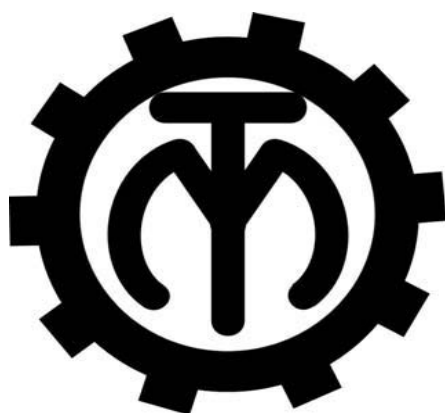


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

*Методические рекомендации для студентов направления
подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»
очной формы обучения*



Могилев 2025

УДК 621.01:65.011.56
ББК 34.5:32.965
В93

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

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

Составители: 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 разделов выпускной квалификационной работы, приведены требования к оформлению графической части проекта, пояснительной записки и технологических документов.

Учебное издание

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

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 выполнения выпускной квалификационной работы.....	4
2 Тематика выпускных квалификационных работ.....	5
3 Графическая часть выпускной квалификационной работы.....	6
4 Пояснительная записка.....	10
4.1 Требования к оформлению записке.....	10
4.2 Содержание пояснительной записки.....	12
5 Исходные данные для разработки проекта.....	13
5.1 Исходные данные.....	13
5.2 Определение типа производства.....	13
6 Технологическое проектирование.....	14
6.1 Назначение и конструкция детали.....	14
6.2 Анализ технологичности конструкции детали.....	14
6.3 Выбор метода получения заготовок.....	16
6.4 Разработка технологического процесса.....	17
6.5 Расчет режимов резания.....	18
7 Конструкторское проектирование.....	20
7.1 Разработка обрабатывающего модуля.....	20
7.2 Прочностной анализ шпоночного соединения привода.....	20
7.3 Выбор компоновки мехатронного модуля.....	21
7.4 Выбор вспомогательного оборудования.....	23
7.5 Построение циклограммы работы оборудования.....	23
8 Электропривод и автоматизация.....	25
9 Охрана труда.....	25
10 Организационно-экономическое проектирование и энерго- и ресурсосбережение.....	25
11 Заключение.....	25
12 Обозначение чертежей.....	26
Список литературы.....	27

1 Цели и задачи выполнения выпускной квалификационной работы

Выпускная квалификационная работа бакалавра является формой итоговой государственной аттестации. Цель выполнения и защиты выпускной квалификационной работы (ВКР) – комплексная оценка уровня подготовки бакалавра и его соответствия требованиям ФГОС по направлению подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника».

Выполнение и защита ВКР является заключительным этапом обучения в вузе. В процессе выполнения выпускной квалификационной работы студент на основе полученных теоретических знаний, практических навыков и профессиональных компетенций должен подтвердить умение самостоятельно ставить и решать комплекс вопросов, обусловленных квалификацией бакалавра по направлению подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника».

Выпускная квалификационная работа бакалавра представляет собой самостоятельное и логически законченное исследование на выбранную тему в области мехатроники и робототехники. Она выполняется под руководством научного руководителя и является квалификационной, т. е. она выполняется с целью получения соответствующей квалификации и предназначена для оценки профессиональной подготовки выпускника в соответствии с уровнем подготовки – бакалавр. За все сведения, изложенные в выпускной квалификационной работе, принятые решения и за правильность всех результатов ответственность несет непосредственно студент – автор выпускной квалификационной работы. ВКР бакалавра представляет собой разработку, в которой решается задача проектирования мехатронного узла, или агрегата, мехатронного узла робототехнической системы, робота или робототехнического устройства, многокомпонентной мехатронной или робототехнической системы. При этом анализируются решаемые с помощью проектируемого оборудования задачи, обосновываются требования к системе в целом и к ее отдельным компонентам, проводится проектирование отдельных модулей, узлов и устройств.

В работе должна быть обоснована актуальность темы, ее техническая, экономическая, практическая или другая значимость; в ней анализируется научная литература, а также различная информация по аналогичным разработкам в области мехатроники и робототехники; формулируется цель разработки. Содержание работы могут составлять теоретические исследования или решение задач прикладного характера.

ВКР может представлять собой дальнейшее развитие ранее выполненных курсовых работ (проектов).

2 Тематика выпускных квалификационных работ

Тематика ВКР должна быть актуальной и соответствовать современному уровню и перспективам развития науки и техники, а по своему содержанию отвечать задачам подготовки высококвалифицированных специалистов. В каждой выпускной квалификационной работе должен быть решен комплекс взаимосвязанных технологических, конструкторских и организационно-экономических вопросов, а также вопросов обеспечения экологичности и безопасности жизнедеятельности, экономии материальных и энергетических ресурсов.

Для студентов направления подготовки «Мехатроника и робототехника» тематика ВКР может базироваться на разработке и исследовании мехатронных и робототехнических систем различного назначения, систем автоматического и автоматизированного управления механическими объектами и др. ВКР указанного профиля, должны содержать разработки исполнительных устройств, систем и комплексов, в которых основой является механическая часть (мехатронный модуль), а управление осуществляется с помощью компьютерных программ на основе микроконтроллеров и микропроцессоров.

