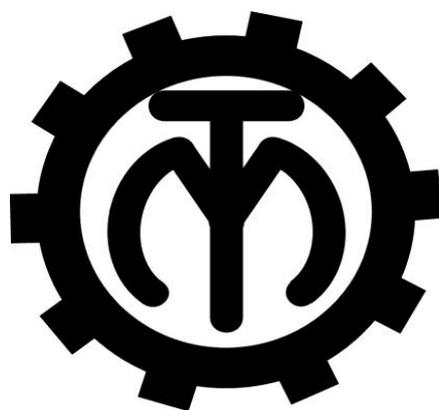


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

*Методические рекомендации для студентов специальности
6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов
и производств» дневной формы обучения*



Могилев 2025

УДК 681.5
ББК 32.96
Д46

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «10» января 2025 г.,
протокол № 9

Составители: канд. техн. наук, доц. А. М. Федоренко;
канд. техн. наук, доц. В. М. Шеменков;
Е. Ю. Демиденко;
С. П. Шишов

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д. М. Свирепа

В методических рекомендациях изложена общая методика выполнения всех разделов дипломного проекта, приведены требования к оформлению графической части проекта, пояснительной записки и технологических документов.

Учебное издание

ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Корректор	А. Т. Червинская
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 26 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, 2025

Содержание

1 Цели и задачи дипломного проектирования	5
2 Тематика дипломных проектов	5
3 Графическая часть проекта	7
4 Пояснительная записка	9
4.1 Требования к оформлению пояснительной записки	9
4.2 Содержание пояснительной записки	11
5 Исходные данные для разработки проекта	12
5.1 Исходные данные	12
5.2 Определение типа и организационной формы производства	12
6 Спецвопрос	14
6.1 Состояние вопроса	14
6.2 Выводы	15
7 Технологическое проектирование	15
7.1 Назначение и конструкция детали или узла	15
7.2 Анализ технологичности конструкции детали	16
7.3 Анализ базового техпроцесса	17
7.4 Выбор заготовки	18
7.5 Разработка автоматизированного техпроцесса	21
7.6 Расчет припусков на обработку	24
7.7 Расчет режимов резания	24
7.8 Автоматизированное проектирование	26
7.9 Расчет норм времени	26
7.10 Программирование операций технологического процесса	30
8 Гибкий автоматизированный участок	33
8.1 Планировка участка	33
8.2 Автоматическая транспортно-накопительная система	34
8.3 Автоматический склад	34
9 Конструирование и расчет средств автоматизации технологического процесса	35
9.1 Роботизированный технологический комплекс	35
9.2 Расчет и проектирование автоматического станочного приспособления	36
9.3 Расчет и проектирование вспомогательных средств автоматизации	37
10 Охрана труда	38
11 Организационно-экономическое проектирование	38
12 Мероприятия по экономии материальных и энергетических ресурсов	39
13 Заключение	39

14 Технологическая документация	39
14.1 Технологическая документация на изготовление деталей на автоматических линиях.....	39
14.2 Технологическая документация на операции, выполняемые на станках с ЧПУ	39
Список литературы	40

1 Цели и задачи дипломного проектирования

Дипломный проект является комплексной самостоятельной инженерной работой студентов, которая проходит экспертизу (рецензирование) и защищается перед Государственной экзаменационной комиссией.

Основная задача дипломного проектирования заключается в совершенствовании практических навыков студентов при решении различных инженерных задач на базе знаний, полученных при изучении общеинженерных и специальных дисциплин.

Выполнение дипломного проекта позволяет проверить умение студента применять полученные им знания при решении конкретных производственных заданий по разработке прогрессивных технологических процессов, основанных на последних достижениях науки и техники, конструированию средств автоматизации технологических процессов, проектированию автоматизированных участков с экономическим обоснованием принятых решений, проведению научно-исследовательских работ и использованию их результатов на производстве, применению вычислительной техники на стадии инженерного проектирования.

Студент должен проявить максимум инициативы и самостоятельности в разработке комплекса вопросов, вытекающих из темы дипломного проекта.

В дипломном проекте не допускается копирование существующего на заводе технологического процесса, конструкций инструментов и приспособлений, а рекомендуется на основе всестороннего анализа собранного на преддипломной практике материала разработать автоматизированный технологический процесс, применить современные средства его автоматизации.

Качество выполненного проекта определяется глубиной технологических и конструктивных разработок и элементами новизны, вносимыми в дипломный проект.

За принятые в проекте технические решения, за правильность оформления чертежей и качество всех расчетов несет ответственность студент -- автор проекта.

2 Тематика дипломных проектов

Тематика дипломных проектов должна быть актуальной и соответствовать современному уровню и перспективам развития науки и техники, а по своему содержанию отвечать задачам подготовки высококвалифицированных специалистов.

В каждом дипломном проекте должен быть решен комплекс взаимосвязанных технологических, конструкторских и организационно-экономических вопросов, а также вопросов обеспечения экологичности и безопасности жизнедеятельности, экономии материальных

и энергетических ресурсов.

Примерные темы дипломных проектов:

- гибкий автоматизированный участок по изготовлению валов (стаканов, втулок, шестерен и т. п.);
- автоматизированный технологический процесс изготовления вала (стакана, втулки, шестерни и т. п.) с разработкой средств автоматизации токарной (сверлильной, фрезерной, шлифовальной и т. п.) операции;
- автоматизированный технологический процесс сборки редуктора (суппорта, шпиндельной бабки, электродвигателя и т. п.) с разработкой средств автоматизации отдельных операций;
- автоматическая линия и технологический процесс изготовления вала (шестерни, корпуса и т. п.);
- поточная линия и технологический процесс изготовления вала с разработкой средств автоматизации трудоемких операций.

Руководители проектов могут выдать студентам темы, не вошедшие в приведенный перечень, однако все они должны быть связаны с автоматизацией производственных процессов.

Перечисленные темы дипломных проектов могут быть выполнены с более или менее развитой исследовательской частью. При этом следует считать наиболее целесообразным, чтобы исследовательская часть проекта служила более полному и аргументированному обоснованию принятых в проекте решений. В качестве таких исследований могут быть предложены следующие:

- исследование надежности автоматической линии или других автоматических устройств;
- исследование производительности автоматической линии с анализом причин потерь времени;
- исследование точности позиционирования исполнительных органов автоматических устройств;
- исследование сил закрепления автоматических загрузочных устройств;
- исследование чувствительности датчиков автоматических устройств;
- исследование точности регулирования автоматических регулирующих устройств.

3 Графическая часть проекта

Графическая часть проекта выполняется на 9–10 чертежных листах формата А1 методами машинной графики.

При необходимости в дипломном проекте могут быть использованы дополнительные форматы, размеры которых соответствуют ГОСТ 2.301–68.

В связи с большим разнообразием тем дипломных проектов далее приводится примерный перечень графической части. Конкретный перечень графических материалов определяется руководителем проекта и записывается в задание по дипломному проектированию.

Все сборочные чертежи, представленные в графической части проекта, должны иметь спецификацию, оформленную в соответствии с ГОСТ 2.108–68. Спецификации подшиваются в расчетно-пояснительную записку в качестве приложений.

Перечни графических материалов для различных тем дипломных проектов

1 Тема проекта «Гибкий автоматизированный участок по изготовлению валов (стаканов, шестерен и т. п.)».

Примерный перечень графических материалов:

- чертежи деталей, выбранных для обработки на участке, чертеж детали-представителя – 1,5–2 листа;
- чертеж инструментальных наладок – 1,5–2 листа;
- чертеж автоматического универсального переналаживаемого станочного приспособления, чертежи деталей сменных наладок – 1–1,5 листа;
- компоновка роботизированного технологического комплекса – 1 лист;
- чертеж манипулятора и схвата для всей номенклатуры обрабатываемых деталей – 1–1,5 листа;
- чертежи транспортных автоматических средств (тактовых столов, тактовых транспортеров и т. п.) – 1 лист;
- чертежи приспособлений, устанавливаемых на тактовых столах или транспортерах – 0,5–1 лист;
- чертеж автоматического склада с краном-штабелером – 1 лист;
- чертежи автоматических устройств: загрузочных, ориентирующих, контрольных и т. п. – 1–2 листа;
- программы обработки поверхностей на станках с ЧПУ – 1–1,5 листа;
- план автоматизированного участка – 1 лист;
- структура системы управления автоматизированным участком, включающая алгоритм управляющей программы, схему назначения портов ввода/вывода промышленного логического контроллера и схему размещения датчиков – 1–1,5 листа.

2 Тема проекта «Автоматизированный технологический процесс изготовления вала (стакана, шестерни и т. п.) с разработкой средств автоматизации токарной (сверлильной, фрезерной и т. п.) операции».

Примерный перечень графических материалов:

- чертеж детали – 0,5–1 лист;
- чертеж заготовки – 0,5 листа;
- чертежи инструментальных наладок – 2 листа;
- автоматическое станочное приспособление – 1–1,5 листа;
- расчетно-технологическая карта обработки на станках с ЧПУ – 1–2 листа;
- компоновка роботизированного технологического комплекса для указанной в теме проекта операции – 1 лист;
- чертеж приспособления для тактового стола или транспорта – 0,5–1 лист;
- чертеж манипулятора и схвата для установки детали – 1–1,5 листа;
- чертеж автоматического устройства для активного или пассивного контроля – 1–1,5 листа;
- компоновка рабочего места – 0,5–1 лист;
- структура системы управления автоматизированным рабочим местом, включающая алгоритм управляющей программы, схему назначения портов ввода/вывода промышленного логического контроллера и схему размещения датчиков – 1–1,5 листа.

