

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Технология машиностроения»

В. С. Мурашко

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по курсовой работе
для студентов специальности 1-53 01 01
«Автоматизация технологических процессов
и производств (по направлениям)»
дневной формы обучения**

Гомель 2019

УДК 519.8(075.8)
ББК 22.18я73
М91

*Рекомендовано научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 9 от 07.05.2018 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Информатика» ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук, доц.
Т. А. Трохова

Мурашко, В. С.
М91 Математическое моделирование и методы исследования операций : учеб.-метод. пособие по курсовой работе для студентов специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» днев. формы обучения / В. С. Мурашко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 57 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Учебно-методическое пособие служит методической основы при создании курсовой работы по дисциплине «Математическое моделирование и методы исследования операций». Учебно-методическое пособие включает базовые сведения по содержанию работы, оформлению пояснительной записки с использованием ГОСТ, а также варианты заданий и краткие теоретические сведения.

Для студентов специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» дневной формы обучения.

УДК 519.8(075.8)
ББК 22.18я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2019

ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение новых конструкционных и инструментальных, материалов, высокопроизводительного оборудования с ЧПУ и адаптивных систем управления, предполагает применение развитых математических методов и программного обеспечения к проектированию технологических систем. Успешная реализация этих требований связана с применением знаний по оптимизации принимаемых проектных решений и управлению процессом резания в реальном масштабе времени.

Современный инженер по автоматизации должен владеть методикой и алгоритмами решения задач выбора оптимальных режимов резания. Это становится особенно актуальным при эксплуатации дорогостоящего программного управляемого оборудования. Но назначение оптимальных режимов резания осуществляется на базе знаний физики, процесса резания, математического моделирования задачи, применения вычислительных алгоритмов поиска.

Вместе с тем, успешное применение средств вычислительных машин и программного обеспечения для автоматизации управления производственными процессами и инженерной деятельности дает эффект только при комплексном изучении и математическом описании технологических процессов, подлежащих автоматизации, а следовательно и созданию математических моделей данных процессов. Возникает необходимость исследовательской работы для создания и совершенствования алгоритмов реализации этих математических моделей с помощью современной вычислительной техники.

Расчет и выбор оптимальных режимов резания представляет одну из частных задач в процессе проектирования технологии изготовления изделий в машиностроении, специальных и агрегатных станков, а также многооперационного оборудования с ЧПУ. При этом определение оптимальных режимов резания является важной частью процесса, на основе которого производится разработка всего проекта.

Исходя из этих соображений важное значение приобретает правильный выбор действительно оптимальных режимов резания, обеспечивающих наибольший экономический эффект с учетом максимально возможного числа факторов, влияющих на

производительность, технические качества и экономику производства.

Предметом исследования курсовой работы являются процессы и алгоритмы принятия оптимальных режимов обработки металлов резанием, на базе развитого математического аппарата и современных математических сред, таких как MathCAD.

Курсовая работа представляет собой комплексную учебно-исследовательскую работу студента, которая выполняется на основе теоретических и практических знаний, накопленных в процессе обучения дисциплине «Математическое моделирование и методы исследования операций». Она является многоцелевым элементом учебного процесса и позволяет привить студентам навыки и умения сбора, анализа, обобщения информации по данной предметной области, решения конкретной прикладной задачи с применением обоснованно выбранной компьютерной системы.

Данное учебно-методическое пособие содержит основные требования, предъявляемые к структуре, содержанию, оформлению курсовой работы в соответствии с ГОСТ, предлагает рекомендации по разработке практической части работы, составлению доклада для защиты работы. В пособии приведены правила оформления таких элементов пояснительной записки, как текст, таблица, рисунок, формула, список литературы и т. д.

1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

1.1 Задачи курсовой работы

Курсовая работа по дисциплине «Математическое моделирование и методы исследования операций» призвана реализовать следующие задачи:

- углубление и расширение теоретических знаний в данной предметной области;
- приобретение навыков самостоятельного решения прикладной инженерной задачи с использованием компьютерных систем;
- умение формулировать выводы по проделанным исследованиям;
- получение навыков сбора, анализа, обобщения информации по данной предметной области, работы с источниками литературы;
- умение подготовить и сделать доклад по проделанной работе, ответить на вопросы комиссии;
- оформить научный документ (расчетно-пояснительную записку) в соответствии с требованиями ГОСТ.

1.2 Общие положения

Общие требования и положения к курсовой работе, перечислены ниже.

1. Задания по курсовым работам должны включать задачи прикладного характера с ориентацией на соответствующую специальность.
2. Руководитель работы должен:
 - своевременно выдать задание студенту;
 - разработать примерный календарный план выполнения работы;
 - проводить регулярные консультации, контролируя ход выполнения работы.
3. Постановка задачи должна содержать готовую математическую модель технического объекта (процесса), а также рекомендуемую последовательность выполнения практической части работы.
4. Объем пояснительной записки без приложений, как правило, должен содержать не менее 20 машинописных или 25 рукописных страниц формата А4.

5. Пояснительная записка составляется с учетом требований ГОСТ 2.105.95 «Общие требования к текстовым документам» на создание научно-технической и текстовой документации в части оформления заголовков разделов, рисунков, таблиц, списка литературы и т.д.
6. Студенту дается примерный перечень разделов пояснительной записки и краткая характеристика информации, которая должна содержаться в каждом разделе. Изложение должно быть последовательным, логичным, конкретным.
7. При защите курсовой работы студенту задаются вопросы по информационной и алгоритмической структуре задачи, типовым методам и приемам, применяемым при ее решении, программному обеспечению, с помощью которого решается задача.

1.3 Требования к структуре пояснительной записки к курсовой работе

Пояснительная записка должна иметь следующую структуру:

- титульный лист;
- задание на курсовую работу;
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения (при необходимости).

Стандартный вид титульного листа для расчетно-пояснительной записки к курсовой работе приведен в приложении А. В приложении Б представлен пример заполненного листа задания для курсовой работы.

Содержание включает наименование всех разделов и подразделов с указанием номеров начальных страниц, на которых размещаются эти наименования. Пример содержания для курсовой работы приведен в приложении В.

Во введении:

- обосновывается актуальность темы, указываются цель и задачи работы;

- дается краткий перечень соответствующих информационных технологий и программных средств, позволяющих автоматизировать решение подобных инженерных задач.

