу 2 табл. 5.

### **5.2. Выбор приспособлений**

Основные типы и конструкции станочных приспособлений описаны в [19; 20; 42; 43].

Наименование приспособления заносят в графу 3 табл. 5.

### **5.3. Выбор режущего инструмента**

Все основные виды и типоразмеры режущего инструмента содержатся в [16; 20; 28; 29; 41].

Наименование и размер инструмента, марку материала, № стандарта или чертежа заносят в графу 4 табл. 5.

### **5.4. Выбор средств контроля**

Методы и средства измерения, наиболее часто применяемые в машиностроении, указаны в [25; 41].

Наименование и типоразмер измерительного средства, стандарта или чертежа заносят в графу 5 табл. 5.

## Выбор СТО

№ наименования операции	Наименование, модель оборудования	Наименование станочного приспособления	Наименование и размер инструмента, марка материала, № стандарта или чертежа	Наименование и типоразмер измерительного средства, № стандарта или чертежа
1	2	3	4	5

## 6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Задачей раздела является расчет режимов резания и норм времени на каждую операцию, определить общее время обработки детали.

### 6.1. Расчет припусков и операционных размеров на механическую обработку детали

Задачей раздела является расчет припусков и операционных размеров.

Расчет выполняется в следующей последовательности [5; 17; 24; 35; 38; 39]:

1. Определить наименования метода получения заготовки и методов обработки поверхности (переходы), для которой рассчитывается припуск на обработку, в той последовательности, в которой они расположены в маршруте обработки.

2. Определить качество точности обработки и операционный допуск на размер для каждого перехода. Допуски на размер исходной заготовки были определены при выполнении проектирования заготовки (п. 3.2).

3. Определить составляющие элементы припуска для каждого перехода:

$a = Rz + h$  – сумма высоты неровностей профиля поверхности и глубины дефектного слоя, получающегося в результате применения метода, мм. Значения  $Rz$ ,  $h$  можно найти в литературе [5; 17; 24; 34];

$\Delta$  – суммарное отклонение формы и расположения поверхностей, достигаемые данным методом, мм. Значения  $\Delta$  имеются в литературе [20; 22];

$\varepsilon$  – погрешность установки заготовки в приспособлении. При совпадении технологической и измерительной баз принимают  $\varepsilon = 0$ . Для случаев несовпадения баз значения  $\varepsilon$  имеются в литературе [5; 17; 34; 35].

4. Определить минимальный расчетный припуск по формуле

$$z_{\min}^i = a^{i-1} + \sqrt{(\Delta^{i-1})^2 + (\varepsilon^i)^2}, \quad (6.1)$$

где индекс  $i$  означает, что параметр относится к данному переходу, а индекс  $-$  к предыдущему переходу.

Для последовательного ряда переходов при обработке отдельно расположенных или противоположных поверхностей:

$$z_{\min}^i = a^{i-1} + \Delta^{i-1} + \varepsilon^i. \quad (6.2)$$

При параллельной обработке противоположных плоскостей:

$$2z_{\min}^i = 2(a^{i-1} + \Delta^{i-1} + \varepsilon^i). \quad (6.3)$$

При обработке цилиндрических внутренних и наружных поверхностей:

$$2z_{\min}^i = 2a^{i-1} + 2\sqrt{(\Delta^{i-1})^2 + (\varepsilon^i)^2}. \quad (6.4)$$

Для бесцентрового шлифования:

$$2z_{\min}^i = 2(a^{i-1} + \Delta^{i-1}). \quad (6.5)$$

При обработке плавающим инструментом (развертывание, внутреннее протягивание):

$$2z_{\min}^i = 2a^{i-1}. \quad (6.6)$$

Для отделочных методов суперфиниширования, полирования, раскатки (обкатки):

$$2z_{\min}^i = 2Rz^{i-1}. \quad (6.7)$$

Обработка шлифованием после упрочняющей термообработки, включая химико-термическую, для сохранения закаленного слоя:

– при наличии погрешности установки заготовки

$$z_{\min}^i = Rz^{i-1} + \Delta^{i-1} + \varepsilon^i, \quad (6.8)$$

$$2z_{\min}^i = 2(Rz^{i-1} + \Delta^{i-1} + \varepsilon^i); \quad (6.9)$$

– при отсутствии погрешности установки заготовки

$$z_{\min}^i = Rz^{i-1} + \Delta^{i-1}; \quad (6.10)$$

$$2z_{\min}^i = 2(Rz^{i-1} + \Delta^{i-1}). \quad (6.11)$$

Определяют расчетный размер  $d$ ,  $H$ ,  $D$  для каждого перехода.