3 Тема проекта «Автоматизированный технологический процесс сборки редуктора (суппорта, шпиндельной бабки, электродвигателя и т. п.) с разработкой средств автоматизации отдельных операций».

Примерный перечень графических материалов:

- чертеж сборочной единицы (узла, машины), который является исходным документом для разработки проекта – 1–2 листа;
- схема размерной цепи, построенная на части сборочного чертежа – 1 лист;
- операционные эскизы сборочных операций – 2–3 листа;
- автоматизированное сборочное приспособление – 1–1,5 листа;
- чертеж манипулятора с автоматическим сборочным инструментом – 1–1,5 листа;
- компоновка (планировка) рабочего места (сборочного стенда) для выполнения операции – 1–1,5 листа;
- структура системы управления автоматизированным рабочим местом, включающая алгоритм управляющей программы, схему назначения портов ввода/вывода промышленного логического контроллера и схему размещения датчиков – 1–1,5 листа.

4 Тема проекта «Автоматическая линия и технологический процесс изготовления вала (шестерни, корпуса и т. п.).

Примерный перечень графических материалов:

- чертеж детали – 0,5–1 лист;
- чертеж заготовки – 0,5 листа;
- чертежи инструментальных наладок – 2–3 листа;
- чертеж автоматического станочного приспособления – 1–1,5 листа;
- чертеж специального режущего инструмента – 0,5–1 лист;
- чертеж автоматического контрольного приспособления – 0,5–1 лист;
- чертеж ориентирующего (переориентирующего) устройства – 1–1,5 листа;
- чертеж загрузочного устройства – 1–1,5 листа;
- компоновка агрегатного станка, если такой применяется в технологическом процессе – 1 лист;
- планировка (компоновка) автоматической линии – 1 лист;
- структура системы управления автоматической линией, включающая алгоритм управляющей программы, схему назначения портов ввода/вывода промышленного логического контроллера и схему размещения датчиков – 1–1,5 листа;
- чертежи сменных наладок (для автоматической переналаживаемой линии) – 1–1,5 листа.

5 Тема проекта «Поточная линия и технологический процесс изготовления вала (шестерни, корпуса и т. п.) с разработкой средств автоматизации трудоемких операций».

Перечень графических материалов может быть принят таким же, как в п. 4.

4 Пояснительная записка

4.1 Требования к оформлению пояснительной записки

Пояснительная записка печатается на принтерных устройствах ЭВМ на листах формата А4 в соответствии с ГОСТ 2.105–95.

Первым листом пояснительной записки является лист, определяющий содержание записки, с основной надписью, выполненной по форме 2 ГОСТ 2.104–68. Все последующие листы выполняются с основной надписью 2а того же ГОСТа. В графу 2 основной надписи записывается код (обозначение) документа.

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

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

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

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

Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Заголовки следует писать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 15 мм.

Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 8 мм.

Формулы пишутся в записке на отдельной строке симметрично основному тексту. Расчеты, выполненные по приведенной формуле, записываются на следующей строке. Промежуточные расчеты не записываются.

Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснение каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него с отступом 15–17 мм (пять знаков).

Пример – Минутная подача S_M , мм/мин, рассчитывается по формуле

$$S_M = S_o \cdot n, \quad (1)$$

где S_o – подача на оборот детали, мм/об;

n – частота вращения детали, мин⁻¹.

Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Иллюстрации 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 его наименование помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом: Рисунок 2.1 – Эскиз заготовки.

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблицы. Таблицы слева и справа, снизу и сверху ограничивают линиями. Линии формата 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.

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 графы 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 номера таблицы в соответствии с рисунком 1.

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.

Таблица ... – Химический состав качественных углеродистых конструкционных сталей

В процентах

Марка стали	C	Si	Mn	P	S
20	0,17–0,24	0,17–0,37	0,35–0,65	< 0,035	< 0,04
25	0,22–0,30	0,17–0,37	0,50–0,80	< 0,035	< 0,04

Продолжение таблицы

Марка стали	C	Si	Mn	P	S
30	0,27–0,35	0,17–0,37	0,50–0,80	< 0,035	< 0,04
35	0,32–0,40	0,17–0,37	0,50–0,80	< 0,035	< 0,04

Рисунок 1 – Оформление переноса таблицы

4.2 Содержание пояснительной записки

Конкретное содержание пояснительной записки зависит от темы проекта и определяется руководителем проекта.

Для тем дипломных проектов (разд. 3, пп. 1 и 2) рекомендуется следующее содержание пояснительных записок:

- введение;
- исходные данные для разработки проекта;
- спецвопрос;
- технологическое проектирование;
- гибкий автоматизированный участок;
- конструирование и расчет средств автоматизации технологического процесса;
- охрана труда;
- организационно-экономическое проектирование;
- мероприятия по экономии материальных и энергетических ресурсов;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения (спецификации) на сборочные чертежи, комплект технологических документов.

Расчетно-пояснительная записка представляется на защиту в переплетенном виде.

При разработке темы дипломного проекта (разд. 3, п. 3) содержание пояснительной записки должно соответствовать [28], при разработке тем (разд. 3, пп. 4 и 5) – [29].

5 Исходные данные для разработки проекта

5.1 Исходные данные

Исходными данными для проектирования являются задание на дипломное проектирование, рабочие чертежи, указанные в задании, технические условия на сборочную единицу, годовой объем выпуска, краткая характеристика объекта производства.

5.2 Определение типа и организационной формы производства

Предварительно тип производства может быть определен по годовому выпуску и массе деталей по таблице 1.

Таблица 1 – Выбор типа производства по годовому выпуску и массе деталей

В штуках

Тип производства	Годовой объем выпуска деталей		
	крупных, 50 кг и более	средних, 8–50 кг	мелких, до 8 кг
Единичное	До 5	До 10	До 100
Серийное	5–1000	10–5000	100–50000
Массовое	Св. 1000	Св. 5000	Св. 50000

В **массовом** производстве средством автоматизации технологических процессов изготовления деталей являются автоматические линии (АЛ). При этом с целью повышения надежности и упрощения обслуживания автоматические линии часто проектируют не на весь технологический процесс, а на отдельные его части, например, АЛ для предварительной обработки деталей и АЛ для финишной обработки деталей, АЛ для токарной обработки зубчатых колес и АЛ для зубообрабатывающих операций и т. п. Некоторые операции технологического процесса могут быть вынесены за пределы АЛ, например, операции подготовки технологических баз при изготовлении корпусных деталей и др.

Такт выпуска для автоматической линии рассчитывается по формуле

$$t = \frac{60 \cdot F \cdot m \cdot \eta}{N}, \quad (2)$$

где F – номинальный годовой фонд времени работы автоматической линии при работе в одну смену, ч;

m – число смен работы автоматической линии в сутки;

η – коэффициент технического использования автоматической линии, учитывающий потери времени при различных неполадках в работе оборудования линии, затраты времени на подналадку режущих инструментов и т. д. ($\eta = 0,7-0,85$, меньшее значение принимается при большом количестве станков в линии и наоборот);

N – годовой объем выпуска деталей, изготавливаемых на автоматической линии.

В **серийном** производстве средствами автоматизации технологических процессов изготовления деталей являются роботизированные технологические комплексы (РТК), гибкие производственные модули (ГПМ), гибкие автоматизированные линии (ГАЛ), гибкие автоматизированные участки (ГАУ), основу которых составляют станки с ЧПУ и промышленные роботы. Такие средства автоматизации создают для обработки определенных групп деталей, например, станков и втулок, валов, закрепляемых в центрах, валов, закрепляемых в патронах, колец и крышек, зубчатых колес и т. п. Таким образом, группой можно назвать совокупность деталей, характеризуемых при обработке общностью оборудования, оснастки, наладки и технологического процесса (операционного). При создании групп принимают во внимание габариты и геометрическую форму деталей, общность подлежащих обработке поверхностей, их точность и шероховатость, однородность заготовок и материала, серийность выпуска.

Тогда годовой объем выпуска деталей можно определить по формуле

$$N = \kappa_1 + \kappa_2 + \dots + \kappa_i \quad (3)$$

где k – количество деталей одного наименования, выпускаемых за год;

i – количество наименований деталей.

Выпуск деталей каждого наименования распределяют партиями равномерно на весь календарный год. Размер партии рассчитывают по формуле

$$n_i = \frac{k_i \cdot a}{\Phi}, \quad (4)$$

где Φ – количество рабочих дней в году.

Рекомендуется следующая периодичность запуска деталей: крупных – 3 дня, средних – 6 дней, мелких – 24 дня.