Основная часть, как правило, включает три раздела.

В первом разделе содержится обзор литературы по математическому, программному обеспечению, касающемуся непосредственно решаемой задачи. При этом, в тексте пояснительной записки делаются ссылки на литературу.

Второй раздел посвящен алгоритмическому анализу задачи. Он содержит полную постановку задачи, перечень исходных данных и предполагаемых результатов, описание математической модели, если она задается, обобщенную графическую схему алгоритма решения задачи и ее подробные пояснения по ней.

Третий раздел содержит описание программы или документа, реализующего разработанный алгоритм в выбранной программной системе. Если задание включает элементы исследования по готовой математической модели, то в разделе даются выводы по проведенным исследованиям.

Заключение содержит основные выводы по работе в целом, отмечаются достоинства работы, указывается ее возможная практическая значимость.

Список использованных источников составляется в порядке ссылки на источники в тексте пояснительной записки и оформляется согласно требованиям ГОСТ. Пример списка литературы приведен в приложении Г.

Приложение содержит листинги программы, распечатки документов прикладных систем, реализующих алгоритм решения задач.

Объем пояснительной записки распределяется согласно структуре следующим образом:

- введение – 1-1,5 с.;
- каждый раздел основной части – 7-10 с.;
- заключение – 1 с.
- список использованных источников должен содержать 4-6 источников

1.4 Общие требования к содержанию пояснительной записки к курсовой работе

Материал пояснительной записки должен быть изложен в соответствии с требованиями, предъявляемыми к научной работе, а именно:

- строгая последовательность изложения;
- применение языка и стиля научной работы;
- корректное и уместное цитирование используемых источников литературы и т.д.

Весь материал пояснительной записки должен быть хорошо структурирован, заголовки разделов и подразделов должны соответствовать изложенному в них тексту.

Нельзя сводить обзор теоретических сведений к переписыванию целых страниц из 2-3 источников литературы, вся информация из книг должна подвергаться творческой переработке. При проведении теоретического анализа, нужно указывать, как соотносятся те или иные определения, выкладки, формулы с задачей, решаемой в данной курсовой работе. Во втором и третьем разделах работы нужно делать ссылки на первый раздел, описывающий теоретические основы, на которых базируется практическая часть работы.

Структуризация материала должна быть выполнена корректно. Разделы следует при необходимости разбивать на подразделы так, чтобы их не было слишком много, среднее количество подразделов внутри одного раздела 3-5. Нельзя создавать внутри раздела только один подраздел.

Примерное содержание пояснительной записки к курсовой работе на тему «Оптимизация процесса механической обработки машиностроительных изделий в системе MathCAD» по курсу «Математическое моделирование и методы исследования операций» приведено в приложении В.

2 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

2.1 Требования к оформлению текстового документа

2.1.1 Общие требования

Текстовый материал пояснительной записки к курсовой работе должен быть оформлен в соответствии с действующим стандартом на оформление текстовых документов ГОСТ 2.105-95. Пояснительная записка должна быть написана вручную, либо с помощью компьютерных средств.

При оформлении пояснительной записки с применением текстовых редакторов, печатающих и графических устройств вывода ПЭВМ рекомендуется использовать шрифт *Times New Roman Cyr* размером 12 или 13 пт, отступ для первой строки 15 - 17 мм, интервал между строками полуторный.

Для акцентирования внимания на определенных терминах, формулах разрешается использование компьютерных шрифтов разной гарнитуры в соответствии с ГОСТ 7.32 – 2001.

Опечатки, опiski и графические неточности, обнаруженные в процессе написания работы, допускается исправлять закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного текста.

2.1.2 Нумерация страниц и разделов

Нумерация страниц, разделов, подразделов, пунктов, рисунков, таблиц, формул дается арабскими цифрами без знака «№».

Первой страницей работы является титульный лист, который включают в общую нумерацию страниц курсовой работы. Второй – лист задания. На титульном листе и листе задания номер страницы не ставят, на последующих листах номер проставляют в нижнем углу без точки в конце. Лист с рецензией не включается в общую нумерацию.

Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах основной части работы и обозначаться арабскими цифрами, например: 1, 2, 3 и т.д. После номера и в конце названия раздела (подраздела) точка не ставится.

Заголовки разделов, подразделов и пунктов следует печатать с абзацного отступа с прописной буквы, не подчеркивая. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Каждый раздел рекомендуется начинать с нового листа. Содержание,

введение, заключение и список использованных источников не нумеруют.

Подразделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах соответствующего раздела. При этом номер подраздела включает номера раздела и подраздела, разделенные точкой, например: 1.2 (второй подраздел первого раздела).

Пункты нумеруются аналогично в пределах соответствующего подраздела, например: 3.1.1 (первый пункт первого подраздела третьего раздела). Если подраздел имеет только один пункт, то нумеровать пункт не следует.

Расстояние между заголовком раздела и текстом при использовании компьютерных средств должно составлять 3, 4 интервала. Расстояние между заголовком раздела и подраздела должно составлять 2 интервала при использовании компьютера.

В тексте раздела (подраздела) могут использоваться перечисления, перед которыми ставится дефис или строчная буква (за исключением ё, з, о, г, ь, й, ы, ь), после которой ставится скобка. Для дальнейшей детализации перечислений используют арабские цифры, после которой также ставится скобка, а запись начинается с абзацного отступа. Например:

Пример

- а) _____
- б) _____
 - 1) _____
 - 2) _____
- в) _____

2.1.3 Изложение текста

Текст пояснительной записки должен быть кратким и четким, не допускающим различных толкований.

Любой завершённый текст должен иметь главную мысль. Поэтому при написании работы связи и отношения отдельных мыслей должны быть четко упорядочены, для того чтобы основная мысль не затерялась среди второстепенных.

При изложении обязательных требований необходимо применять слова «должен», «следует», «необходимо», «запрещается» и т. д., в остальных случаях следует применять слова «как правило», «при необходимости», «в случае».

Изложение текста обычно должно вестись от третьего лица, сравнительно редко употребляется форма первого и совершенно не употребляется форма второго лица местоимений единственного числа.