Номинальные размеры исходных заготовок в единичном и мелкосерийном производстве определяются:

– для валов

$$d_{\text{nom}}^{\text{заг}} = d_{\text{max}}^{\text{дет}} + z^o; \quad (6.12)$$

– для отверстий

$$D_{\text{nom}}^{\text{заг}} = D_{\text{min}}^{\text{дет}} - z^o. \quad (6.13)$$

Здесь  $d_{\text{max}}^{\text{дет}}$  – окончательный максимальный размер вала;  $D_{\text{min}}^{\text{дет}}$  – окончательный минимальный размер отверстия;  $z^o$  – общий припуск, определенный по таблицам.

Максимальные и минимальные размеры заготовок определяются с учетом допусков и отклонений размеров исходных заготовок, определенных по таблицам.

Вал:

$$d_{\text{max}}^{\text{заг}} = d_{\text{nom}}^{\text{заг}} + ei^{\text{заг}}; \quad (6.14)$$

$$d_{\text{min}}^{\text{заг}} = d_{\text{nom}}^{\text{заг}} - es^{\text{заг}}. \quad (6.15)$$

Отверстие:

$$D_{\text{max}}^{\text{заг}} = D_{\text{nom}}^{\text{заг}} + EI^{\text{заг}}; \quad (6.16)$$

$$D_{\text{min}}^{\text{заг}} = D_{\text{nom}}^{\text{заг}} - ES^{\text{заг}}. \quad (6.17)$$

Здесь  $ei^{\text{заг}}$  ( $EI^{\text{заг}}$ ),  $es^{\text{заг}}$  ( $ES^{\text{заг}}$ ) – верхнее и нижнее отклонения полей допусков размеров заготовок вала (отверстия).

Размеры остальных элементов исходных заготовок (осевые размеры тел вращения, размеры корпусных деталей) определяются по формулам (6.14–6.17), при этом необходимо предварительно определить, к какому виду следует отнести размеры этих элементов.

Промежуточные операционные размеры устанавливаются в порядке, обратном ходу технологического процесса обработки поверхности, т. е. от размера готовой детали к размеру заготовки.

Расчетный операционный размер вала на  $i$ -й операции (технологическом переходе) в технологической документации может быть записан в виде:

$$d_p^i = d_{\text{max}}^i - Td^i, \quad (6.18)$$

где  $d_{\text{max}}^i$  – максимальное (номинальное) значение диаметра вала;  $Td^i$  – операционный допуск на  $i$ -й операции.

Максимальный операционный размер на  $i$ -й операции рассчитывается так:

$$d_{\max}^{i-1} = d_{\max}^i + z_{\min}^i + Td^{i-1}, \quad (6.19)$$

где  $z_{\min}^i$  – минимальный табличный припуск на диаметр на  $i$ -й операции (переходе);  $Td^{i-1}$  – допуск на размер  $i$ -й операции (переходе).

Минимальный припуск на диаметр на первой операции механической обработки в этом случае

$$z_{\min}^1 = d_{\min}^{\text{зар}} - d_{\max}^1 = d_{\min}^{\text{зар}} - \left[ d_{\max}^{\text{зар}} + \sum_{i=2}^{i=K} z_{\min}^i + \sum_{i=1}^{i=K-1} Td^i \right], \quad (6.20)$$

где  $K$  – количество операций (переходов) механической обработки.

Максимальный припуск определяем:

$$z_{\max}^i = d_{\max}^{i-1} - d_{\min}^i, \quad (6.21)$$

или

$$z_{\max}^i = z_{\min}^i + Td^i + Td^{i-1}. \quad (6.22)$$

Для отверстия:

– расчетный операционный размер

$$D_p^i = D_{\min}^i + TD^i; \quad (6.23)$$

– минимальный диаметр

$$D_{\min}^i = D_{\max}^i - z_{\min}^i - TD^{i-1}; \quad (6.24)$$

– минимальный припуск на первом технологическом переходе

$$z_{\min}^1 = D_{\max}^{\text{зар}} - D_{\min}^1 = D_{\max}^{\text{зар}} - \left[ D_{\min}^{\text{дет}} + \sum_{i=1}^{i=K-1} z_{\min}^i + \sum_{i=1}^{i=K-1} TD^i \right]; \quad (6.25)$$