6 Спецвопрос

6.1 Состояние вопроса

Вместе с основным заданием студенту выдается и дополнительное задание в виде спецвопроса, углубленная разработка которого позволяет ему более обоснованно принимать инженерные решения в дипломном проекте. Спецвопрос может быть конструкторского, технологического, организационного, экономического характера. Чаще всего спецвопрос представляет собой критический обзор технологических процессов, оборудования, инструментов, методов обработки и т. д., применяемых в отечественной и зарубежной промышленности, который составлен на основе изучения литературы, патентов и заводской практики.

Некоторые примеры спецвопросов:

- патентные исследования (название объекта исследования);
- особенности обработки деталей на станках с ЧПУ;
- автоматические средства контроля размеров;
- современные средства автоматизации и производственных процессов в машиностроении;
- применение промышленных роботов в технологических процессах механической обработки;
- особенности технологической подготовки производства для гибких производственных систем (ГПС);
- автоматические загрузочные устройства;
- прогрессивная технологическая оснастка в производстве валов (зубчатых колес, корпусных деталей и т. п.);

– автоматические подналадочные устройства.

Следует иметь в виду, что тема спецвопроса должна быть непосредственно связана с темой дипломного проекта.

6.2 Выводы

Студент должен сделать выводы, вытекающие из проведенного анализа спецвопроса, на основании которых даются предложения об использовании того или иного метода обработки, схемы резания, инструмента или приспособления для технологического процесса детали, на которую дипломник разрабатывает технологический процесс. Целесообразность принятого решения желательно подкреплять технико-экономическими расчетами.

При проведении патентного поиска новых способов обработки, станков, приспособлений, инструментов и т. д. с целью использования их в проекте автор проекта указывает, по каким группам и классам (МКИ) осуществлен поиск, вид источников информации и глубину (ретроспективность) поиска. В пояснительной записке автор диплома приводит описания и схемы устройств, инструментов и тех патентов и изобретений, которые он будет использовать в дипломном проекте.

7 Технологическое проектирование

7.1 Назначение и конструкция детали или узла

В данном разделе приводятся краткая характеристика узла, его назначение, роль детали в узле, условия ее работы, конструктивные особенности. Дается анализ точности размеров детали, допусков формы и взаимного расположения поверхностей, других особых требований. Например, «Поверхность $\varnothing 50$ к6 предназначена для подшипника. Точность размера этой поверхности обеспечивается по 6-му качеству точности, т. к. подшипник имеет класс точности 0. Во избежание перекоса подшипника при его установке на вал торцовое биение буртика ограничивается допуском $T = 0,02$ мм и т. п.».

Студенты, имеющие темы дипломного проекта (разд. 3, п. 1), в настоящем разделе делают анализ всей группы деталей, предназначенных для обработки на участке, создают деталь-представитель на основе рекомендаций, изложенных в [27].

В этом же разделе описываются вид термической обработки детали и цель ее проведения.

Заканчивается раздел таблицами химического состава и механических свойств материала детали [3].

7.2 Анализ технологичности конструкции детали

Анализ технологичности является одним из важных этапов в разработке технологического процесса, от которого зависят его основные технико-экономические показатели: металлоемкость, трудоемкость, себестоимость.

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

Так, детали типа валов признаются технологичными, если они отвечают следующим требованиям [3]:

- возможность максимального приближения формы и размеров заготовки к размерам и форме детали;
- наличие поверхностей, которые могут быть использованы для надежного захвата детали рабочим органом манипулятора (робота);
- наличие поверхностей для базирования деталей на автоматических транспортных средствах (транспортерах, тактовых столах и т. п.);
- наличие смещения центра тяжести вала по оси относительно его середины, что упрощает ориентацию в автоматических ориентирующих устройствах;
- возможность вести обработку проходными резцами;
- возможность вести многоинструментную обработку;
- уменьшение диаметров поверхностей от середины к торцам вала или от одного торца к другому;
- возможность замены закрытых шпоночных пазов открытыми;
- жесткость вала обеспечивает достижение необходимой точности при обработке ($l : d < 10-12$).

Зубчатые колеса признаются технологичными, если они имеют [3]:

- центральное отверстие простой 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 двух деталей одновременно;
- 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).

Корпусные детали признаются технологичными, если они имеют:

- простые (плоские или цилиндрические) формы обрабатываемых поверхностей;
- минимальное количество и объем напусков;

- поверхности, которые можно обработать с применением простых инструментов и минимальным количеством переходов;
- поверхности, которые можно использовать в качестве технологических баз (сочетание трех взаимно перпендикулярных плоскостей, плоскость и два отверстия);
- поверхности для размещения зажимных элементов (прихватов) при закреплении деталей в станочных приспособлениях и приспособлениях-спутниках;
- поверхности, обеспечивающие устойчивое положение деталей в автоматических транспортных системах;
- достаточные межосевые расстояния отверстий для обработки инструментами одной многошпиндельной головки;
- достаточную жесткость для одновременной многоинструментальной обработки (концентрации переходов и операций).

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.

Не являются нетехнологичными требования к точности размеров и формы поверхностей деталей и шероховатости, т. к. они вытекают из служебного назначения детали и не определяют ее конструкцию.

Количественная оценка технологичности выполняется согласно ГОСТ 14.201–73.

Заканчивается этот раздел проекта выводами о технологичности конструкции детали.

7.3 Анализ базового техпроцесса

Студенты, не имеющие базового техпроцесса, данный раздел не выполняют.

Разработка нового автоматизированного техпроцесса изготовления детали начинается с анализа существующего техпроцесса.

При анализе существующего автоматизированного техпроцесса рекомендуется изучить следующие вопросы [3]:

- определить соответствие метода получения заготовки установленному типу производства;
- рассмотреть выбор черновых, чистовых и промежуточных баз на операциях технологического процесса, выявить соблюдение принципов постоянства и совмещения баз;
- установить, соответствует ли последовательность и количество операций (переходов) техпроцесса для обеспечения заданной точности поверхностей

детали, имеющих минимальные значения допусков на размер, форму и их взаимное расположение;

- установить соответствие параметров принятого оборудования размерам обрабатываемой детали, точности обработки, производительности;

- рассмотреть степень концентрации операций (переходов) технологического процесса;

- определить степень применимости высокопроизводительного режущего инструмента и новых марок материалов его режущей части;

- определить степень оснащённости техпроцесса механизированными и автоматически действующими приспособлениями.

При анализе существующего неавтоматизированного техпроцесса рекомендуется дополнительно решить следующие вопросы:

- для каждой операции указать модели станков, работающих по автоматическому или полуавтоматическому циклу, которыми можно заменить универсальные станки базового техпроцесса, при необходимости указать степень и направление их модернизации;

- для каждой операции указать дополнительные средства оснащения, позволяющие включить ее в автоматическую линию (для массового производства) или в гибкую автоматизированную линию (для серийного производства).

В последний пункт анализа могут быть включены: автоматические средства загрузки и выгрузки деталей (манипуляторы и промышленные роботы), автоматические транспортные средства (шаговые транспортеры и тактовые столы), автоматические средства контроля деталей, автоматические ориентирующие устройства и кантователи, накопители и т. п.

Для выполнения данного раздела в пояснительной записке приводится маршрутный базовый техпроцесс с кратким содержанием операций.

По результатам анализа излагаются предложения по совершенствованию техпроцесса и разрабатывается новый автоматизированный техпроцесс.

7.4 Выбор заготовки

При выборе метода получения заготовки решающими факторами являются: форма детали, масса, материал, объем выпуска деталей. Окончательное решение о выборе метода принимается на основе техникоэкономических расчетов.

Заготовки деталей, обрабатываемых в автоматизированном производстве, должны иметь припуски с минимальными колебаниями. Если это условие не удастся обеспечить при получении заготовки, то вводят обдирочную операцию, которая выполняется до обработки детали на автоматической линии.

При выполнении экономических расчетов в данном разделе стоимость материалов, оборудования и тарифные ставки рабочих принимаются такими, какими они установлены на предприятиях, где студенты проходили вторую

конструкторско-технологическую практику.

Для выбора метода получения заготовки сравнивается стоимость заготовки по базовому варианту S_1 и проектируемому S_2 .

Стоимость заготовки по базовому варианту может быть взята из отчета по практике.

При отсутствии сведений о методе получения заготовки по базовому варианту стоимость заготовки рассматривается по двум возможным методам ее получения и делается их сравнение.

Стоимость заготовок из проката рассчитывается по формуле [3]

$$S_2 = M + \sum C_{o.з}, \quad (5)$$

где M – затраты на материал заготовки, р.;

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

Расчеты затрат на материалы и технологической себестоимости выполняются по формуле

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \cdot S_{отх}, \quad (6)$$

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 неkratности длины заготовки длине прутка. Сталь горячекатаная круглая по ГОСТ 2590–71 поставляется в прутках длиной 2...6 м:

$$\sum C_{o.з} = \frac{C_{н.з} \cdot t_{ум(ум-к)}}{60} \quad (7)$$

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

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

Примерные значения приведенных затрат $C_{н.з}$ отображены в [3].