В тексте пояснительной записки не допускается использование оборотов разговорной речи, применение произвольных словообразований, применение сокращений слов, кроме установленных правилами русской орфографии и соответствующими государственными стандартами.

Если в тексте используются научно-технические термины, обозначения и определения, то их применение должно соответствовать стандартам, общепринятым в научно-технической литературе. При использовании специфической терминологии необходимо привести расшифровку термина (сокращения) непосредственно в тексте при первом упоминании, поместив его в круглые скобки.

2.1.4 Оформление формул

При использовании в тексте пояснительной записки формул их следует выделять в отдельные строки. Причем выше и ниже формулы должно быть оставлено не менее одной строки. В случаях, когда формула не помещается в одну строку, ее следует переносить на новую после знака равенства (=) или после знаков плюс (+), минус (-), умножения (x), деления (:), при этом знак в начале следующей строки повторяют.

Пояснение символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, необходимо приводить непосредственно под формулой, если они до этого не пояснялись. Пояснения символов даются с новой строки в той последовательности, в какой они даны в формуле. Первую строку пояснения начинают со слова «где» без двоеточия.

Формулы, за исключением формул, размещенных в приложении, должны иметь сквозную нумерацию. Нумеруются формулы арабскими цифрами, заключенными в круглые скобки, и помещаются в крайне правое положение на строке (на уровне формулы).

Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и номера формулы в этом разделе, разделенные точкой, например (2.3) (третья формула второго раздела).

В приложениях формулы нумеруются отдельно с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например (A.1) (первая

формула приложения А).

Формула включается в предложение как один из его членов, поэтому в конце формулы и в тексте перед ней знаки пунктуации ставят в соответствии с правилами пунктуации.

2.2 Оформление графического материала

Иллюстрации (рисунки, чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки и т.д.) следует располагать в пояснительной записке непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице. Рисунки должны быть расположены так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота работы или с поворотом по часовой стрелке.

Иллюстрации, за исключением иллюстраций, приведенных в приложении, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией в пределах всего текста. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1». Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например – Рисунок А.3.

Допускается нумеровать рисунки в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой, например – Рисунок 1.3 (третий рисунок первого раздела).

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... как это видно на рисунке 1.2» при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации могут иметь наименование и поясняющие данные (подрисовочный текст). Слово «Рисунок» и название помещают после пояснительных данных и располагают, как показано в следующем примере:

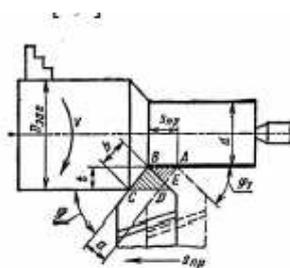
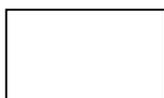


Рисунок 2.1 – Параметры режима резания

Иллюстрации в виде схем алгоритмов должны соответствовать действующим стандартам на оформление схем алгоритмов, программ, данных и систем ГОСТ 19.701-90. Ниже приводятся некоторые символы, определенные в стандарте и рекомендуемые к использованию в графических схемах алгоритмов.

1. Процесс

Символ отображает функцию обработки данных любого вида.



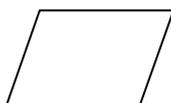
2. Предопределенный процесс

Символ отображает предопределенный процесс, состоящий из одной или нескольких операций или шагов программы, которые определены в другом месте (в подпрограмме, модуле).



3. Данные

Символ отображает данные, носитель данных не определен.



4. Решение

Символ отображает решение или функцию переключательного типа, имеющую один вход и ряд альтернативных выходов, один из которых может быть активизирован после вычисления условий, определенных внутри этого символа.



5. Линия

Символ отображает поток данных или управления



6. Соединитель

Символ отображает выход в часть схемы и вход из другой части этой схемы и используется для обрыва линии и продолжения ее

в другом месте. Соответствующие символы соединители должны содержать одно и то же уникальное обозначение.

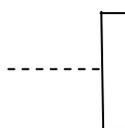


7. Терминатор

Символ отображает начало или конец схемы программы, внешнее использование и источник или пункт назначения данных.



8. Комментарий



2.3 Оформление таблиц

Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название таблицы необходимо помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире.

Таблицу следует располагать в отчете непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

На все таблицы должны быть ссылки в отчете. При ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в документе одна таблица, то она должна быть обозначена «Таблица 1»

Обычно таблица состоит из следующих элементов: порядкового номера и тематического заголовка; боковика; заголовков

вертикальных граф; горизонтальных и вертикальных граф (прографки), как показано на рисунке 2.

Таблица _____

		номер		название таблицы	

} Заголовки граф
 } Подзаголовки граф
 } Строки
 } (горизонтальные ряды)

Боковик (графа для заголовков) Графы (колонки)

Рисунок 2.2 – Пример оформления таблицы

Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы в единственном числе, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят.

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

Допускается применять размер шрифта в таблице меньший, чем в тексте.

Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другой лист (страницу). При переносе части таблицы на другой лист слово «Таблица» и номер ее указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы, например: «Продолжение таблицы 1».

Таблицу с большим количеством граф допускается делить на части и помещать одну часть под другой в пределах одной страницы.

Если повторяющийся в разных строках графы таблицы текст состоит из одного слова, то его после первого написания допускается заменять кавычками; если из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами «То же», а далее - кавычками. Ставить кавычки вместо повторяющихся цифр, марок, знаков, математических и химических символов не допускается. Если цифровые или иные данные в какой-либо строке таблицы не

приводят, то в ней ставят прочерк.

Более подробно требования к оформлению таблиц изложены в ГОСТ 2.105-95.

2.4 Оформление приложений

Приложения оформляют как продолжение курсовой работы на последующих ее страницах или в виде отдельной части. В приложения обычно выносятся экспериментальные данные, подтверждающие работоспособность и эффективность разработанных алгоритмов, тексты программ, расчеты, таблицы большого формата, документы прикладных компьютерных систем и т.д.

В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения. Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O. Если в документе одно приложение, оно обозначается Приложение А.

Текст каждого приложения, при необходимости, может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения. Например, Приложение В.2.1

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Иллюстрации и таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например – Рисунок А.3, Таблица Б.1.2.

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Все приложения должны быть перечислены в содержании с указанием их номеров и заголовков.