Примерные темы выпускных квалификационных работ.

- 1 Мехатронный модуль обработки вала (оси, втулки, фланца и т. п.);
- 2 Роботизированный технологический комплекс для механической обработки вала (оси, втулки, фланца и т. п.)
- 3 Автоматизированный комплекс для механической обработки вала (оси, втулки, фланца и т. п.)
- 4 Разработка мехатронного модуля обработки втулки вала (оси, втулки, фланца и т. п.)

Руководители ВКР могут выдать студентам темы, не вошедшие в приведенный перечень, однако все они должны быть связаны с автоматизацией производственных процессов. Перечисленные темы выпускных квалификационных работ могут быть выполнены с более или менее развитой исследовательской частью. При этом наиболее целесообразно, чтобы исследовательская часть ВКР служила более полному и аргументированному обоснованию принятых в работе решений. В качестве таких исследований могут быть предложены следующие:

- исследование надежности автоматизированного комплекса;
- исследование производительности мехатронного модуля 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 выпускной квалификационной работы

Графическая часть ВКР выполняется на 9–10 чертежных листах формата А1 методами машинной графики. При необходимости в выпускной квалификационной работе могут быть использованы дополнительные форматы, размеры которых соответствуют ГОСТ 2.301–68. В связи с большим разнообразием тем ВКР далее приводится примерный перечень графической части. Конкретный перечень графических материалов определяется руководителем проекта и записывается в задание по проектированию ВКР. 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.

3.1 Чертежи детали и заготовки выполняются на 1 листе. Чертежи заготовок, полученных литьем, выполняются совмещенными с чертежом детали. При этом контуры отливки и штриховые линии (в разрезах и сечениях) вычерчиваются красным цветом или тонкой линией. Чертежи заготовок, полученных штамповкой, вычерчиваются отдельно. Внутри штампованной заготовки тонкими линиями показывается контур детали. Заготовки, полученные отрезкой из проката, в графической части проекта не представляются. Технические требования на чертежах детали должны быть тщательно отредактированы и соответствовать ГОСТ 2.316–2008.

3.2 Эскизы операционные выполняются на 1 листе. Перечень операций, представленных в графической части, определяет руководитель проекта. Заготовка (деталь) на эскизах изображается в рабочем положении, закрепленной в приспособлении. Количество изображений (видов, разрезов, сечений) должно быть достаточным для четкого представления о форме, размерных связях обрабатываемых поверхностей с другими поверхностями детали, а также о базировании и закреплении изделия в приспособлении. Заготовка (деталь), приспособление и режущие инструменты на эскизах вычерчиваются в произвольном масштабе, но одном для всех эскизов. На операционных эскизах обрабатываемые поверхности вычерчиваются сплошными линиями толщиной 3S. На эскизах должны быть указаны:

- размеры обрабатываемых поверхностей с численными значениями предельных отклонений;
- шероховатость обрабатываемых поверхностей;
- допуски формы и взаимного расположения поверхностей, если они обеспечиваются на данной операции; направление движения инструментов и заготовки.

3.3 Кинематическая схема мехатронного модуля (автоматизированного комплекса и т. п.) выполняется на 1 листе. Схема выполняется без соблюдения масштаба и без учета действительного пространственного расположения составных частей изделия. Элементы схемы изображают условными графическими знаками. Графические обозначения элементов и соединяющие их

линии связи следует располагать на схеме таким образом, чтобы обеспечивать наилучшее представление о структуре изделия и взаимодействии ее составных частей. Связь между элементами показывают линиями связи, которые условно представляют валы, трубопроводы, кабели и т. д. Схемы вычерчивают в виде развертки с совмещением всех осей в одной плоскости, но допускается вычерчивание схем в аксонометрических проекциях. Кинематическая схема выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.703–2011.

3.4 Сборочный чертеж привода главного движения (силового модуля) выполняется на 1 листе. Сборочный чертеж силового модуля должен соответствовать требованиям действующих стандартов ЕСКД. Студент по согласованию с руководителем выполняет чертеж одного из рассчитанных в пояснительной записке приводов. Сборочный чертеж силового модуля должен содержать:

- изображение сборочной единицы;
- необходимые размеры:

а) габаритные размеры изделия (размеры, определяющие внешние очертания изделия);

б) установочные и присоединительные размеры (размеры, определяющие величины элементов, по которым данное изделие устанавливают на месте монтажа или присоединяют к другому изделию);

в) размеры и другие параметры, выполняемые или контролируемые по данному чертежу;

г) размеры, определяющие положение составных частей изделия относительно друг друга (например, при сварке, клейке, пайке);

д) другие необходимые справочные размеры;

- номера позиций;
- технические требования;
- техническую характеристику изделия (при необходимости).

Количество изображений должно быть наименьшим, но достаточным для представления расположения и взаимной связи составных частей и обеспечивающим возможность осуществления сборки и контроля сборочной единицы.

Сборочные чертежи выполняют, как правило, с упрощениями, соответствующим и требованиям стандартов ЕСКД.

3.5 Прочностной анализ шпоночного соединения привода главного движения (силового модуля) выполняется на 1–2 листах. Для выбранного привода необходимо провести исследование соединения типа «шпонка – вал – муфта», «шпонка – вал – зубчатое колесо» и т. п. Для этого требуется построить 3D-модель данного узла в сборке и произвести его прочностной анализ в среде SolidWorks, Ansys, NX, Компас 3D и др. Результаты исследования должны быть представлены в форме, доступной для восприятия, понимания и интерпретации.