Штучное или штучно-калькуляционное время $t_{ум(ум-к)}$ рассчитывается по формуле

$$t_{um(um-\kappa)} = \frac{L_{рез} + y}{S_M} \cdot \varphi, \quad (8)$$

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 $y = 6 \dots 8$ мм);

S_M – минутная подача при разрезании ($S_M = 50 \dots 80$ мм/мин);

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

Расчет стоимости заготовок, полученных литьем или штамповкой, выполняется по формуле [3]

$$S_2 = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_b \cdot K_M \cdot K_n \right) - (Q - q) S_{отх}, \quad (9)$$

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_b – коэффициент, зависящий от массы заготовки;

K_M – коэффициент, зависящий от марки материала;

K_n – коэффициент, зависящий от объема выпуска заготовок.

Перед расчетом стоимости заготовки по формуле (9) вычерчивается ее эскиз, назначаются припуски, устанавливаются размеры, по которым находятся объем и масса заготовки Q .

Для штампованных заготовок по ГОСТ 7505–89 устанавливаются:

– группа материала – М;

– класс точности – Т;

– степень сложности – С;

– исходный индекс.

По исходному индексу в том же стандарте определяются припуски на обрабатываемые поверхности и предельные отклонения размеров заготовки.

Параметры литых заготовок определяются по ГОСТ 26645–85.

Заканчивается раздел расчетом экономического эффекта:

$$\mathcal{E}_{заг} = (S_1 - S_2) \cdot N \quad (10)$$

где S_1 и S_2 – стоимость заготовки по базовому и проектируемому вариантам соответственно;

N – годовой объем выпуска деталей.

7.5 Разработка автоматизированного техпроцесса

В дипломном проекте новый автоматизированный техпроцесс разрабатывается на основе анализа и выводов, сделанных при анализе базового техпроцесса в подразд. 7.3.

При разработке автоматизированного техпроцесса необходимо использовать следующие рекомендации:

- тщательно проверить возможность встраивания в автоматическую линию выбранных для техпроцесса станков;

- определить технологические базы детали и решить, можно ли на принятых базах выполнить все операции обработки детали на автоматической линии и обеспечить требуемую точность и шероховатость ее поверхностей;

- в качестве технологических баз принимать такие поверхности деталей, которые обеспечивают их удобную установку, надежную фиксацию и закрепление в приспособления станков;

- определить, позволяют ли принятые технологические базы обрабатывать деталь на линии в стационарных станочных приспособлениях или в приспособлениях-спутниках;

- решить, какие операции технологического процесса будут выполняться на линии, до и после нее;

- подготовить технологические чертежи детали с размерами, которые она имеет перед обработкой на автоматической линии и после нее (проставляются размеры обрабатываемых поверхностей);

- определить правильную концентрацию операций (переходов) на отдельных станках линии за счет использования многоинструментных наладок или комбинированных инструментов, учитывая при этом, что сложные наладки требуют дополнительных затрат времени на замену инструментов;

- при концентрации операций (переходов) не следует на одной операции производить черновую и чистовую обработку детали, т. к. возникающие при этом деформации, вибрации и нагрев детали снижают ее точность;

- разработанный технологический процесс обработки детали на линии должен предусматривать выполнение сначала черновых, затем получистовых и в конце чистовых (финишных) операций;

- обеспечить синхронизацию (равенство штучного времени) операций на всех станках линии путем изменения режимов резания, укрупнения или расчленения операций;

- проверить, обеспечивается ли необходимая точность всех обрабатываемых поверхностей детали при ее обработке на автоматической линии.

Последняя рекомендация в курсовом проекте выполняется для одной (самой точной) поверхности детали по коэффициенту уточнения.

Необходимое общее уточнение рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_0 = \frac{T_{заг}}{T_{дет}}, \quad (11)$$

где $T_{заг}$ – допуск на изготовление заготовки (принимается по чертежу заготовки), мм;

$T_{дет}$ – допуск на изготовление детали (принимается по чертежу детали), мм.

С другой стороны, уточнение определяется как произведение уточнений, полученных при обработке поверхности на всех операциях (переходах) принятого техпроцесса :

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \dots \cdot \varepsilon_n = \prod_{i=1}^n \varepsilon_i, \quad (12)$$

где ε_i – величина уточнения, полученного на i -той операции

n – количество принятых в техпроцессе операций.

Промежуточные значения рассчитываются по формуле

$$\varepsilon_1 = \frac{T_{заг}}{T_1}, \quad \varepsilon_2 = \frac{T_1}{T_2}, \quad \varepsilon_3 = \frac{T_2}{T_3}, \quad \varepsilon_n = \frac{T_{n-1}}{T_n}, \quad (13)$$

где T_1, T_2, \dots, T_n – допуски размеров, полученные при обработке детали на n -той и т. д. операциях.

Точность обработки поверхности по принятому маршруту будет обеспечена, если соблюдается условие

$$\varepsilon_0 \leq \varepsilon_{пр}. \quad (14)$$

Значения допусков T_1, T_2, \dots, T_n принимаются по [7, таблицы 4 и 5]. В качестве примера рассмотрим обработку поверхности вала.

Исходные данные: размер детали $\varnothing 55$ к6, размер заготовки $\varnothing 60 \left(\begin{smallmatrix} +1.8 \\ -1.0 \end{smallmatrix} \right)$. Допуск заготовки $T_{заг} = 2,8$ мм; допуск детали $T_{дет} = 0,019$ мм. Необходимое общее уточнение рассчитываем по формуле (11):

$$\varepsilon_0 = \frac{2,8}{0,019} = 147,368.$$

Для обработки поверхности $\varnothing 55$ к6 принимаем следующий маршрут:

- черновое точение;
- чистовое точение;
- шлифование предварительное;
- шлифование тонкое.

Из [7, таблица 4] выписываем допуски на межоперационные размеры: $T_1 = 0,46$ мм (квалитет точности IT13); $T_2 = 0,074$ мм (квалитет точности IT9); $T_3 = 0,046$ мм (квалитет точности IT8). Тонкое шлифование согласно той же таблице может обеспечивать точность по 5-му квалитету (IT5), хотя по чертежу детали требуется только 6-й квалитет. Принимаем $T_4 = 0,013$ мм (IT5).

Рассчитываем промежуточные значения уточнений по формуле (13):

$$\varepsilon_1 = \frac{2,8}{0,46} = 6,09; \quad \varepsilon_2 = \frac{0,46}{0,074} = 6,22;$$

$$\varepsilon_3 = \frac{0,074}{0,046} = 1,61; \quad \varepsilon_4 = \frac{0,046}{0,013} = 3,54.$$

Определяем общее уточнение для принятого маршрута обработки по формуле (12):

$$\varepsilon_{np} = 6,09 \cdot 6,22 \cdot 1,61 \cdot 3,54 = 215,89.$$

Полученное значение ε_{np} показывает, что при принятом маршруте точность обработки поверхности $\varnothing 55$ к6 обеспечивается, т. к. $\varepsilon_0 < \varepsilon_{np}$ т. е. $147,38 < 215,89$.

Принятый маршрутный процесс оформляется в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Маршрутный техпроцесс изготовления вала КТМ.00

Номер операции	Наименование и краткое содержание операции	Модель станка	Режущий инструмент, размеры, марка инструментального	Технологическая база
05	Фрезерно-центровальная 1 Фрезерование торцов 2 Сверление центровых отверстий	MP-77	Фреза торцовая $\varnothing 125$; T5K10 Сверло центровочное $\varnothing 4$; P6M5	Поверхности заготовки $\varnothing 40$, $\varnothing 60$, торец
10	Токарная с ЧПУ 1 Черновое точение поверхностей $\varnothing 37$, $\varnothing 42$, $\varnothing 50$ 2 Чистовое точение поверхностей $\varnothing 35$, $\varnothing 40$ 3 Точение фасок	16K20Ф3	Резец проходной 16×25 ; T5K10 Резец канавочный T5K10	Центровые отверстия
15	Вертикально-фрезерная Фрезерование шпоночного паза ($b = 12N9$, $l = 30$)	6M12П	Фреза шпоночная $\varnothing 12$; P6M5	Цилиндрические поверхности $\varnothing 35$, $\varnothing 50$, торец
...
45	Контрольная	Стол ОТК		

7.6 Расчет припусков на обработку

В дипломном проекте подробный расчет припусков выполняется на одну (наружную или внутреннюю) самую точную поверхность. Такая поверхность определяется руководителем проекта.

Исходными данными, которые записываются перед началом расчета, являются:

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

При расчете приводятся расчетная таблица и схема графического расположения припусков и допусков. Все расчеты заканчиваются проверкой правильности их выполнения.

Все расчетные формулы, справочные сведения и примеры расчетов приведены в [3].

На все остальные обрабатываемые поверхности припуски назначаются: для поковок – по ГОСТ 7505–89, для отливок – по ГОСТ 26645–85.

Значения всех припусков сводятся в таблицу 3.

Таблица 3 – Припуски и предельные отклонения на обрабатываемые поверхности вала

В миллиметрах

Размер детали	Припуск		Предельные отклонения
	табличный	расчетный	
Ø 55 к6	–	$2 \cdot 2,5$	+1,8 –1,0
Ø 60 h8	–	$2 \cdot 2,2$	+1,8 –1,0
45-0,62	$2 \cdot 1,8$	–	+1,3 –1,0
220-1,15	$2 \cdot 2,0$	–	+2,4 –1,2

7.7 Расчет режимов резания

7.7.1 Исходные данные.