2.5 Оформление списка использованных источников и ссылок на литературу

При написании пояснительной записки необходимо давать ссылки на источники, используемые при ее выполнении. Сведения об источниках приводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003.

Источники, которые не использовались и на которые ссылок нет, в список не включать. Сведения об источниках в списке можно располагать в порядке появления ссылок на источники в тексте пояснительной записки или в алфавитном порядке фамилий первых авторов и (или) заглавий. Предпочтительнее использовать первый из перечисленных способ формирования списка.

Сведения об источниках, которые были использованы при выполнении курсовой работы приводятся в конце пояснительной записки перед приложениями. Заголовок списка записывается так: «Список использованных источников». Нумеровать список нужно арабскими цифрами с точкой и печатать с абзацного отступа.

Примеры библиографического описания различных источников, являющихся самостоятельными изданиями и составными частями изданий, приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Примеры описания источников

Характеристик а источника	Пример оформления
1	2
Один, два или три автора	<ol style="list-style-type: none">1. Черных, И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / Под общ. ред. В.Г.Потемкина. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2003. – 496 с.2. Антоневиц, А.Б. Функциональный анализ и интегральные уравнения : учебник / А.Б. Антоневиц, Я.В. Радыно. – 2-е изд., перераб. и доп. – Мн. : БГУ, 2006. – 430 с.3. Дайнеко, А.Е. Экономика Беларуси в системе Всемирной торговой организации / А.Е. Дайнеко, Г.В. Забавский, М.В. Василевская : под ред. А.Е. Дайнеко. – Мн. : Ин-т аграр. экономики, 2004. – 323 с.

Продолжение таблицы 2.1

1	2
Четыре и более авторов	<p>4. Информатика. Базовый курс. 2-е изд. / Под ред. С.В. Симоновича. – СПб. : Питер, 2005. – 640 с.</p> <p>5. Информатика : учебник / Б.В. Соболев [и др.]. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 446 с.</p>
Коллектив авторов	<p>6. Конструирование программ и языки программирования : курс лекций / С.Я. Гончарова-Грабовская [и др.] ; под ред. С.Я. Гончаровой-Грабовской. – Минск : БГУ, 2007. – 275 с.</p>
Составители	<p>7. Основы алгоритмизации и программирования в среде VISUAL C++: учеб.-метод. пособие/ сост. В.К. Абрамович [и др.] ; под общ. ред. Р.П. Пешкова. – Минск : БГУ, 2006. – 45 с.</p>
Сборник статей и трудов	<p>8. Современные компьютерные технологии : сб. науч. ст. в 2 ч. Ч. 1 / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол. : Е.А. Ровба [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2008. – 284 с.</p>
Материалы конференций	<p>9. Информатизация производственных процессов: методологические аспекты: материалы междунар. науч. конф., посвящ. 85-летию Белорус. гос. ун-та. Минск, 25-28 окт. 2006 г. / ред-кол. : И.А. Новик (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2006. – 499 с.</p>
Законы и законодательные материалы	<p>10. Республика Беларусь. Указы. О государственной поддержке разработки и экспорта информационных технологий. № 234 [Текст] : [подписан Президентом Респ. Беларусь 3 мая 2001 г.]. рег. № 1/2614 от 07.05.2001 : текст по состоянию на 7 июня 2011 г.</p>
Ресурсы удаленного доступа	<p>11. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2015. – Режим доступа: http://www.pravo.by. – Дата доступа: 25.01.2015.</p>
Статья из журнала	<p>12. Козловская, Г.Н. Проблемы разработки графических интерфейсов / Г.Н. Козловская, // Программист. – 2010. – № 4. – С. 49–51.</p>

Продолжение таблицы 2.1

1	2
Электронные ресурсы	13. Архитектура программного обеспечения [Электронный ресурс].: Свободная энциклопедия. – Электронные данные. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/ – Дата доступа: 5.06.2015.
Технические нормативные правовые акты	14. Информационные технологии. Синтаксис обмена персональной информацией : СТБ 34.101.18-2009. – Введ. 01.09.2009. – Минск: БелГИСС: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2009. – 28 с.
Учебно-методические материалы	15. Трохова, Т.А. Математическое моделирование и автоматизированное проектирование технических систем : пособие для студентов специальности 1-40 01 02 «Информационные системы и технологии (по направлениям)» / Т.А. Трохова – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2011. – 45 с.
Статья из тезисов докладов и материалов конференций	16. Семенов, Е.С. Проектирование надежного программного обеспечения / Е.С. Семенов // Новые информационные технологии: материалы V междунар. науч. конф., Минск, 29–31 окт. 2012 г.: в 2 т. / Белорус. гос. эконом. ун-т ; под ред. А.Н. Морозевича [и др.]. – Минск : БГЭУ, 2012. – Т. 1. – С. 257–262.

Ссылки в тексте на источники осуществляются путем приведения номера по списку источников, который заключается в квадратные скобки, например, «...согласно [1], данная математическая модель считается линейной».

Не допускается включать в список источники, на которые нет ссылок в тексте пояснительной записки. Сведения, полученные из учебных, учебно-методических материалов и пособий (в том числе и электронных) также должны быть приведены в списке использованных источников.

В ссылку можно включать номер страницы, рисунка, таблицы источника, если количество страниц в источнике велико. Например, источник содержит 933 страницы, тогда в ссылке на него можно указать [1, с.386] или [1, с. 386, рисунок 3.6].

3 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ И ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

3.1 Задание по курсовой работе

В данной курсовой работе студентам предлагается построить математическую модель процесса резания металлов и определить оптимальные режимы резания: подачу и частоту вращения шпинделя (s , n) с помощью линейного программирования (симплекс-методом и графическим способом) и с помощью дискретного программирования согласно варианту задания или на операцию точения или на операцию сверления.

3.1.1 Варианты заданий на токарную обработку

Для заданного варианта построить математическую модель процесса резания металлов и определить оптимальные режимы резания подачу и частоту вращения шпинделя (s , n) одного из переходов токарной обработки детали: обточить диаметр D на длине L с помощью линейного программирования (симплекс-методом и графическим способом). Реализовать в MathCAD алгоритм оптимизации режимов механической обработки для дискретных значений параметров скорости и подачи (v и s).

В таблице 3.1 представлены варианты заданий на токарную обработку, эскиз 1 – рисунок 3.1а), эскиз 2 – рисунок 3.1 б).