3.6 Сборочный чертеж захватного устройства выполняется на 1 листе. Чертеж должен соответствовать требованиям действующих стандартов ЕСКД. Захватное устройство изображается в сборе с указанием всех составных частей и их взаимного расположения.

Чертеж должен содержать:

- изображение сборочной единицы с необходимыми видами, разрезами и сечениями;
- габаритные размеры устройства (размеры, определяющие внешние очертания изделия);
- установочные и присоединительные размеры (размеры, необходимые для монтажа устройства на оборудование или взаимодействия с другими компонентами);
- размеры, определяющие положение составных частей устройства относительно друг друга;
- номера позиций всех составных частей;
- технические требования, включая требования к материалам, точности изготовления и сборки;
- техническую характеристику устройства (при необходимости).

Количество изображений должно быть минимальным, но достаточным для понимания конструкции устройства, его сборки и контроля. Чертеж выполняется с упрощениями, соответствующими требованиям стандартов ЕСКД.

3.7 Компоновка мехатронного модуля (роботизированного технологического комплекса, автоматизированного комплекса) выполняется на 1 листе. Компоновка представляет собой схематическое изображение модуля с указанием расположения всех основных компонентов (приводов, датчиков, контроллеров, механических узлов и т. д.). Компоновка выполняется без соблюдения масштаба, но с сохранением пропорций и взаимного расположения элементов.

На чертеже должны быть указаны:

- основные габаритные размеры модуля;
- расположение и взаимосвязь составных частей (например, приводов, механизмов, электронных блоков);
- зоны взаимодействия с другими модулями или оборудованием;
- точки крепления и установки модуля;
- условные обозначения элементов (при необходимости).

Компоновка должна обеспечивать наглядное представление о структуре модуля и его функциональных возможностях. Чертеж выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.305–2008.

3.8 Циклограмма работы мехатронного модуля выполняется на 1 листе. Циклограмма представляет собой графическое отображение последовательности и времени выполнения операций модуля в течение одного рабочего цикла.

На циклограмме должны быть указаны: – временные интервалы выполнения каждой операции;

- последовательность включения и выключения приводов, датчиков и других элементов;
- синхронизация работы различных компонентов модуля;
- точки переключения режимов работы (например, переход от движения к остановке);
- длительность пауз между операциями (при наличии).

Циклограмма выполняется в виде графика, где по оси абсцисс откладывается время, а по оси ординат – операции или состояния элементов модуля. График должен быть четким и легко читаемым, с указанием всех необходимых параметров.

Циклограмма выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.701–2008 и должна обеспечивать понимание логики работы модуля и его временных характеристик.

3.9 Схема электрическая принципиальная мехатронного модуля (роботизированного технологического комплекса, автоматизированного комплекса) выполняется на 1 листе. Схема должна отображать все электрические соединения и компоненты модуля, включая приводы, датчики, контроллеры, источники питания и другие элементы.

На схеме должны быть указаны:

- условные графические обозначения всех электрических компонентов в соответствии с ГОСТ 2.702–2011;
- электрические связи между компонентами (линии связи);
- номинальные параметры элементов (например, сопротивление, емкость, напряжение);
- обозначения входных и выходных сигналов;
- разъемы и точки подключения внешних устройств;
- поясняющие надписи и обозначения (при необходимости).

Схема выполняется без соблюдения масштаба, но с четким указанием всех соединений и компонентов. Линии связи должны быть проведены таким образом, чтобы минимизировать пересечения и обеспечить наглядность. Схема должна соответствовать требованиям ГОСТ 2.702–2011 и обеспечивать понимание принципа работы электрической части модуля.

3.10 Схема размещения электрооборудования выполняется на 1 листе. Схема отображает физическое расположение электрооборудования (контроллеров, датчиков, приводов, блоков питания и т. д.) в составе мехатронного модуля или на оборудовании.

На схеме должны быть указаны:

- расположение всех электротехнических устройств и компонентов;
- габаритные размеры и зоны размещения оборудования;
- точки крепления и монтажа электрооборудования;
- маршруты прокладки кабелей и проводов (при необходимости);
- условные обозначения оборудования в соответствии с ГОСТ 2.702–2011;
- поясняющие надписи и обозначения (например, номера позиций, названия устройств).

Схема выполняется с соблюдением пропорций и масштаба (если это необходимо для понимания размещения). Она должна обеспечивать наглядное представление о расположении электрооборудования и его взаимодействии с другими компонентами модуля. Схема выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.702–2011 и ГОСТ 2.701–2008.

4 Пояснительная записка

4.1 Требования к оформлению записки

Текстовая часть пояснительной записки предоставляется отпечатанной на принтерном устройстве ЭВМ на листах формата А4 в соответствии с ГОСТ 2.105–95.