В дипломном проекте режимы резания рассчитываются на все операции техпроцесса любым методом. В записке приводятся подробные расчеты на четыре разные операции.

Расчет режимов резания с использованием аналитических формул выполняется по [8].

Для расчета режимов резания по нормативам могут быть использованы [6, 9, 20, 22].

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, марка материала режущей части.

7.7.2 Расчет режимов резания для автоматической линии.

Для обработки деталей на автоматической линии используют, как правило, стандартные и нормализованные режущие инструменты и при необходимости – специальные.

Режущий инструмент, применяемый для обработки деталей на автоматической линии, должен удовлетворять следующим требованиям [10, 11, 12, 23]:

- иметь достаточно высокую стойкость и обладать необходимой стойкостью для получения стабильных размеров поверхностей обрабатываемых деталей;
 - удобно и быстро подналаживаться или заменяться при износе;
 - оснащаться неперетачиваемыми пластинками из твердого сплава.
- Режимы резания для станков, встроенных в автоматическую линию, принимают на 15 %...20 % меньшими с нормативными значениями.

Глубина резания определяется с учетом величины припуска и маршрутной технологии (черновая обработка, чистовая обработка, окончательная обработка и т. д.) обработки поверхности. При этом на чистовую и финишную обработку оставляется, как правило, 20 %...30 % общего припуска.

Подача на оборот S_o (подача на зуб S_z при фрезеровании) выбирается в зависимости от глубины резания по справочникам. Справочные значения подачи корректируются и принимаются окончательно по паспортным данным станка выбранной модели. Такие данные имеются в [3, 22]. Следует помнить, что подачи для резцов, оснащенных трехгранными пластинками, ограничиваются их прочностью $S_{\max} \leq 0,5$ мм/об.

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

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D}, \quad (15)$$

где D – диаметр детали или инструмента.

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

$$V_o = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}. \quad (16)$$

В заключение рассчитывается эффективная мощность резания N_e и сравнивается с мощностью главного привода станка $N_{см}$ с учетом его КПД. Аналогично рассчитываются режимы резания (в пояснительной записке расчеты не приводятся) на все остальные операции и записываются в операционные карты и сводную таблицу режимов резания (таблица 4).

7.8 Автоматизированное проектирование

Раздел выполняется в соответствии с заданием консультанта по автоматизированному проектированию и программам, имеющимся в лаборатории САПР кафедры «Технология машиностроения».

7.9 Расчет норм времени

7.9.1 Расчет норм времени для автоматических линий.

На каждую операцию, выполняемую на автоматической линии, рассчитывается оперативное время как

$$t_{on} = t_o + t_g, \quad (17)$$

где t_o – основное время;

t_g – вспомогательное время.

Результаты расчетов представляются в таблице 4.

Таблица 4 – Сводная таблица режимов резания

Номер операции	Наименование операции, перехода	Глубина резания t , мм	Длина резания $l_{рез}$, мм	Подача S_o , мм/об		Скорость V , м/мин		Частота вращения n , мин ⁻¹		Минутная подача S_m , мм/мин	Основное время t_o , мин
				расчетная	принятая	расчетная	принятая	расчетная	принятая		
05	Токарная с ЧПУ 1 Точение черновое Ø 40	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
10	Сверлильная 1 Сверление отв. Ø 10	5	16	0,18	0,16	19	18,2	605	580	92,8	0,24

Основное время при обработке деталей на автоматических линиях включает:

- время на ускоренный подвод силовых головок или суппортов с режущими инструментами к детали;
- время на обработку детали режущими инструментами с рабочей подачей;
- время на быстрый отвод силовых головок или суппортов в исходное положение.

Время на ускоренный подвод рассчитывается по формуле

$$t_{\text{б.н.}} = \frac{L_{\text{б.н.}}}{V_{\text{б.н.}}} \quad (18)$$

где $L_{\text{б.н.}}$ – длина быстрого подвода силовых головок или суппортов (определяется по чертежу инструментальной наладки на операцию);

$V_{\text{б.н.}}$ – скорость быстрого подвода силовых головок или суппортов (принимается по технической характеристике станка).

Время на обработку детали можно найти по формуле

$$t_m = \frac{L_{p.x.}}{S_o \cdot n}, \quad (19)$$

где $L_{p.x.}$ – длина рабочего хода силовой головки или суппорта (принимается по чертежу инструментальной наладки на операцию);

S_o – подача инструмента на один оборот;

n – частота вращения шпинделя.

Время быстрого отвода рассчитывается по формуле

$$t_{\text{б.о.}} = \frac{L_{\text{б.о.}}}{V_{\text{б.о.}}}, \quad (20)$$

где $L_{\text{б.о.}}$ – длина быстрого отвода силовых головок и суппортов (определяется по чертежу инструментальной наладки на операцию);

$V_{\text{б.о.}}$ – скорость быстрого отвода силовых головок и суппортов (принимается по технической характеристике станка).

Таким образом, основное время может быть определено суммированием всех его составляющих:

$$t_o = t_{\text{б.н.}} + t_m + t_{\text{б.о.}} \quad (21)$$

При параллельной обработке деталей на многопозиционных агрегатных станках и многошпиндельных токарных (вертикальных и горизонтальных) полуавтоматах основное время рассчитывается для всех позиций станка.

В качестве основного времени на операцию принимается время лимитирующей позиции с наибольшим временем обработки, т. е.

$$t_o = t_{\max} \quad (22)$$

При последовательной обработке деталей на многопозиционных агрегатных станках и токарных (многолезцовых и копировальных) полуавтоматах время рассчитывается для всех силовых головок и суппортов. Основное время на операцию определяется суммированием времени всех головок или суппортов, т. е.

$$t_o = \sum^n t_{oi}, \quad (23)$$

где n – количество силовых головок или суппортов.

Вспомогательное время при обработке деталей на автоматических линиях включает:

- время на фиксацию и расфиксацию деталей или приспособлений-спутников на станках;
- время на зажим и разжим деталей или приспособлений-спутников на станках;
- время перемещения деталей или приспособлений-спутников между станками.

На предварительном этапе разработки автоматической линии вспомогательное время может быть принято $t_{\epsilon} = 0,15 \dots 0,5$ мин в зависимости от сложности цикла ее работы. Более точно вспомогательное время определяют по циклограмме работы агрегатов линии.

7.9.2 Синхронизация операций автоматической линии.

Для обеспечения работы линии с установленной производительностью необходимо, чтобы оперативное время выполнения каждой операции не превышало расчетного такта выпуска деталей, рассчитанного по формуле (1), т. е. соблюдать условие

$$t_{oni} \leq t_{\epsilon}. \quad (24)$$

Однако такое условие не всегда удается обеспечить. Поэтому операции, у которых оперативное время незначительно превышает такт выпуска, подлежат тщательному анализу с целью сокращения оперативного времени. Это может быть сделано за счет дифференциации или, наоборот, концентрации технологических переходов операции, за счет использования прогрессивных конструкций режущих инструментов и повышения, соответственно, режимов резания, за счет увеличения скоростей холостых перемещений исполнительных органов станка и других мероприятий.

Для выполнения операций с существенным превышением оперативного времени над тактом выпуска устанавливают несколько параллельно работающих станков, количество которых рассчитывают по формуле

$$m = \frac{t_{on}}{t_{\epsilon}}. \quad (25)$$

За фактический такт выпуска линии принимается оперативное время наиболее длительной (лимитирующей) операции, т. е.

$$t_{\epsilon, \phi.} = t_{on \max}. \quad (26)$$

Часовую производительность линии можно найти по формуле

$$N_{\epsilon} = \frac{60 \cdot \eta}{t_{\epsilon, \phi.}}, \quad (27)$$

где η – КПД линии, $\eta = 0,7 \dots 0,85$.

7.9.3 Расчет норм времени для гибких автоматизированных линий (РТЛ).

Основными составляющими частями гибких автоматизированных линий являются роботизированные технологические комплексы (РТК) или гибкие производственные модули (ГПМ). Для РТК и ГПМ рассчитывается время цикла по формуле

$$t_{\epsilon} = t_{p.x.} + t_{\epsilon.x.} + t_{p.m.}, \quad (28)$$

где $t_{p.x.}$ – суммарное время выполнения всех рабочих ходов операции, мин;

$t_{\epsilon.x.}$ – суммарное время выполнения всех вспомогательных ходов операции, мин;

$t_{p.m.}$ – суммарное время работы манипулятора (робота), мин.

Суммарное время рабочих ходов можно найти по формуле

$$t_{p.x.} = \sum_{i=1}^n \frac{L_{p.x.i}}{S_{mi}}, \quad (29)$$

где $L_{p.x.i}$ – длина рабочего хода инструмента или детали при обработке i -й поверхности, мм;

S_{mi} – минутная подача при обработке i -й поверхности, мм/мин;

n – количество рабочих ходов.