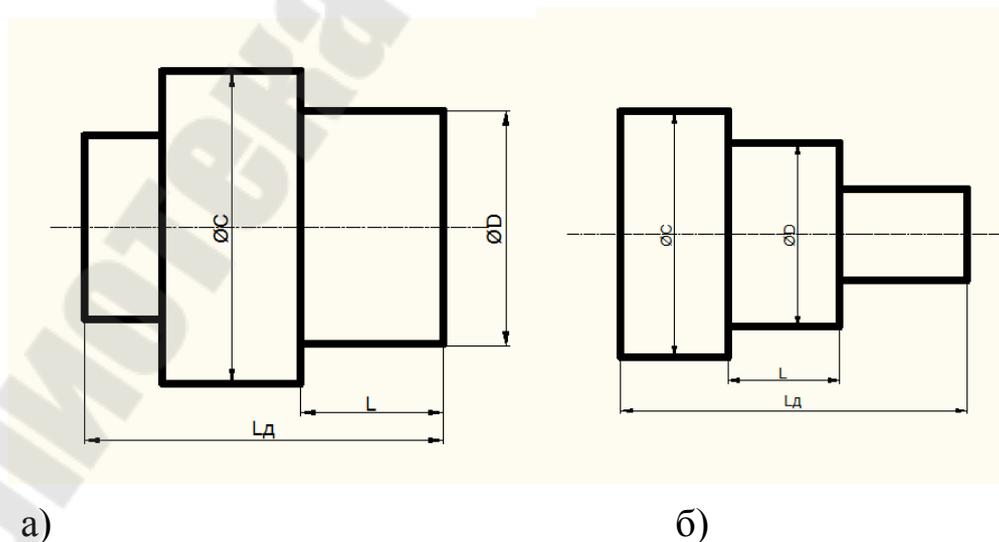


Рисунок 3.1 – Ступенчатый вал: а) с утолщением посередине; б) с односторонним утолщением

Таблица 3.1 – Варианты заданий на токарную обработку

Вариант	Длина детали Lд	C	D	L	Эскиз	Материал заготовки	Вид заготовки	Ra	Квалитет	Модель станка	Способ установки детали	Материал режущей части
1	300	34	30	100	1	Сталь 45	Прокат	12,5	12	1K62	в центрах	T15K6
2	200	48	42	50	2	Чугун СЧ 20	поковка	20	13	1M61.	в патроне	BK6
3	250	63	56	80	1	Сталь 40X	Прокат	25	14	1E61M	в патроне и з.б.	T15K6
4	350	69	64	170	2	Чугун КЧ35-10	поковка	12,5	12	16K20	в центрах	BK8
5	150	98	92	50	1	Сталь	Прокат	15	13	1A62	в патроне	T15K6
6	350	96	90	120	2	Чугун СЧ 20	поковка	25	14	1A64	в патроне и з.б.	BK6
7	180	38	32	60	1	Сталь 30ХГСА	поковка	12,5	12	1M61.	в центрах	T15K6
8	240	55	50	90	2	Чугун КЧ35-10	поковка	15	13	1K62	в патроне	BK8
9	330	50	42	200	1	Сталь 20	Прокат	25	14	16K20П	в патроне и з.б.	T15K6
10	210	64	60	110	2	Чугун СЧ 20	поковка	12,5	12	1E61M	в центрах	BK6

3.1.2 Варианты заданий на обработку отверстия

Для заданного варианта построить математическую модель процесса резания металлов и определить оптимальные режимы резания подачу и частоту вращения шпинделя (s , n) для сверления в заготовке типа плита отверстия диаметром d и глубиной t по данным, приведенным в таблице 3.2, с помощью линейного программирования (симплекс-методом и графическим способом). Реализовать в MathCAD алгоритм оптимизации режимов механической обработки с помощью дискретного программирования.

Таблица 3.2 – Варианты заданий на обработку отверстия

Вариант	Размер плиты	D	t	Материал заготовки	Ra	Квалитет	Модель станка
11	300x100x20	6	16	Сталь 20	6,3	12	2Н118
12	200x50x20	8	20	Чугун СЧ 20	12	13	2Н125
13	250x150x30	16	24	Сталь 30ХГСА	12,5	14	2Н150
14	350x180x40	24	32	Чугун КЧ35-10	5	10	2К52
15	150x90x40	26	40	Сталь 45	1	9	2Л53У

16	350x100x50	10	50	Чугун СЧ 20	8	12	2М55
17	180x60x40	28	60	Сталь 40Х	10	13	2М57
18	240x120x36	18	36	Чугун КЧ35-10	12,5	14	2Н118
19	330x160x40	14	48	Сталь 45	2	10	2Н125
20	210x80x50	30	50	Чугун СЧ 20	1	9	2Н150

3.2 Уравнения технических ограничений, характеризующие кинематику и динамику процесса резания металлов

Определение оптимального режима обработки заготовки на металлорежущих станках состоит в том, чтобы на основе знания свойств заготовки, режущего инструмента, физических законов их взаимодействия в процессе обработки, кинематических и динамических возможностей станка, на котором будет производиться обработка, и свойств системы станок – приспособление – инструмент – деталь, назначить такие скорость резания и подачу, которые обеспечивают формообразование детали в соответствии с техническими условиями на ее приемку при наименьших затратах общественного труда. При этом глубина резания принимается заданной, определенной на предыдущих этапах проектирования технологического процесса, т. е. каждый процесс нормируется отдельно. Это условие соответствует наиболее прогрессивному методу обработки в один проход в каждой операции.

Технологический процесс механической обработки деталей резанием характеризуется величинами, которыми условимся в работе называть

- параметрами (величины, определяющие, значения элементов процесса);
- показателями (различные константы, коэффициенты и т. п., определяющие количественные характеристики процесса и зависящие от принятых величин параметров).

К параметрам относятся следующие величины:

- параметры станка;
- параметры инструмента;
- параметры приспособления.

Различают следующие показатели технологической операции:

- *технические*, характеризующие состояние станка, инструмента и заготовки в процессе ее обработки; к ним относятся прочность инструмента, приспособлений, отдельных звеньев станка, величины упругих деформаций инструмента, детали, станка и др.;
- *технологические*, характеризующие деталь после обработки; к ним относятся шероховатость поверхности, точность размеров и геометрической формы детали и др.;
- *организационно-производственные*, обусловленные заданной производительностью станка, тактом поточной линии и др.;
- *экономические*, определяющие себестоимость обработки.