Первым листом документа является титульный лист, вторым – лист задания на курсовое проектирование, третьим – первый лист содержания документа с основной надписью, выполненной по форме 2 ГОСТ 2.104–2006. Все последующие листы, кроме чертежей, выполняются с основной надписью 2а того же ГОСТа. В графу 2 основной надписи записывается код (обозначение) документа. Порядок кодирования чертежей и пояснительной записки приведен в ГОСТ 2.104–2006, разд. 4 «Обозначение чертежей».

Слово «Содержание» записывается в виде заголовка (симметрично тексту) с прописной буквы. Названия разделов, включенных 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 линии рамки должно быть не менее 10 мм.

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

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

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

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

Расстояние между заголовками (за исключением заголовка пункта) и текстом должно составлять 2 межстрочных интервала. Если между двумя заголовками текст отсутствует, то расстояние между ними устанавливается в 1,5–2 межстрочных интервала.

Каждую структурную часть документа следует начинать с нового листа. Листы нумеруются арабскими цифрами, которые проставляют в последней графе основной надписи без точки в конце. Каждая из формул набирается в документе на отдельной строке симметрично основному тексту. Расчеты, выполненные по приведенной формуле, записываются на следующей строке.

Промежуточные результаты не записываются.

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

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

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

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

n – частота вращения детали, мин⁻¹.

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

Иллюстрации при необходимости могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают симметрично полю иллюстрации.

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблицы.

Пример

Таблица 3.1 – Химический состав стали 45

В процентах

C	Si	Mn	P	S
0,4...0,5	0,17...0,37	0,50...0,80	0,045	0,045

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

Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела.

Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

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

Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны документа на отдельной странице.

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

строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки первой части таблицы.

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

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

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

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

4.2 Содержание пояснительной записки

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

Для тем ВКР рекомендуется следующее содержание пояснительных записок:

- введение;
- исходные данные для разработки проекта;
- технологическое проектирование;
- конструкторское проектирование;
- электропривод и автоматизация;
- 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.

5 Исходные данные для разработки проекта

5.1 Исходные данные

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

5.2 Определение типа производства

Тип производства играет ключевую роль в определении специфики технологического процесса и структуры его организации. Производство можно условно отнести к определенному типу на основе количества, сложности, качества, и массы деталей, производимых в течение года.

Предварительно тип производства может быть определен по годовому выпуску и массе деталей (таблица 1).

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

В штуках

Тип производства	Количество обрабатываемых в год деталей одного наименования		
	массой свыше 30 кг	массой от 8 до 30 кг	массой до 8 кг
Среднесерийное	Св. 100 до 300	Св. 200 до 500	Св. 500 до 5000
Крупносерийное	Св. 300 до 1000	Св. 500 до 5000	Св. 5000 до 50 000
Массовое	Св. 1000	Св. 5000	Св. 50 000

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

$$n = \frac{N \cdot a}{m},$$

где a – количество дней запаса деталей на складе;

N – количество деталей одного наименования, шт.;

m – количество рабочих дней в году.

Такт выпуска рассчитывается по формуле

$$t_{\text{с}} = \frac{60 \cdot F_{\text{Д}}}{N},$$

где $F_{\text{Д}}$ – годовой фонд времени работы оборудования, ч;

N – количество деталей одного наименования, шт.

6 Технологическое проектирование

6.1 Назначение и конструкция детали

В данном разделе приводятся краткая характеристика детали, ее 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 Ø50 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.».

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

Заканчивается раздел таблицами химического состава и механических свойств материала детали.

6.2 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 [29]:

- 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 (транспортёрах, 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 [29]:

- 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.

6.3 Выбор метода получения заготовок

При выборе метода получения заготовки решающими факторами являются форма, масса, материал, объем выпуска деталей.

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.

Стоимость заготовок из проката рассчитывается по формуле [2]

$$S_2 = M + \sum C_{o.3},$$

где M – затраты на материал заготовки, р.;

$\sum C_{o.3}$ – технологическая себестоимость правки, калибрования, резки, р.

Расчет затрат на материалы выполняется по формуле

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

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

S – цена 1 кг материала заготовки, р.;

q – масса детали, кг;

$S_{отх}$ – цена 1 кг отходов, р.

В отходы включается не только разность между массой заготовки и детали (стружка), но и остаток прутка, образующийся из-за того, что длина заготовки и длина прутка не кратны. Сталь горячекатаная круглая по ГОСТ 2590–2006 поставляется в прутках длиной 2...6 м:

$$\sum C_{o.3} = \frac{C_{n.3} \cdot t_{ум(ум-к)}}{60},$$

где $C_{n.3}$ – приведенные затраты на рабочем месте, р./ч;

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

Значения приведенных затрат $C_{n.3}$ на рабочем месте следует принимать с учетом действующих цен.

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

$$t_{ум(ум-к)} = \frac{L_{рез} + l_{сп} + l_{пер}}{S_M} \cdot \varphi,$$

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

$l_{ер}, l_{пер}$ – величина врезания и перебега, мм (при разрезании дисковой пилой $l_{ер} + l_{пер} = 6...8$ мм);

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

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

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

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

где C_i – базовая стоимость одной тонны заготовок, р.;

Q – масса заготовки, кг;

K_m – коэффициент, зависящий от класса точности;

K_c – коэффициент, зависящий от степени сложности;

K_v – коэффициент, зависящий от массы заготовки;

K_M – коэффициент, зависящий от марки материала;

K_n – коэффициент, зависящий от объема выпуска заготовок.