Суммарное время выполнения вспомогательных ходов рассчитывается по формуле

$$t_{\text{в.х.}} = \sum_{i=1}^m \frac{L_{x.x.i}}{V_{x.x.i}} + \sum_{i=1}^k t_{\text{ДП}} \quad (30)$$

где $L_{x.x.i}$ – длина i -го холостого хода, мм;

$V_{x.x.i}$ – скорость выполнения холостого хода (скорость быстрого перемещения стола, суппорта или шпиндельной головки), мм/мин;

m – количество холостых ходов;

$t_{\text{ДП}}$ – время выполнения дополнительных приемов, мин;

k – количество дополнительных приемов.

Для расчета суммарной длины всех рабочих и вспомогательных ходов составляется схема перемещений инструмента, на которой сплошными линиями указывают рабочие хода, а штриховыми – вспомогательные.

7.10 Программирование операций технологического процесса

В тексте записки необходимо привести следующие подразделы.

1 Исходные данные. Приводится эскиз обрабатываемой детали, на котором тонкими линиями указывается контур заготовки перед данной операцией, жирной 2S линией обозначаются обрабатываемые поверхности, наносятся размеры детали и заготовки с указанием предельных отклонений.

2 Выбор оборудования. Исходя из технологических возможностей и характера обработки осуществляется подбор станка с ЧПУ, указывается его обозначение, обозначение системы ЧПУ. Приводится техническая характеристика станка, а также формат записи управляющей программы.

3 Выбор режущего инструмента. Для каждого перехода выбирается режущий инструмент, приводится его обозначение в соответствии со стандартом и представляется в записке в виде эскиза с обозначением габаритных и присоединительных размеров, а также с указанием нуля (точки привязки) инструмента. Для сборного инструмента отдельно указывается обозначение корпуса и режущей пластинки.

4 Расчет режимов резания. Для каждого инструмента (перехода) выполняется расчет режимов резания (приводятся результаты расчета, если такой расчет был выполнен ранее).

5 Выбор вспомогательного инструмента. Исходя из технической характеристики станка и используемого инструмента осуществляется подбор вспомогательного инструмента, приводится его обозначение. Вспомогательный инструмент изображается в сборе с режущим инструментом, указываются наладочные размеры – от нуля режущего инструмента до опорной поверхности вспомогательного инструмента.

6 Определяется схема базирования для каждого установка. При несовпадении измерительной, технологической баз и нуля детали осуществляется расчет технологических размерных цепей, все размеры проставляются от нуля детали. Устанавливаются допуски на наладочные размеры.

7 Разработка схемы движения инструмента. Схема движения инструментов предназначена для учета всех без исключения перемещений инструментов как по величине, так и по направлению (рисунок 2).

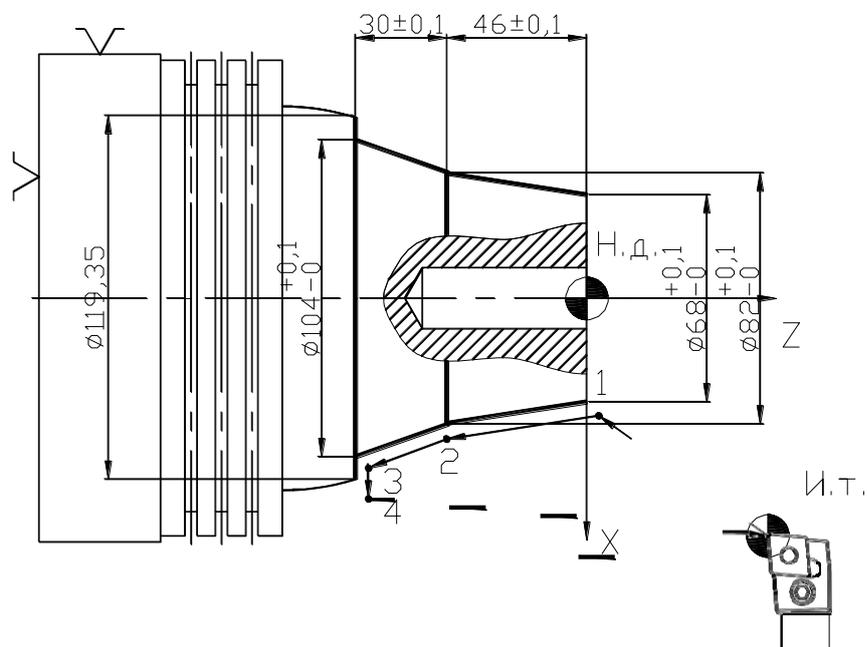


Рисунок 2 – Траектория движения инструмента

Если в обработке детали участвуют до трех инструментов при небольшом количестве опорных точек, то вычерчивается общая схема для всех инструментов. При большом числе инструментов и значительном количестве опорных точек следует вычерчивать схему движения для каждого инструмента отдельно. Проектирование схем движения инструментов должно завершиться вычерчиванием обрабатываемого контура детали и соответствующей ему траектории инструмента с нанесением осей координат детали и указанием координат ее базовых поверхностей, т. е. расстояния от нулевой точки детали до исходной точки программы. При построении траектории в обязательном порядке необходимо учитывать следующий момент: начинаться и заканчиваться движение инструмента с рабочей подачей должно на некотором расстоянии от заготовки (запас на врезание и перебег – обычно 0,5...2 мм). Особенности построения траекторий, используемые обозначения приведены в [25, 26, 29, 30].

Траектория перемещений инструмента обязательно сопровождается таблицей, в которую сводятся координаты всех опорных точек с точностью до микрометра (таблица опорных точек). Координаты необходимо рассчитывать с учетом поля допуска на размер – должна быть указана середина поля допуска (таблица 5, точки 1, 2, 3).

Таблица 5 – Координаты опорных точек

Номер точки	X	Z
Исходная точка	140	60
1	67,695	1
2	82,05	-46
3	104,05	-76

Совокупность траекторий и таблиц опорных точек образует расчетно-технологическую карту, которая может быть представлена в графической части дипломного проекта, в противном случае схемы траекторий перемещений инструментов и таблицы опорных точек приводятся в тексте пояснительной записки.

7.10.1 Разработка управляющей программы.

Последовательность перемещений инструмента, его смена, скорость вращения шпинделя при автоматической обработке детали на станке с ЧПУ задаются программной последовательностью действий, «понятной» ЭВМ. Любая программа состоит из последовательности кадров, обычно каждый кадр занимает одну строку. Кадр включает в себя набор слов, каждое из которых состоит из адреса и цифрового значения (рисунок 3).

Программирование начинается с номера первого кадра (N1) и заканчивается командой «Конец информации» или «Конец программы», записываемой в виде отдельного кадра (M30) (см. рисунок 3):

- каждый кадр имеет начало, задаваемое по адресу N, и конец в виде слова ПС (не обязательно для различных систем ЧПУ). Порядок расположения остальных слов в кадре зависит от конкретной системы ЧПУ;

- перемещения инструмента по осям. Перемещения можно задавать в абсолютной (G90) и относительной (G91) системах координат. В абсолютной системе координаты точек траектории инструмента записываются относительно нуля детали. Каждая точка траектории является вершиной режущей части инструмента при расчете перемещений по контуру или центром скругления дуги резца – эквидистанта. В большинстве случаев расчет перемещений производится по контуру. По эквидистанте обыкновенно рассчитывают перемещение при обработке сферы резцом с большим радиусом закругления. Относительные координаты показывают величину перемещения инструмента от предыдущего его положения.

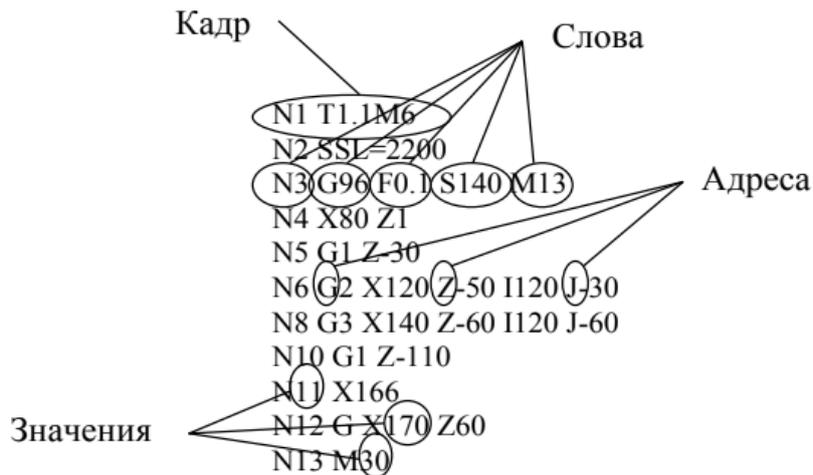


Рисунок 3 – Структура управляющей программы

Для того чтобы задать перемещение инструмента по этим осям, используются адреса X, Y (по осям X, Y) и Z (по оси Z), после которых указывают соответствующие координаты опорных точек;

– указание режимов резания. Скорость резания задается адресом S либо в оборотах в минуту (G97 S500), либо в метрах в минуту (G96 S98). Скорость рабочей подачи инструмента задается по адресу F и может быть выражена в миллиметрах на оборот (G95 F0.1) или в миллиметрах в минуту (G94 F100);

– выбор инструмента. В программе по адресу T указывается номер инструмента, смена инструмента обычно осуществляется по функции M6.

Более подробно с особенностями программирования обработки на станках с ЧПУ можно ознакомиться в [25, 27, 28, 30, 32].