– максимальный припуск

$$z_{\max}^i = D_{\max}^i - D_{\min}^{i-1} \quad (6.26)$$

или

$$z_{\max}^i = z_{\min}^i + TD^i + TD^{i-1}. \quad (6.27)$$

Для вала на  $i$ -м технологическом переходе имеем:

– расчетный диаметр

$$d_p^i = d_{\max}^i - Td^i; \quad (6.28)$$

– минимальный диаметр на  $i-1$  переходе

$$d_{\min}^{i-1} = d_{\min}^i + z_{\min}^i; \quad (6.29)$$

– максимальный диаметр

$$d_{\max}^{i-1} = d_{\min}^{i-1} + Td^{i-1}; \quad (6.30)$$

– максимальный припуск

$$z_{\max}^i = z_{\min}^i + Td^i + Td^{i-1} \quad (6.31)$$

или

$$z_{\max}^i = d_{\max}^{i-1} - d_{\max}^i. \quad (6.32)$$

Общие припуски:

$$z_{\min}^o = \sum_{i=1}^{i=K} z_{\min}^i; \quad z_{\max}^o = z_{\min}^o + Td^{\text{заг}} - Td^{\text{дет}}. \quad (6.33)$$

Номинальный размер заготовки:

$$d_{\text{ном}}^{\text{заг}} = d_{\min}^{\text{дет}} + z_{\min}^o + e_i^{\text{заг}}. \quad (6.34)$$

Для отверстия на  $i$ -м технологическом переходе:

– расчетный диаметр

$$D_p^i = D_{\min}^i + TD^i; \quad (6.35)$$

– максимальный диаметр на  $i-1$  переходе

$$D_{\max}^{i-1} = D_{\max}^i - z_{\min}^i; \quad (6.36)$$

– минимальный диаметр

$$D_{\min}^{i-1} = D_{\max}^{i-1} - TD^{i-1}; \quad (6.37)$$

– максимальный припуск

$$z_{\max}^i = z_{\min}^i - TD^i + TD^{i-1}. \quad (6.38)$$

Общие припуски:

$$z_{\min}^o = \sum_{i=1}^{i=K} z_{\min}^i; \quad z_{\max}^o = z_{\min}^o + TD^{\text{заг}} - TD^{\text{дет}}. \quad (6.39)$$

Номинальный размер заготовки:

$$D_{\text{ном}}^{\text{заг}} = D_{\min}^{\text{дет}} - z_{\min}^o + EI^{\text{заг}}. \quad (6.40)$$

При этом необходимо следить за выполнением соотношения:

$$z_{\min}^i > Td^i (TD^i). \quad (6.41)$$

Если соотношение не будет выполнено, на обработанной на  $i$ -м технологическом переходе поверхности могут остаться следы обработки предшествующего  $i-1$  перехода.

Для всех переходов необходимо округлить расчетные значения  $d$ ,  $H$ ,  $D$  до того же знака десятичной дроби, с каким задается операционный допуск для этого же перехода. При этом для внутренних поверхностей – в сторону уменьшения, для наружных – в сторону увеличения.

Проверяют правильность расчетов по формулам:

– для наружных цилиндрических поверхностей

$$2z_{\max}^i - 2z_{\min}^i = Td^{i-1} - Td^i; \quad (6.42)$$

$$2z_{O\max} - 2z_{O\min} = Td_{\text{заг}} - Td_{\text{дет}}, \quad (6.43)$$

где  $Td_{\text{заг}}$  – допуск на размер заготовки;  $Td_{\text{дет}}$  – допуск на размер, детали;

– для отверстий

$$2z_{\max}^i - 2z_{\min}^i = TD^{i-1} - TD^i; \quad (6.44)$$

$$2z_{O\max} - 2z_{O\min} = TD_{\text{заг}} - TD_{\text{дет}}; \quad (6.45)$$

– для плоских поверхностей

$$\left(z_{\max}^i - z_{\min}^i\right)_1 + \left(z_{\max}^i - z_{\min}^i\right)_2 = TD^{i-1} - TD^i; \quad (6.46)$$

$$\left(z_{O\max}^i - z_{O\min}^i\right)_1 + \left(z_{O\max}^i - z_{O\min}^i\right)_2 = TD_{\text{заг}} - TD_{\text{дет}}, \quad (6.47)$$

где индексы 1 и 2 означают, что параметры относятся, соответственно, к первой и второй плоскостям, ограничивающим рассчитываемый размер.