Значения указанных коэффициентов приводятся в [2].

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

Для штампованных заготовок по ГОСТ 7505–89 устанавливаются:

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

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

Параметры литых заготовок устанавливаются по ГОСТ 26645–85.

6.4 Разработка технологического процесса

При разработке технологического процесса необходимо использовать следующие рекомендации:

- определить технологические базы заготовки и решить, можно ли на принятых базах выполнить все операции обработки детали и обеспечить требуемую точность и шероховатость ее поверхностей;
- в качестве технологических баз следует принимать такие поверхности заготовки, которые обеспечивают их удобную установку, надежную фиксацию и закрепление в приспособления станков;

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

– определить концентрацию операций (переходов) на отдельных станках, учитывая при этом, что сложные наладки требуют дополнительных затрат времени на замену инструментов;

– разработанный технологический процесс обработки детали должен предусматривать выполнение сначала черновых, затем получистовых и в конце чистовых операций (переходов);

– определить возможности использования современных обрабатывающих центров;

– проверить, обеспечивается ли необходимая точность всех обрабатываемых поверхностей детали при ее обработке.

При выполнении этого раздела в пояснительной записке приводится маршрутный технологический процесс. Здесь же дается обоснование выбора конкретных моделей станков, станочных приспособлений, режущих и мерительных инструментов.

Принятый маршрутный процесс оформляется в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Маршрутный технологический процесс изготовления детали

Номер операции	Наименование и краткое содержание операции	Обрабатывающий модуль	Режущий инструмент	Технологическая база
005	Заготовительная	Горизонтально-ковочная машина		
010	Сверлильная Сверлить центровое отверстие 1	Мехатронный обрабатывающий модуль	Сверло центровочное твердосплавное Walter Titex K1161XPL-3.15	Торец
...	...	...	...	...

6.5 Расчет режимов резания

Расчет режимов резания в выпускной квалификационной работе выполняется для всех операций технологического процесса. Результаты расчетов помещаются в сводную таблицу режимов резания в расчетно-пояснительной записке и операционные карты.

В расчетно-пояснительной записке приводятся подробные расчеты режимов резания на четыре разные операции.

На две разнохарактерные операции расчет выполняется по эмпирическим формулам теории резания. Методика расчета и расчетные формулы приведены в [23, гл. 4].

На две другие разнохарактерные операции режимы резания выбираются по нормативам, приводимым в [6, 19, 22].

Выбор режимов резания производится в следующей последовательности: устанавливается глубина резания (с учетом данных расчета припусков), затем – число рабочих ходов, после чего устанавливается подача исходя из заданной точности шероховатости обрабатываемой поверхности. Далее рассчитываются скорость резания и мощность, необходимая для осуществления процесса резания. По мощности резания и габаритам обрабатываемой заготовки выбирается соответствующая модель станка, после чего производится корректировка режимов резания по паспортным данным станка. Принятые режимы резания проверяются по слабому звену механизма подачи станка, прочности и жесткости инструмента и заготовки.

Результаты расчета режимов резания на все операции обработки детали представляются в форме таблицы 3.

Таблица 3 – результаты расчета режимов резания

[illegible]

7 Конструкторское проектирование

7.1 Разработка обрабатывающего модуля

Основные параметры передач, предложенных при проектировании автоматизированного обрабатывающего модуля, рекомендуется рассчитывать по [30–33]. Производится кинематический расчет силовых модулей. При разработке автоматизированного обрабатывающего модуля изучают конструкцию аналогичных отечественных и зарубежных обрабатывающих модулей, стандарты, регламентирующие основные размеры узлов, их точность, а также источники литературы, в которых рассмотрены вопросы проектирования обрабатывающих модулей. При согласовании с руководителем по работе можно произвести подбор некоторых элементов обрабатывающего модуля из готовых решений. После выбора элемента обрабатывающего модуля в пояснительной записке приводится его техническая характеристика.

7.2 Прочностной анализ шпоночного соединения привода

Прочностной анализ в средах SolidWorks, Ansys, NX, Компас 3D и др. выполняется методом конечных элементов. Суть метода заключается в том, что область исследования разбивается на конечное количество элементов. В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. Значения функций на границах элементов (в узлах) являются решением задачи и заранее неизвестны. Составляется система линейных алгебраических уравнений. Количество уравнений равно количеству неизвестных значений в узлах, на которых ищется решение исходной системы, и ограничивается только возможностями ЭВМ.

Проведение прочностного анализа состоит из следующих шагов.

1 Подготовка модели. Создание сборки требуемого узла. При этом все детали должны быть правильно сопряжены и не должны иметь зазоров и пересечений.

2 Назначение материала. Требуется назначить материалы для каждой детали и убедиться в том, что их механические свойства заданы корректно.

3 Задание контактов. Требуется определить контакты между парами деталей, например зубчатое колесо-шпонка и шпонка-вал и убедиться в их корректности.

4 Приложение нагрузок и граничных условий. Требуется приложить силу или крутящий момент к требуемой детали и зафиксировать одну из поверхностей в соответствии с условиями, в которых данный узел будет работать в составе обрабатывающего модуля.

5 Создание сетки. Требуется запустить создание сетки с выбранной точностью.