8 Гибкий автоматизированный участок

8.1 Планировка участка

В пояснительной записке должна быть описана общая компоновка цеха с указанием принципа компоновки участков механических и сборочных, вспомогательных и бытовых помещений, общего направления грузопотока и т. д. Здесь же даются обоснование типа и конструкций здания, этажность производственных и обслуживающих помещений, характер пристройки для бытовых помещений и основные размеры здания (сетка колонн, высота и длина пролетов), конструкции и материалы стен, колонн, перекрытий, тип световых фонарей, способов водоотвода и т. д. После общего описания цеха дается описание планировки проектируемого участка с указанием способа расположения оборудования, автоматического транспортирования и хранения необходимых запасов заготовок, деталей, полуфабрикатов,

инструментов, приспособлений и других материалов. Примеры планов участков приведены на рисунках А.1, А3–А.6.

8.2 Автоматическая транспортно-накопительная система

Автоматическая транспортно-накопительная система (АТНС) гибкого автоматизированного участка служит для транспортирования и хранения заготовок, деталей, инструментов, приспособлений и других материалов. Функционально АТНС можно разделить на две системы: транспортную и накопительную (автоматический склад).

В дипломном проекте в зависимости от массы и габаритов обрабатываемых деталей определяются основное оборудование и параметры транспортной системы.

К основному оборудованию транспортной системы относятся: конвейеры (ленточные, пластинчатые, роликовые, подвесные), транспортные и перегрузочные роботы, ориентирующие и переориентирующие устройства, поворотные и подъемные столы.

К вспомогательному оборудованию транспортной системы относятся: тара, питатели, отсекатели, толкатели, сбрасыватели, перегружатели, накопители, адресователи, ориентаторы и другие устройства.

8.3 Автоматический склад

Автоматический склад обеспечивает не только хранение материальных средств, необходимых для работы участка, но и его связи с другими участками цеха и предприятия.

Автоматический склад может состоять из различных сочетаний следующих технологических участков:

- зона хранения грузов;
- участок укладки изделий, заготовок, инструментов и других материалов в транспортно-складскую тару;
- участок приема и выдачи грузов из зоны хранения;
- участок приема и выдачи грузов на автоматическую транспортную систему.

В конструктивном отношении наиболее распространенный автоматический склад может включать в том или ином сочетании набор из следующих элементов:

- стеллажные конструкции;
- автоматические штабелирующие машины;
- транспортно-складская тара;
- устройства для перегрузки тары (груженой или порожней) со штабелирующей машины на накопитель и обратно;
- накопительные накопители (конвейеры или специальные устройства).

В зависимости от конструктивных особенностей и технической оснащённости можно рекомендовать для использования в дипломных проектах следующие основные типы автоматических складов:

- с клеточными стеллажами и автоматическим стеллажным краном-штабелером;
- с клеточными стеллажами и автоматическим мостовым краном-штабелером;
- с автоматическими элеваторными стеллажами;
- с гравитационными стеллажами и автоматическими стеллажными кранами-штабелерами.

9 Конструирование и расчет средств автоматизации технологического процесса

9.1 Роботизированный технологический комплекс

При проектировании в дипломном проекте гибкого автоматизированного участка роботизированные технологические комплексы (РТК) разрабатываются на все операции технологического процесса. В пояснительной записке приводятся подробные расчеты для одного комплекса.

При проектировании автоматизированного технологического процесса РТК разрабатывается на одну или несколько операций со всеми расчетами.

РТК – это совокупность единицы технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующая и осуществляющая многократные циклы.

9.1.1 Основное оборудование.

Основным оборудованием РТК в автоматизированном технологическом процессе являются станки с ЧПУ или станки-полуавтоматы. Их модели определены при разработке техпроцесса.

В данном разделе приводятся краткая характеристика станка и описание его рабочей зоны. При описании особое внимание следует обратить на возможность доступа манипулятора промышленного робота в рабочую зону (сверху, спереди, слева, справа). Здесь же дается подробное описание способа закрепления детали в автоматическом станочном приспособлении.

9.1.2 Выбор промышленного робота.

В первую очередь определяется тип промышленного робота в зависимости от рабочей зоны станка. Чаще всего для обслуживания металлорежущих станков применяют промышленные роботы портального типа, работающие в прямоугольной системе координат, или напольные роботы, работающие в цилиндрической системе координат [13, 31].

Конкретная модель робота выбирается с учетом его характеристик: грузоподъемности, типа привода, числа степеней подвижности, погрешности позиционирования, величин линейных и угловых перемещений и т. д. Особое внимание следует обратить на точность позиционирования робота, от которой зависит точность установки детали в станочное приспособление. После определения модели робота выбирается конструкция захватного устройства к нему и вычерчивается его эскиз с закрепленной деталью [7, 13, 31].

9.1.3 Выбор вспомогательного оборудования.

В состав вспомогательного оборудования РТК в общем случае могут входить: ориентирующие устройства, тактовые транспортеры и столы, накопители, столы приема деталей, кассеты, тара и т. п. Конструкция конкретного устройства разрабатывается в зависимости от общей компоновки участка или отдельной операции. В пояснительной записке вычерчивается эскиз приспособления, которое устанавливается на столах или транспортерах [4, 5, 14, 15].

Заканчивается раздел расчетом цикла работы РТК и составлением циклограммы.

9.2 Расчет и проектирование автоматического станочного приспособления

В данном разделе разрабатывается автоматическое станочное приспособление для одной из операций автоматизированного технологического процесса.

В описании назначения и устройства приспособления указывается, для выполнения какой операции оно предназначено, на каком станке устанавливается, из каких узлов (деталей) состоит, как базируется в устройстве деталь, как действует устройство при закреплении (откреплении) детали, как устанавливается (выверяется) устройство на станке. При описании используются позиции сборочного чертежа [4, 18, 19].

Расчет привода устройства начинается с составления схемы всех действующих на деталь сил: сил резания, сил закрепления, объемных сил, реакции опор, сил трения. Схема вычерчивается в пояснительной записке.

По схеме составляются уравнения равновесия детали, из которых определяется необходимая сила закрепления. По силе закрепления с учетом передаточного механизма рассчитываются параметры (величина хода, диаметр и т. д.) привода устройства.

Для расчета устройства на прочность определяются его наиболее нагруженные элементы: болты, винты, шпильки, штифты, оси и т. д. Расчет их на прочность (срез, смятие) выполняется по формулам из курса «Детали машин».

В пояснительной записке или графической части приводится пневматическая, гидравлическая или электрическая схема приспособления, обеспечивающая работу приспособления в автоматическом режиме, соответствующем циклу работы станка.

Общий вид приспособления изображается в двух или трех проекциях с разрезами и сечениями, необходимыми для ясного понимания конструкции и действия всех его элементов.

На сборочный чертеж приспособления составляется спецификация по ГОСТ 2.108–68.

9.3 Расчет и проектирование вспомогательных средств автоматизации

В данном разделе разрабатывается проект одного из следующих средств автоматизации разработанного технологического процесса:

- автоматическое станочное приспособление;
- автоматическое загрузочное устройство;
- автоматическое ориентирующее устройство;
- автоматическое устройство поштучной выдачи деталей;
- автоматическое устройство контроля размеров деталей;
- автоматическое подналадочное устройство. Раздел включает следующие подразделы:
- назначение и устройство средства автоматизации;
- выбор и расчет привода;
- расчет устройства на прочность;
- расчет устройств на точность установки, позиционирования, ориентирования, регулирования и т. п.

В описании назначения и устройства приспособления указывается, для выполнения какой операции оно предназначено, на каком станке устанавливается, из каких узлов (деталей) состоит, как базируется в устройстве деталь, как действует устройство при закреплении (откреплении) детали, как устанавливается (выверяется) устройство на станке. При описании используются позиции сборочного чертежа.

Разработанная в проекте конструкция средства автоматизации в зависимости от его назначения должна обеспечивать необходимую точность установки детали (для станочных автоматических приспособлений), точность ориентирования или позиционирования (для автоматических загрузочных и ориентирующих устройств и устройств поштучной выдачи деталей), точность измерения (для автоматических контрольных устройств), точность регулирования (для автоматических подналадочных устройств) и т. п.

Расчет автоматических устройств на точность рекомендуется выполнять в такой последовательности:

- провести анализ служебного назначения устройства и выявить его исполнительные поверхности;
- выявить детали (узлы) устройства, оказывающие влияние на точность конечного положения его исполнительных поверхностей;
- из служебного назначения устройства установить допустимую погрешность положения исполнительных поверхностей (допуск исходного звена);
- по допустимой погрешности положения определить допуски на детали, выявленные во втором пункте, при необходимости выявить и решить размерную цепь;
- сформулировать технические требования к работе автоматического устройства.

На сборочный чертеж составляется спецификация.

10 Охрана труда

В данном разделе выявляются опасные и вредные для здоровья операторов факторы, а также источники загрязнения окружающей среды, сопровождающие реализацию разработанного технологического процесса в производственных условиях, анализируются мероприятия по их устранению или уменьшению влияния.

Раздел выполняется по методическим указаниям кафедры «Безопасность жизнедеятельности». Его объем не должен превышать 8–10 страниц.