Функциональные связи между параметрами и показателями технологической операции являются техническими ограничениями режима резания и в совокупности составляют математическую модель оптимального режима обработки.

При расчете режимов резания наиболее важными ограничениями являются следующие:

- режущие возможности инструмента;
- мощность электропривода главного движения станка;
- заданная производительность станка на проектируемой операции;
- наименьшая подача, допускаемая кинематикой станка;
- наименьшая скорость резания, допускаемая кинематикой станка (наименьшая частота вращения шпинделя);
- наибольшая технологически допустимая скорость резания;
- наибольшая скорость резания, допускаемая кинематикой станка (наибольшая частота вращения шпинделя);
- прочность режущего инструмента;
- жесткость режущего инструмента;
- точность обработки;
- прочность механизма подачи станка;
- наибольшая подача, допускаемая кинематикой станка;
- наибольшая подача, допускаемая требованиями, предъявляемыми к шероховатости обработанной поверхности.

Кроме перечисленных, на выбор режимов резания влияют и другие ограничения: жесткость узлов станка, приспособления, вибрации при резании, нагрев детали и инструмента, усилие закрепления детали и ряд других.

3.2.1 Режущие возможности инструмента

Это ограничение устанавливает взаимосвязь между скоростью резания, обусловленной принятой стойкостью инструмента, материалом режущей части инструмента, его геометрией, глубиной резания, подачей, механическими свойствами обрабатываемого материала, с одной стороны, и скоростью резания, с другой стороны:

$$ns^{y_v} \leq \frac{318C_v K_v d^{z_v - 1}}{T_H^m t_{усл}^{x_v} z^{u_v} B^{r_v}}, \quad (3.2.1)$$

где C_v – постоянный коэффициент, характеризующий нормативные условия обработки;

d – диаметр обрабатываемой детали или инструмента в мм;

K_v – общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий измененные условия обработки по сравнению с нормативными;

T_H – принятая стойкость инструмента в мин;

m – показатель относительной стойкости;

$t_{усл}$ – глубина резания в мм;

s – подача в мм/об (мм/зуб, мм/дв. ход, мм/мин);

z – число зубьев режущего инструмента;

B – ширина фрезерования или шлифования в мм;

x_v, y_v, z_v, u_v, r_v – показатели степеней соответственно при $t_{усл}, s, d, z, B$.

Специфика отдельных видов обработки учитывается изменением значения $t_{усл}$, показателей степеней у переменных и значений коэффициентов C_v и K_v (см табл.3.4). В таблице 3.3 приведены значения $t_{усл}$ (в таблице i – число проходов; m – модуль) и показателей степеней x_v, y_v, z_v, u_v, r_v .

Таблица 3.3 – Значения $t_{усл}$ и показателей степеней x_v, y_v, z_v, u_v, r_v

Вид обработки	$t_{усл}$	x_v	y_v	z_v	u_v	r_v
Продольное наружное точение, расточка и подрезка торца	t	x_v	y_v	0	0	0
Отрезка, прорезка и фасонное точение	l	0	y_v	0	0	0

Нарезание резьбы резцами	i	x_v	y_v	0	0	0
Сверление	l	0	y_v	z_v	0	0
Рассверливание, зенкерование и развертывание	t	x_v	y_v	z_v	0	0
Нарезание резьбы метчиками, плашками и самооткрывающимися головками	l	0	y_v	z_v	0	0
Фрезерование торцевыми и цилиндрическими фрезами	t	x_v	y_v	z_v	u_v	0
Зубофрезерование и шлицефрезерование	m	x_v	y_v	z_v	0	0
Шлифование периферией круга	t	x_v	y_v	z_v	0	0
Шлифование торцом круга	t	x_v	0	0	0	r_v
Бесцентровое шлифование	t	x_v	y_v	z_v	0	0
Строгание	t	x_v	y_v	0	0	0
Долбление	t	x_v	y_v	0	0	0

Таблица 3.4 – Состав общего поправочного коэффициента, учитывающего влияние различных факторов на скорость резания

Фактор, влияние которого учитывается коэффициентом	Обозначение коэффициента	Вид обработки					
		Точение	Сверление	Рассверливание, зенкерование, развертывание	Нарезание резьбы	Фрезерование	Шлифование
Механические свойства обрабатываемого материала	K_1	+	+	+	+	+	+
Состояние материала заготовки	K_2	+	+	+	+	+	+
Состояние обрабатываемой поверхности	K_3	+	-	+	-	+	+
Вид обработки	K_4	+	-	-	+	+	+
Материал режущей части инструмента	K_5	+	+	+	+	+	+
Главный угол в плане	K_6	+	-	-	-	+	-

Вспомогательный угол в плане	K ₇	+	-	-	-	-	-
Форма заточки сверла или форма передней грани резца	K ₈	+	+	-	-	-	-
Радиус при вершине резца или зубы фрезы	K ₉	+	-	-	-	+	-
Поперечное сечение державки резца	K ₁₀	+	-	-	-	-	-
Длина обработки	K ₁₁	-	+	-	-	-	-
Состояние оборудования	K ₁₂	+	+	+	+	+	+
Наличие охлаждения	K ₁₃	+	+	+	+	+	+

3.2.2 Мощность электропривода главного движения станка

Это ограничение устанавливает взаимосвязь между эффективной мощностью, затрачиваемой на процесс резания, и мощностью электропривода главного движения станка:

$$n^{n_z} s^{y_z} \leq \frac{N_n \eta K_{C_z}}{C_z t_{усл}^{x_z} d^{z_z} \pi^{n_z} z^{u_z} B^{r_z} B_k^{q_z} K_z}, \quad (3.2.2)$$

где C_z – постоянный коэффициент, характеризующий условия обработки;

B_k – ширина шлифовального круга в мм;

K_z – общий поправочный коэффициент на мощность, учитывающий измененные условия обработки против нормативных;

K_{C_z} – коэффициент для приведения формулы к общему виду;

$x_z, y_z, z_z, n_z, u_z, r_z, q_z$ – показатели степеней, соответственно, при $t_{усл}, s, d, n, z, B, B_k$;

N_n – мощность электродвигателя главного привода станка в кВт;

η – коэффициент полезного действия механизма передачи от электродвигателя к инструменту.