6 Получение результатов. Результатом исследования является получение следующей информации:

– эквивалентное напряжение по Мезису;

- результирующие перемещения;
- коэффициент запаса по пределу прочности;
- коэффициент запаса по пределу текучести;
- информация о контактах, нагрузках и закреплениях;
- схема нагружения;
- сетка конечных элементов и ее параметры;
- создание отчета о проведенном анализе.

7.3 Выбор компоновки мехатронного модуля (роботизированного технологического комплекса, автоматизированного комплекса)

На данном этапе формируются технологические переходы обработки, выбирается режущий инструмент, приспособления и определяется компоновка автоматизированного обрабатывающего модуля. На основании изученных патентов, информации, изложенной в периодических изданиях или в других источниках технической информации, студент должен предложить компоновку обрабатывающего модуля. При разработке компоновки следует помнить, что деталь должна обрабатываться по автоматическому циклу, включая автоматический зажим и разжим заготовок. При разработке кинематической схемы устанавливаются структура изделия и кинематические связи узлов и модуля в целом. В подбор элементов обрабатывающего модуля включается выбор промышленного робота, если это предусмотрено разработанной компоновкой. Однако требуется учитывать такой параметр, как коэффициент использования робота в робототехническом комплексе (РТК). Это важный показатель, который отражает, насколько эффективно используется робот в производственном процессе. Он определяется как отношение времени полезной работы робота к общему времени его доступности. Для обеспечения экономической целесообразности и эффективности РТК этот коэффициент должен быть высоким, т. е. стремиться к показателям в 70 %...90 %. При этом минимально допустимым значением коэффициента является такое значение, которое не будет отличаться от процентной стоимости промышленного робота, от общих затрат и работы мехатронного модуля (роботизированного технологического комплекса, автоматизированного комплекса) в расчете экономических показателей.

7.3.1 Выбор промышленного робота.

В роботизированных технологических комплексах механической обработки, как правило, используются промышленные роботы (ПР) двух типов: напольные и порталные.

Напольные роботы с выдвижной рукой применяют для обслуживания станков с открытой рабочей зоной спереди: токарных, сверлильных, фрезерных, шлифовальных и т. п.

Портальные роботы применяют для обслуживания станков с открытой рабочей зоной сверху: токарных, шлифовальных и т. п.

После определения типа робота выбирают его технические характеристики.

Грузоподъемность. Номинальная грузоподъемность робота должна превышать суммарную массу заготовки и захватного устройства не менее чем на 10 %.

Достигаемость. Наибольший вылет руки робота должен обеспечивать доставку заготовки в рабочую зону станка: на линию центров или стол станка.

Наименьший вылет руки. При наименьшем вылете руки робот должен иметь возможность совершать все движения с закрепленной заготовкой.

Погрешность позиционирования. Погрешность позиционирования определяет точность установки детали в центрах, патрон, приспособление.

Роботы с небольшой высотой устанавливаются на специальные подставки или фундаменты.

При выборе модели промышленного робота предпочтительно использовать продукцию мировых и отечественных производителей (Fanuc, KUKA, ABB, Kawasaki, Motoman (Yaskawa), Panasonic, Mitsubishi, Hiwin, Omron, Universal Robots, OTC Daihen, Nachi, Comau, Staubli, Denso, Epson, Hyundai, Toshiba, Reis, Белробот, Grinik Robotics, Arkodim, Smitek и др.).

После выбора модели промышленного робота в пояснительной записке приводится его техническая характеристика.

7.3.2 Выбор захватного устройства.

Для реализации робототехнических проектов, предполагающих перемещение или фиксацию заготовок, на промышленных роботах устанавливаются захваты устройства. Они подразделяются на механические, пневматические, вакуумные, магнитные и т. д. К подобным устройствам всегда предъявляются высокие требования точности и надежности.

При выборе следует четко понимать принципы подбора. Соответствующие принципы подбора в своей основе базируются на типе оборудования, где необходимо применять захваты, и поставленной задаче. Из них можно выделить основные критерии подбора захватного механизма:

- принцип захватывания объекта (механический захват, пневматический, вакуумный, магнитный и т. д.);
- система функционирования основного оборудования и захватного устройства;
- число рабочих положений, в которых устройство может полноценно работать;
- особенности управления, отличающиеся преимущественно программными параметрами;
- способы закрепления на оборудовании и пр.

При выборе модели захватного устройства предпочтительно использовать продукцию мировых производителей (schunk.com, schmalz.com, festo.com, zimmer-group.com и др.).

7.4 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.

7.5 Построение циклограммы работы оборудования

Циклограмма функционирования обрабатывающего модуля включает в выбранной последовательности все переходы (действия), выполняемые основным и вспомогательным оборудованием, а также ПР, необходимые для обработки заготовки.

Циклограмму строят для быстрого определения рабочего цикла $T_{ц}$; определения значения цикловой производительности $Q_{ц}$; установления возможности сокращения $T_{ц}$ за счет совмещения времени выполнения отдельных переходов и сокращения длительности несовмещенных переходов и т. д.