11 Организационно-экономическое проектирование

Раздел состоит, как правило, из двух подразделов:

- организационная часть проекта;
- экономические расчеты.

В организационной части дается описание организации одной из служб цеха или предприятия, например:

- организация управления цехом;
- организация технологической подготовки производства;
- организация труда и заработной платы;
- организация технического контроля;
- организация инструментального хозяйства;
- организация ремонтного хозяйства;
- организация оперативного планирования;
- организация складского хозяйства цеха;
- организация внутрицехового и межоперационного транспорта и др.

Экономические расчеты выполняются по методическим указаниям кафедры экономики.

12 Мероприятия по экономии материальных и энергетических ресурсов

При разработке дипломного проекта каждый студент должен тщательно проанализировать принятые решения с позиции экономии материальных и энергетических ресурсов, разработать соответствующие мероприятия и рассчитать размеры возможной экономии.

Экономия металла может быть получена за счет совершенствования метода получения заготовки; экономия электрической энергии – за счет уменьшения количества станков в принятом технологическом процессе; экономия тепловой энергии – за счет сокращения производственных площадей, на обогрев которых она расходуется.

13 Заключение

В заключении должны содержаться общие выводы по всему проекту, в которых отражаются основные отличия разработанного техпроцесса от базового, применение новых методов обработки, высокопроизводительного оборудования, механизированных приспособлений, прогрессивных конструкций режущих инструментов и т. п., перечисляются мероприятия, за счет которых получен годовой экономический эффект.

14 Технологическая документация

14.1 Технологическая документация на изготовление деталей на автоматических линиях

При изготовлении деталей на автоматической линии в состав технологической документации в соответствии с ГОСТ 3.1423–75 входят:

- карта технологического процесса (формы 1 и 1а);
- операционная карта (формы 2 и 2а).

Все карты оформляются на листах формата А3.

14.2 Технологическая документация на операции, выполняемые на станках с ЧПУ

При разработке типовых (групповых) техпроцессов для станков с ЧПУ в соответствии с ГОСТ 3.1418–82 составляются следующие документы:

- маршрутная карта (МК, формы 1 и 1а);
- операционная карта (ОК, формы 2,3 и 2а);
- карта наладки инструмента (КН/П, формы 4 и 4а);
- карта эскизов (КЭ, формы 5 и 5а);
- карта кодирования информации (ККИ, формы 5 и 5а).

Список литературы

- 1 **Жолобов, А. А.** Технология автоматизированного производства / А. А. Жолобов. – Минск : Дизайн ПРО, 2000. – 624 с.
- 2 Технология автоматизированного машиностроения / под ред. А. А. Жолобова. – Минск : Дизайн ПРО, 1997. – 384 с.
- 3 **Горбацевич, А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – Минск : Выш. шк., 1983. – 256 с.
- 4 **Горошкин, А. К.** Приспособления для металлорежущих станков: справочник / А. К. Горошкин. – М. : Машиностроение, 1979. – 303 с.
- 5 Дипломное проектирование по технологии машиностроения / под общ. ред. В. В. Бабука. – Минск : Выш. шк., 1979. – 464 с.
- 6 Режимы резания металлов : справочник / под ред. Ю. В. Барановского. – М. : Машиностроение, 1972. – 408 с.
- 7 Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с.
- 8 Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
- 9 Обработка металлов резанием : справочник технолога / под ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
- 10 Справочник инструментальщика / под ред. И. А. Ординарцева. – Л. : Машиностроение, 1987. – 846 с.
- 11 **Кузнецов, Ю. И.** Оснастка для станков с ЧПУ : справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков. – М. : Машиностроение, 1990. – 512 с.
- 12 **Шатин, В. П.** Шпиндельная оснастка : справочник / В. П. Шатин, Ю. В. Шатин. – М. : Машиностроение, 1981. – 439 с.
- 13 **Козырев, Ю. Г.** Промышленные роботы : справочник / Ю. Г. Козырев. – М. : Машиностроение, 1983. – 376 с.
- 14 **Владзиевский, А. П.** Основы автоматизации производства в машиностроении / А. П. Владзиевский, А. П. Белоусов. – М. : Высш. шк., 1974. – 352 с.
- 15 **Белоусов, А. П.** Автоматизация процессов в машиностроении / А. П. Белоусов, А. И. Дащенко, П. М. Полянский. – Минск : Выш. шк., 1973. – 456 с.
- 16 Автоматизация дискретного производства / под ред. Е. И. Семенова, Л. И. Волчкевича. – М. : Машиностроение, 1987. – 376 с.
- 17 Автоматическая загрузка технологических машин / под ред. И. А. Клусова. – М. : Машиностроение, 1990. – 400 с.
- 18 **Кузнецов, М. М.** Проектирование автоматизированного производственного оборудования / М. М. Кузнецов, Б. А. Усов, В. С. Стародубов. – М. : Машиностроение, 1987. – 288 с.

19 **Фельдштейн, Е. Э.** Режущий инструмент и оснастка станков с ЧПУ : справ. пособие / Е. Э. Фельдштейн. – Минск : Выш. шк., 1988. – 336 с.

20 **Общемашиностроительные нормативы режимов резания резцами с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин. Обработка на станках с ЧПУ.** – М. : НИИМАШ, 1978. – 56 с.

21 **Вороничев, Н. М.** Автоматические линии из агрегатных станков / Н. М. Вороничев, В. Б. Генин, Ж. Э. Тартаковский. – М. : Машиностроение, 1971. – 552 с.

22 **Белькевич, Б. А.** Справочное пособие технолога машиностроительного завода / Б. А. Белькевич, В. Д. Тимашков. – Минск : Беларусь, 1972. – 640 с.

23 **Камышный, Н. И.** Конструкции и наладка токарных автоматов и полуавтоматов / Н. И. Камышный, В. С. Стародубов. – М. : Выш. шк., 1971. – 424 с.

24 **Брон, Л. С.** Конструкции и наладка автоматических линий и специальных станков / Л. С. Брон. – М. : Выш. шк., 1973. – 310 с.

25 **Жолобов, А. А.** Программирование процессов обработки поверхностей на станках с ЧПУ : учеб. пособие / А. А. Жолобов, Ж. А. Мрочек, А. М. Федоренко. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 339 с. : ил.

26 **Станки с ЧПУ в технологических процессах : метод. указания по дипломному проектированию для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения»** / сост. А. А. Жолобов, А. М. Федоренко. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2008. – 40 с. : ил.

27 **Гжиров, В. И.** Программирование обработки на станках с ЧПУ : справочник / В. И. Гжиров, П. П. Серебrenицкий. – Л. : Машиностроение, 1990. – 588 с. : ил.

28 **Технология машиностроения. Практикум: учеб. пособие** / А. А. Жолобов, А. М. Федоренко, Ж. А. Мрочек; под ред. А. А. Жолобова. – Минск : Выш. шк., 2015. – 335 с.: ил.

29 **Пашкевич, М. Ф.** Технология машиностроения. Курсовое и дипломное проектирование: учеб. пособие / М. Ф. Пашкевич, А. А. Жолобов, В. И. Аверченков. – Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 444 с.

30 **Аверченков, В. И.** Автоматизация подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ / В. И. Аверченков, А. А. Жолобов, Ж. А. Мрочек. – Брянск : БГТУ, 2010. – 212 с.

31 **Иванов, А. А.** Основы робототехники : учеб. пособие / А. А. Иванов. – М. : ФОРУМ, 2015. – 224 с.

32 **Фурсенко, С. Н.** Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – М. : ИНФРА-М; Минск : Новое знание, 2015. – 377 с.

33 **Жолобов, А. А.** Экономика и организация машиностроительного производства. Дипломное проектирование / А. А. Жолобов, А. Г. Барановский, В. Т. Высоцкий ; под ред. А. А. Жолобова. – Минск : РИВШ, 2021. – 320 с.

34 **Жолобов, А. А.** Технология машиностроения: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1: Формообразование деталей и сборка узлов машин / А. А. Жолобов, А. М. Федоренко. – Минск : РИВШ, 2020. – 520 с. : ил.

35 **Жолобов, А. А.** Технология машиностроения : учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 2 : Высокоэффективные технологии и оборудование современных производств / А. А. Жолобов, А. М. Федоренко. – Минск : РИВШ, 2020. – 480 с.: ил.

36 **Жолобов, А. А.** Практикум по технологии машиностроения: учеб. пособие / А. А. Жолобов, И. Д. Камчицкая, А. М. Федоренко. – Минск : РИВШ, 2020. – 316 с.

37 **Минаков, А. П.** Проектирование и производство заготовок: учеб. пособие / А. П. Минаков, И. Д. Камчицкая, Е. В. Ильюшина. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2017. – 326 с. : ил.

38 **Марков, В. В.** Расчет режимов резания. Курсовое и дипломное проектирование по технологии машиностроения : учеб. пособие / В. В. Марков, А. В. Сметанников, П. И. Кискеев. – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 136 с.

39 **Зинченко, А. М.** Технология машиностроения. Выпускная квалификационная работа бакалавра : учеб. пособие / А. М. Зинченко, С. Н. Кучма, С. Ю Стародубов. – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 256 с.