Расчеты рекомендуется выполнять в виде табл. 6.

Существуют методы приближенного расчета припусков и операционных размеров [20], которые отличаются от вышеизложенного метода простотой, но дают завышенные значения припусков. Результаты расчета припусков заносятся в табл. 7.

Припуски и операционные размеры

№ перехо да	Наименование перехода	Точность		Составляющие припуска, мм			Припуск, мм			Пределные размеры, мм		
		Квали тет	$Td$ , мм	$a$	$\Delta$	$\epsilon$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\text{ср}}$	$d_{\min}$	$d_{\max}$	$d_{\text{ср}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0												
1												
2												
3												
4												
5												
Общий припуск 2Z												

## Припуски на обработку

№ пов.	Наименование перехода	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\text{ср}}$
1	2	3	4	5

## 6.2. Расчет режимов резания

Оптимальный режим резания для каждого перехода определяют расчетно-аналитическим методом [17; 35; 41] (на 1–2 операции по согласованию с руководителем) и по справочным нормативам [30; 37] (на все оставшиеся операции).

Расчет режима включает:

1. Назначение периода стойкости  $T$  режущего инструмента [30; 37; 41].

2. Определение глубины резания  $t$  и числа ходов [17; 33; 35].

3. Определение расчетной подачи  $S$  [30; 37; 41] и уточнение подачи по паспорту станка.

4. Определение расчетной скорости резания по эмпирическим формулам [30; 37; 41] и частоты вращения шпинделя по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d}, \quad (6.48)$$

уточнение значения частоты вращения по паспорту станка, расчет фактической скорости резания по формуле

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}. \quad (6.49)$$

5. Определение мощности резания [41], сравнение её с паспортной мощностью станка.

### 6.3. Нормирование технологического процесса

Под нормированием ТП понимают определение времени, необходимого на выполнение каждой операции (перехода).

Штучное время рассчитывают для всех технологических операций. Для крупносерийного или массового производства рассчитывается норма штучного времени для одной детали по формуле

$$T_{шт} = T_o + T_b + T_{об} + T_{пер}, \quad (6.50)$$

где  $T_o$  – основное или машинное время. Это время непосредственной обработки и находится по схеме обработки [5; 17; 35].

$T_b$  – вспомогательное время, необходимое на установку-зажим и раскрепление-снятие заготовки, приемы управления оборудованием, холостой ход инструмента на быстрый подвод и отвод инструмента, операционный контроль выполненных размеров. Все параметры определяются по [5].

Сумма основного и вспомогательного времен называется оперативным временем  $T_{оп}$ :

$$T_{оп} = T_o + T_b. \quad (6.51)$$

$T_{об}$  – время обслуживания. Складывается из времени технического обслуживания  $T_{тех}$  и времени организационного обслуживания  $T_{орг}$ :

$$T_{об} = T_{тех} + T_{орг}. \quad (6.52)$$

Затраты времени на техническое обслуживание  $T_{тех}$  обусловлены необходимостью смены затупившегося инструмента, размерной подналадки оборудования, правки инструмента (при шлифовании). Величину  $T_{тех}$  рассчитывают по нормативам или берут в процентах от основного или оперативного времени (до 6 %) в зависимости от вида выполняемых работ [5; 35].

Затраты на организационное обслуживание  $T_{орг}$  рабочего места необходимы для подготовки рабочего места к началу работы, техническое обслуживание станка, включая уборку стружки, чистку, смазку и т. д. Оно определяется в зависимости от типа обслуживаемого оборудования в процентах от основного времени по нормативам (6–8 %) [5; 35].

При использовании автоматического оборудования составляющая  $T_{об}$ , как правило, исключается из расчета  $T_{шт}$ .

$T_{пер}$  – время перерывов в работе, отводится на регламентируемый отдых и естественные потребности. Его берут по нормативам в процентном соотношении к оперативному времени (2,5 %) [5; 35].

Для мелко- и среднесерийного производств при обработке заготовок периодически повторяющимися партиями (периодичность запуска может быть 3, 6, 12, 24 дня) за норму времени принято штучно-калькуляционное время  $T_{шк}$ :

$$T_{шк} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}, \quad (6.53)$$

где  $T_{пз}$  – подготовительно-заключительное время;  $n$  – количество заготовок в партии запуска.