Прежде чем приступить к построению циклограммы, необходимо определить все движения (переходы), выполняемые ПР, основным и вспомогательным оборудованием; установить последовательность выполнения всех движений; определить время выполнения каждого движения по формулам

$$t_i = \frac{\varphi_i}{\omega_i} \text{ или } t_i = \frac{l_i}{v_i},$$

где φ_i – угол поворота механизма;

l_i – линейное перемещение механизма;

ω_i, v_i – скорость углового и линейного перемещений соответственно.

Результаты расчетов времени работы робота представляются в виде таблицы 4.

Таблица 4 – Время работы робота

Элемент траектории	Линейное перемещение l , м	Скорость линейного перемещения v , м/с	Угловое перемещение φ , град/с	Скорость углового перемещения ω , град/с	Время, с
r_{01}	0,4	0,5			0,08
(1)					1,0
$z_{1.2}$	0,2	0,1			2,0
$\varphi_{2.3}$			90	90	1,0
...	...	...	...	...	...

После оформления таблицы 4 приступают к построению циклограммы работы модуля. При построении циклограммы в вертикальной колонке построчно перечисляются оборудование, входящее в его состав, и характер

совершаемых им движений (по горизонтали, в выбранном масштабе), откладывается время выполнения каждого движения.

На циклограмме следует указать длительность рабочего цикла и масштаб ее построения, например $1 \text{ с} = 10 \text{ мм}$.

7.5.1 Расчет показателей обрабатывающего модуля.

В выпускной квалификационной работе выполняется расчет следующих показателей работы обрабатывающего модуля:

- цикловая производительность $Q_{\text{ц}}$;
- коэффициент относительной загруженности ПР $K_{\text{зр}}$;
- коэффициент использования ПР $K_{\text{ир}}$;
- коэффициент использования основного оборудования $K_{\text{ис}}$;
- коэффициент нагруженности ПР $K_{\text{нр}}$;
- режим работы робота.

Часовую цикловую производительность определяют по формуле

$$Q_{\text{ц}} = \frac{3600}{T_{\text{ц}}},$$

где $T_{\text{ц}}$ – время цикла работы РТК (можно найти по циклограмме), мин.

Коэффициент относительной загруженности ПР

$$K_{\text{зр}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P},$$

где $P_{\text{ср}}$ и P – средние значения рабочей нагрузки и номинальной грузоподъемности робота соответственно, кг.

Коэффициенты использования $K_{\text{нр}}$ и $K_{\text{ис}}$ определяют по формулам

$$K_{\text{нр}} = \frac{T_{\text{нр}}}{T_{\text{ц}}},$$

$$K_{\text{ис}} = \frac{T_{\text{ца}}}{T_{\text{ц}}},$$

где $T_{\text{нр}}$ – время работы ПР за рабочий цикл $T_{\text{ц}}$, мин;

$T_{\text{ца}}$ – время цикла автоматической работы модуля по программе за рабочий цикл $T_{\text{ц}}$, мин.

Режим работы робота определяют по [8], используя коэффициенты $K_{\text{зр}}$ и $K_{\text{ир}}$.

8 Электропривод и автоматизация

В данном разделе производится подбор оборудования для автоматизации системы, составляются схема расположения электрооборудования и схема электрическая принципиальная, а также алгоритм управления системой.

Раздел выполняется по методическим указаниям кафедры «Электропривод и автоматизация промышленного оборудования».

9 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 «Техносферная безопасность».

10 Организационно-экономическое проектирование и энерго- и ресурсосбережение

Данный раздел состоит из двух подразделов:

- организационно-экономическое проектирование;
- энерго- и ресурсосбережение.

В первом подразделе рассчитывается экономическая эффективность спроектированного обрабатывающего модуля в сравнении с базовым объектом. Во втором подразделе выполняется расчет экономического эффекта от снижения расхода электро- и тепловой энергии.

Экономические расчеты выполняются по методическим указаниям кафедры «Экономика и управление».

11 Заключение

В заключении должны содержаться общие выводы по всей выпускной квалификационной работе, в которых отражаются основные отличия разработанного техпроцесса от базового, описывается кинематическая схема обрабатывающего модуля и его компоновка, излагается перечень компонентов и оборудования, таких как промышленные роботы, электродвигатели и элементы системы управления, перечисляются мероприятия, направленные на обеспечение безопасности оператора и оборудования, а также те, за счет которых получен годовой экономический эффект, представляется срок окупаемости.

12 Обозначение чертежей

В выпускной квалификационной работе принята следующая структура обозначения чертежей (таблица 5).

Таблица 5 – Схема обозначения чертежей

ВКР	000/	00.	00.	000.	Д
Выпускная квалификационная работа	Шифр (три последние цифры номера зачетной книжки)	Год защиты ВКР	Номер чертежа	Номер сборочной единицы	Номер детали

Номера чертежей (предпоследняя группа цифр) присваиваются следующим образом:

- чертеж детали – 01;
- чертеж заготовки – 06;
- чертежи маршрутных карт технологического процесса – 11;
- чертеж расчетно-технологической карты – 61;
- чертеж мехатронного модуля – 51;
- чертеж кинематической схемы мехатронного модуля – 81;
- чертеж сборочный силового модуля – 71;
- чертеж сборочный захватного устройства – 72;
- прочностной анализ – 86;
- циклограмма работы модуля – 82.