Для определения эффективной мощности в таблице 3.5 приведены значения $t_{усл}$ и показателей степеней

$x_z, y_z, z_z, n_z, u_z, r_z, q_z$.

Таблица 3.5 – Значение t_{ycl} и показателей степеней

$x_z, y_z, z_z, n_z, u_z, r_z, q_z$

Вид обработки	t_{ycl}	x_z	y_z	z_z	n_z	u_z	r_z	q_z	K_{Cz}
Точение	t	x_z	y_z	z_z+1	$\frac{n_z+1}{1}$	0	0	0	$6120(10^3)^{n_z+1}$
Сверление	1	0	y_z	z_z	1	0	0	0	3060
Рассверливание, зенкерование, развертывание	t	x_z	y_z	z_z	1	0	0	0	3060
Нарезание резьбы	i	x_z	y_z	1	1	0	0	0	10^6
Фрезерование	t	x_z	y_z	z_z	n_z	u_z	r_z	0	$\pi \cdot 10^5$
Зубофрезерование	m	x_z	y_z	z_z+1	1	0	0	0	10^6
Шлицефрезерование	1	0	y_z	z_z+1	1	0	0	0	10^8
Зубодолбление	m	x_z	y_z	1	1	u_z	0	0	10^7
Шлифование	t	x_z	y_z	z_z	1	0	0	q_z	10^3

3.2.3 Заданная производительность станка на проектируемой операции

Это ограничение учитывает взаимосвязь расчетных скорости резания и подачи с заданной производительностью станка:

$$ns \geq \frac{l_{p.x} \cdot R}{K_{\Phi} (60K_3 r_R - T_{в.н.} R)}, \quad (3.2.3)$$

где K_3 – коэффициент загрузки станка;

r_R – число деталей, обрабатываемых одновременно на одной позиции;

R – заданная производительность станка в шт/ч;

$T_{в.н.}$ – сумма всех вспомогательных неперекрываемых времен при работе в мин;

$l_{р.х.}$ – длина рабочего хода инструмента в мм;

K_{ϕ} – поправочный коэффициент, равный числу зубьев фрезы при фрезеровании, а для других видов обработки равен 1.

Среднее значение нормативного коэффициента загрузки оборудования по отделению или участку цеха при двухсменной работе следует принимать: для мелкосерийного производства 0,8...0,9; для серийного – 0,75...0,85; массового и крупносерийного – 0,65...0,75. Если на данном этапе тип производства еще неизвестен, то можно принять усредненные значения нормативного коэффициента загрузки оборудования порядка 0,75...0,8.

Сумма всех вспомогательных неперекрываемых времен при работе, состоит из затрат на отдельные приемы:

$$T_{в.н.} = T_{ус} + T_{зо} + T_{уп} + T_{из},$$

где $T_{ус}$ – время на установку и снятие детали, мин;

$T_{зо}$ – время на закрепление и открепление детали, мин;

$T_{уп}$ – время на приемы управления, мин;

$T_{из}$ – время на измерение детали, мин.

При определении $T_{в.н.}$ рекомендуется использовать (для более полного представления) сведения [4, с. 101-105] и нормативную информацию, имеющуюся в приложениях 5, 6 из [4, с. 197-221], а также ниже следующие рекомендации.

Для определения нормы вспомогательного времени используем нормативную информацию для массового производства. Поэтому полученное значение $T_{в.н.}$ надо будет умножить на коэффициент 1,85 [4].

Первоначально определяется масса детали (m), кг (с округлением до десятых):

- при точении, зная заданный диаметр заготовки и длину резания плюс условно 70 мм (считаем, что обеспечивает закрепление детали и перебеги режущего инструмента), определяем объем цилиндра, который умножаем на удельный вес стали (7,8 г/см³) или чугуна (7,0 г/см³);
- при обработке отверстия считаем, что устанавливается заготовка в форме куба с длиной стороны равной длине резания

(сверления), для которой, определив объем, найдем и массу детали;

- при фрезеровании считаем поперечное сечение детали квадратным со стороной А, а длину детали равной длине резания при фрезеровании.

При этих условиях и определяем массу детали.

Вспомогательное время на установку и снятие детали вручную при закреплении ее ключом в самоцентрирующем патроне (включает работы: взять деталь, установить и закрепить; открепить деталь, снять и отложить), определяется с использованием данных таблицы 3.6.

Таблица 3.6 – Вспомогательное время на установку и снятие детали вручную, мин (патроны самоцентрирующие)

Масса детали до, кг	0,5	1	3	5	8	12	20
Тус + Тзо, мин	0,15	0,17	0,23	0,27	0,3	0,4	0,5

Данная установка заготовки выполняется на токарной операции. При обработке отверстия и фрезеровании принимаем, что заготовка устанавливается в тисках с механическим (винтовым) зажимом. Для этого целесообразно воспользоваться данными таблицы 5.5 из [4] (установка в тисках с креплением пневмозажимом), таблицы 5.7 из [4] (крепление в приспособлении рукояткой пневмозажима и винтовым зажимом). Для установки, принятой к работе, можно воспользоваться данными таблицы 3.7.

Таблица 3.7 – Вспомогательное время на установку и снятие детали вручную, мин (различные приспособления)

Масса детали до, кг	0,5	1	3	5	8	12	20	>20
Тус + Тзо, мин	0,017	0,017	0,026	0,028	0,042	0,045	0,068	0,124

Вспомогательное время на приемы управления станком определяется по таблице 5.8 (Туп, мин) [4]. Для выполнения работы можно воспользоваться следующими данными:

- включить или выключить станок: кнопкой – 0,01 мин, рычагом – 0,02 мин;

- повернуть резцовую головку на следующую позицию – 0,04 мин;
- установить и снять инструмент в быстросменном патроне: при диаметре инструмента до 15 мм – 0,035 мин; до 25 мм – 0,04 мин; до 30 мм – 0,06 мин; свыше 30 мм – 0,08 мин;
- поставить кондукторную втулку и снять: при внутреннем диаметре втулки до 20 мм – 0,05 мин; до 40 – 0,06 мин; свыше 40 мм – 0,07 мин;
- подвести или отвести инструмент к детали при обработке: резцом 0 – 0,025 мин; сверлом или зенкером – 0,01 мин; фрезой в продольном или поперечном направлении – по 0,04 мин.