$T_{пз}$  затрачивается на ознакомление с чертежом детали и технологической документацией, получение и сдачу СТО, сдачу выполненной работы. При использовании станков с ЧПУ в затраты времени может включаться время на пробную обработку, если станок не снабжен системой коррекции инструмента.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описание технологического процесса механической обработки и сборки зависит в первую очередь от типа производства. Для крупносерийного и массового производства технологический процесс разрабатывается наиболее подробно с оформлением комплекта документов. В технологическую документацию на процесс механической обработки входят маршрутная карта (МК), операционная карта (ОК), карта эскизов (КЭ) и карта технического контроля (КК) [17; 26].

Чертеж детали выполняется на базе сборочного чертежа изделия и анализа служебного назначения детали.

Рабочий чертеж детали выполняется в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. На чертеже должны быть указаны все технические требования по изготовлению детали, обеспечивающие ее служебное назначение и технологичность ее конструкции. Методика выполнения и примеры рабочих чертежей имеются в [1–4; 12–14].

Чертеж заготовки выполняется после выполнения чертежа детали и разделов «Выбор и проектирование заготовки» и «Расчет припусков на механическую обработку детали», в которых определяются общие табличные и расчетные припуски и окончательные размеры заготовки. Чертеж заготовки должен быть оформлен в соответствии с ЕСКД. Основные правила оформления чертежа заготовки содержатся в [6; 8; 31; 32].

В выпускной квалификационной работе приводятся наладки на 2–3 операции ТП. Масштаб чертежей произвольный с соблюдением соотношений между размерами заготовки и технологической оснастки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. / В.И. Ануриев ; под ред. И.Н. Жестковой. — 8-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1999. — Т. 1. — 912 с.
2. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. / В.И. Ануриев ; под ред. И.Н. Жестковой. — 8-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1999. — Т. 2. — 875 с.
3. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. / В.И. Ануриев ; под ред. И.Н. Жестковой. — 8-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1999. — Т. 3. — 847 с.
4. Гжиров, Р.И. Краткий справочник конструктора / Р.И. Гжиров. — Ленинград : Машиностроение, Ленингр. отд., 1984. — 464 с.
5. Горбачевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения : учеб. пособие / А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. — Минск : Выш. шк., 1983. — 256 с.
6. ГОСТ 7505-89 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. — М. : Издательство стандартов, 1993. — С. 54.
7. ГОСТ 26645-85 Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. — М. : Стандартинформ, 2010. — С. 48.
8. ГОСТ 7062-90 Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на прессах припуски и допуски. — М. : Издательство стандартов, 1992. — С. 18.
9. Технология машиностроения / А.Л. Гусев [и др.]. — М. : Машиностроение, 1986. — 480 с.
10. Данилевский, В.В. Технология машиностроения / В.В. Данилевский. — М. : Высшая школа, 1987. — 479 с.
11. Дипломное проектирование по технологии машиностроения : учеб. пособие / под ред. В.В. Бабука. — Минск : Вышэйш. школа, 1979. — 464 с.
12. Допуски и посадки : справочник. В 2 ч. / В.Д. Мягков [и др.]. — Л. : Машиностроение, 1982. — Т. 1. — 543 с.
13. Допуски и посадки : справочник. В 2 ч. / В.Д. Мягков [и др.]. — Л. : Машиностроение, 1982. — Т. 2. — 543 с.

14. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П.Ф. Дунаев. – М. : Высшая школа, 1985 – 416 с.
15. Специальные металлорежущие станки общемашиностроительного применения. Справочник / В.Б. Дьячков [и др.]. – М. : Машиностроение, 1983. – 359 с.
16. Инструментальные системы автоматизированного производства: для машиностроит. специальностей / Р.И. Гжиров [и др.]. – СПб. : Политехника, 1993. – 393 с.
17. Козлов, А.А. Разработка технологических процессов изготовления деталей машин : учеб.-метод. пособие / А.А. Козлов, И.В. Кузьмич. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 151 с.
18. Корсаков, В.С. Основы технологии машиностроения / В.С. Корсаков. – М. : Машиностроение, 1977.
19. Корсаков, В.С. Основы конструирования приспособлений / В.С. Корсаков. – М. : Машиностроение, 1983. – 277 с.
20. Кузнецов, Ю.И. Оснастка для станков с ЧПУ : справочник / Ю.И. Кузнецов, А.Р. Маслов, А.Н. Байков. – М. : Машиностроение, 1983. – 359 с.
21. Локтева, С.Е. Станки с программным управлением и промышленные роботы / С.Е. Локтева. – М. : Машиностроение, 1986. – 320 с.
22. Марочник сталей и сплавов / сост. А.С. Зубченко [и др.] ; под ред. А.С. Зубченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2003. – 782 с.
23. Маталин, А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
24. Матвеев, В.В. Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев. – М. : Машиностроение, 1982. – 264 с.
25. Марков, Н.Н. Конструкция, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов / Н.Н. Марков, Г.М. Граневский. – М. : Машиностроение, 1981. – 367 с.
26. Михайлов, А.В. Оформление документов на технологические процессы обработки резанием / А.В. Михайлов. – Тольятти : ТГУ, 2002. – 49 с.
27. Михайлов, А.В. Основы проектирования технологических процессов механосборочного производства / А.В. Михайлов, Д.А. Расторгуев. – Тольятти : ТГУ, 2003.

28. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1987. – 846 с.
29. Обработка металлов резанием: справочник технолога / А.А. Панов [и др.] ; под общ. ред. А.А. Панова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2004. – 784 с.
30. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов : справочник / под общ. ред. В.И. Баранчикова. – М. : Машиностроение, 1990. – 399 с.
31. Афонькин, М.Г. Производство заготовок в машиностроении / М.Г. Афонькин, М.В. Магницкая. – Ленинград : Машиностроение, Ленингр. отд., 1987. – 255 с.
32. Схиртладзе, А.Г. Проектирование и производство заготовок : учеб. для вузов / А.Г. Схиртладзе, В.П. Борискин, А.В. Макаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол : ТНТ, 2009. – 447 с.
33. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении / Я.М. Радкевич [и др.]. – М. : Высшая школа, 2004. – 272 с.
34. Расторгуев, Д.А. Разработка плана изготовления деталей машин : учеб.-метод. пособие / Д.А. Расторгуев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013. – 51 с.
35. Расторгуев, Д.А. Проектирование технологических операций : электрон. учеб.-метод. пособие [Электронный ресурс] / Д.А. Расторгуев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. – 140 с.
36. Расторгуев, Д.А. Расчет точности механической обработки : учеб.-метод. пособие / Д.А. Расторгуев. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 41 с.
37. Режимы резания металлов. Справочник / под ред. Ю.В. Барановского. – М. : Машиностроение, 1972. – 408 с.
38. Сергеев, А.В. Размерный анализ технологических процессов изготовления деталей машин : практикум по дисц. «Технология машиностроения» / А.В. Сергеев. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 83 с.
39. Размерный анализ технологических процессов в автоматизированном производстве : учеб. пособие для вузов / В.О. Соколов [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2009. – 217 с.
40. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 619 с.

41. Справочник технолога машиностроителя. В 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
42. Станочные приспособления. Справочник. В 2 т. / под ред. Б.Н. Вардашкина. – М. : Машиностроение, 1984. – Т. 1. – 592 с.
43. Станочные приспособления. Справочник. В 2 т. / под ред. Б.Н. Вардашкина. – М. : Машиностроение, 1984. – Т. 2.
44. Технологические наладки изготовления деталей и сборка в машиностроении / А.Г. Схиртладзе [и др.]. – М. : СТАНКИН, 2003. – 280 с.
45. Михайлов, А.В. Технологические основы обеспечения качества изготовления деталей в машиностроении : учеб. пособие для вузов / А.В. Михайлов, О.И. Драчев, А.Г. Схиртладзе. – Тольятти : ТГУ, 2004. – 164 с.
46. Технологичность конструкции изделия : справочник / под общ. ред. Ю.Д. Амирова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 768 с.
47. Технология машиностроения : учеб. для вузов. В 2 т. Т. 2. Производство машин / В.М. Бурцев [и др.] ; под ред. Г.Н. Мельникова. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 640 с.
48. Технология машиностроения : учеб. для вузов. В 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения / В.М. Бурцев [и др.] ; под ред. А.М. Дальского. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 564 с.
49. Зуев, А.А. Технология машиностроения : учеб. для вузов / А.А. Зуев. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Лань, 2003. – 496 с.
50. Ящерицын, П.И. Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении / П.И. Ящерицын. – Минск : Высшая школа, 1974.