Таким образом, студент гр.МИР-211, имеющий зачетную книжку № 896175, обозначает чертежи курсового проекта:

- ВРК.175/25.01.00.000 Д1 – чертеж детали;
- ВКР.175/25.61.00.000 – чертеж расчетно-технологической карты.

В пояснительной записке на всех листах записывается обозначение детали и буквы ПЗ: ВКР.175/25.01.00.000 ПЗ.

Список литературы

- 1 **Пашкевич, М. Ф.** Технология машиностроения. Курсовое и дипломное проектирование / М. Ф. Пашкевич, А. А. Жолобов, В. И. Аверченков. – Старый Оскол : ТНТ, 2018. – 444 с.
- 2 **Пашкевич, М. Ф.** Технология машиностроения. Курсовое и дипломное проектирование / М. Ф. Пашкевич, А. А. Жолобов, В. И. Аверченков; под ред. М. Ф. Пашкевича. – Мн. : Изд-во Гревцова, 2010. – 399 с.
- 3 **Антонюк, В. Е.** Конструктору станочных приспособлений : справочное пособие / В. Е. Антонюк. – Мн. : Беларусь, 1991. – 400 с.
- 4 **Филонов, И. П.** Проектирование технологических процессов в машиностроении / И. П. Филонов, Г. Я. Беляев, Л. М. Кожуро. – Мн. : Технопринт, 2003. – 540 с.
- 5 **Пашкевич, М. Ф.** Технологическая оснастка / М. Ф. Пашкевич. – Мн. : Адукацыя і мастацтва, 2002. – 320 с.
- 6 **Белькевич, В. А.** Справочное пособие технолога машиностроительного завода / В. А. Белькевич, В. Д. Тимашков. – Мн. : Беларусь, 1972. – 640 с.
- 7 **Балабанов, А. Н.** Краткий справочник технолога-машиностроителя / А. Н. Балабанов. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 480 с.
- 8 **Горбацевич, А. Ф.** Курсовое проектирования по технологии машиностроения / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – Мн. : Выш. шк., 1983. – 256 с.
- 9 **Горохов, В. А.** Проектирование и расчет приспособлений / В. А. Горохов. – Мн. : Выш. шк., 1986. – 240 с.
- 10 **Горошкин, А. К.** Приспособление для металлорежущих станков : справочник / А. К. Горошкин. – М. : Машиностроение, 1979. – 303 с.
- 11 Дипломное проектирование по технологии машиностроения / под ред. В. В. Бабука. – Мн. : Выш. шк., 1979. – 464 с.
- 12 **Жолобов, А. А.** Технология автоматизированного производства / А. А. Жолобов. – Мн. : Дизайн ПРО, 2000. – 624 с.
- 13 **Козырев, Ю. Г.** Промышленные роботы: справочник / Ю. Г. Козырев. – М. : Машиностроение, 1988. – 376 с.
- 14 **Кузнецов, Ю. И.** Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков. – М. : Машиностроение, 1990. – 512 с.
- 15 **Мамаев, В. С.** Основа проектирования машиностроительных заводов / В. С. Мамаев, Е. Г. Осипов. – М. : Машиностроение, 1974. – 326 с.
- 16 **Мансуров, А. П.** Технология горячей штамповки / А. П. Мансуров. – М. : Машиностроение, 1971. – 316 с.
- 17 **Маталин, А. А.** Технология механической обработки / А. А. Маталин. – Ленинград : Машиностроение, 1977. – 464 с.
- 18 **Матвеев, В. В.** Проектирование экономических технологических процессов в машиностроении / В. В. Матвеев, Ф. М. Бойко, Ю. Н. Свиридов. – М. : Машиностроение, 1979. – 276 с.

19 Обработка металлов резанием : справочник технолога / под ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.

20 Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования. Серийное производство. – М. : Машиностроение, 1974. – 312 с.

21 Общемашиностроительные нормативы времени на слесарно-сборочные и слесарные работы по сборке машин. Массовое и крупносерийное производство. – М. : Машиностроение, 1973. – 404 с.

22 Режимы резания металлов : справочник / под ред. Ю. Б. Барановского. – М. : Машиностроение, 1972. – 408 с.

23 Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с.

24 Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.

25 Станочные приспособления : справочник в 2 т. / под ред. Б. А. Вардашкина, А. А. Шатилова. – М. : Машиностроение, 1984.

26 Технологичность конструкций изделий: справочник / под ред. Ю. О. Амирова. – М. : Машиностроение, 1985. – 416 с.

27 Точность и производственный контроль в машиностроении: справочник / под ред. А. К. Кутая, В. М. Сорочкина. – Л. : Машиностроение, 1983. – 368 с.

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

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

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

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

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

33 **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.

34 **Иванов, М. Н.** Детали машин : учебник для вузов / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – 16-е изд., испр. и доп. – М. : Изд-во Юрайт, 2025. – 457 с.

35 **Курмаз, Л. В.** Детали машин. Проектирование : учеб.-метод. пособие / Л. В. Курмаз, А. Т. Скойбеда. – 2-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2005. – 308 с.

36 **Лустенков, М. Е.** Практикум по основам проектирования и деталям машин: учеб. пособие / М. Е. Лустенков. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2015. – 203 с.

37 **Лустенков, М. Е.** Детали машин : учеб. пособие / М. Е. Лустенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2020. – 258 с. : ил.