Вспомогательное время на приемы управления станком, связанные с перемещением рабочих органов станков, мин, определяется по таблице 5.9 из [4]. Для выполнения работы можно воспользоваться данными (Туп, мин) таблицы 3.8.

Таблица 3.8 – Перемещением рабочих органов станков

Содержание приема	Длина перемещения до, мм				
	100	200	300	400	500
-переместить токарный суппорт в продольном направлении	0,04	0,06	0,09	0,11	0,14
-переместить шпиндель сверлильного станка в вертикальной плоскости	0,01	0,01 5	0,02	0,03	-
-переместить стол фрезерного станка	0,04	0,07	0,11	0,13	0,16

Вспомогательное время на контрольные промеры (Тиз) универсальным инструментом определяется по таблице 5.16 из [4] или с использованием следующих данных:

- штангенглубиномером при длине паза до 100 мм – 0,18 мин; до 200 мм – 0,2 мин; до 300 мм – 0,22 мин; до 500 – 0,24 мин;
- штангенциркулем по таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Вспомогательное время на контрольные промеры штангенциркулем

Измеряемый размер до, мм	Длина измеряемой поверхности до, мм				
	100	200	300	400	500
50	0,12	0,15	0,18	0,2	0,24
100	0,13	0,16	0,19	0,22	0,24

При этом при точении точность диаметрального размера обеспечивается методом пробных проходов и промеров. Поэтому для вывода режущего инструмента обеспечивается методом пробных проходов и промеров. Поэтому для вывода режущего инструмента на размер потребуется 2-3 раза воспользоваться штангенциркулем. Следовательно, при токарной обработке (двукратной) потребуется для обеспечения заданной точности выполнить в среднем пять измерений штангенциркулем. Кроме того, после выполнения операции потребуется проконтролировать полученные размеры 60 % изготовленных деталей (см. [4, табл. 4.21, с. 104-105]).

При обработке отверстия получаемые точность и величина размеров обеспечивается конструктивными размерами инструментов, поэтому из предыдущей таблицы 4.21 из [4] следует, что контролю 20 % изготовленных деталей на операции.

При фрезеровании режущие инструменты устанавливаются на заданный размер на высоте заготовки, и ширина паза обеспечивается конструктивным размером инструмента. Поэтому при фрезеровании плоскости торцевой фрезой подлежит на основании той же таблицы 4.21 из [4] проконтролировать 10 % изготовленных деталей толщиной до 50 мм или 20 % – при толщине более 50 мм. При фрезеровании паза контролируется ширина паза штангенциркулем (2 % изготовленных деталей при ширине паза до 25 мм и 3 % – свыше) и глубина паза – штангенглубиномером (10 %).

При определении режимов резания для переходов в многопереходной операции неравенство (3.2.3) исключается из числа технических ограничений.

3.2.4 Наименьшая скорость резания, допускаемая кинематикой станка

Это техническое ограничение устанавливает взаимосвязь расчетной скорости резания с кинематикой станка (по минимуму).

Скорость резания не может быть выбрана меньше, чем возможная при наименьшей частоте вращения шпинделя станка. Это условие записывается в виде следующего неравенства:

$$n \geq n_{ст \min} \cdot \quad (3.2.4)$$

3.2.5 Наибольшая технологически допустимая скорость резания

Это техническое ограничение устанавливает взаимосвязь расчетной скорости резания с технологически допустимой наибольшей скоростью резания.

Для многих случаев обработки скорость резания не может быть принята больше некоторой величины, которая установлена на основании экспериментальных данных, учитывающих конкретные условия обработки. Это условие записывается в виде следующего неравенства:

$$n \leq \frac{318v_{техн}}{d}, \quad (3.2.5)$$

где $v_{техн}$ – технологически допустимая скорость резания, определяемая по нормативным картам из [5].

3.2.6 Наибольшая скорость резания, допускаемая кинематикой станка

Это техническое ограничение устанавливает взаимосвязь расчетной скорости резания с кинематикой станка (по максимуму). Скорость резания не может быть выбрана больше, чем возможная, исходя из наибольшей частоты вращения шпинделя станка, т. е. должно иметь место неравенство:

$$n \leq n_{ст \max} \cdot \quad (3.2.6)$$

3.2.7 Прочность режущего инструмента

Это техническое ограничение устанавливает взаимосвязь расчетных скорости резания и подач по прочности режущего инструмента:

$$n_p^{n_p} s^{y_p} \leq \frac{(10^3)^{n_p} K_{np}}{C_z t^{x_p} d^{n_p} l_{в.л.} K_{3П} K_z}. \quad (3.2.7)$$

В неравенстве (3.2.7) необходимо принимать:

а) при точении резцами с державками прямоугольного сечения

$$n_p = n_z; \quad y_p = y_z; \quad x_p = x_z; \quad l_{в.л.} = l_{в.р.}; \quad K_{np} = \frac{\sigma_u B H^2}{6\pi^{n_z}};$$

б) при точении резцами с державками круглого сечения

$$n_p = n_z; \quad y_p = y_z; \quad x_p = x_z; \quad l_{в.л.} = l_{в.р.}; \quad K_{np} = \frac{\sigma_u d_\partial^3}{32\pi^{n_z-1}};$$

в) при сверлении

$$x_p = 0; \quad n_p = 0; \quad l_{в.л.} = 1; \quad y_p = y_z; \quad K_{np} = 24,22 \cdot 10^{-4} \cdot d^{3-z_z};$$

г) при рассверливании

$$x_p = 0; \quad n_p = 0; \quad l_{в.л.} = 1; \quad y_p = y_z; \quad K_{np} = 24,22 \cdot 10^{-4} \cdot d^{3-z_z}.$$

Для остальных случаев обработки соответствующим признаком, например $K_{np} = 0$, неравенство (3.2.7) исключается из системы для определения оптимального режима обработки как неприемлемое для этих видов обработки.

В неравенстве (3.2.7):

$K_{3П}$ – коэффициент запаса прочности [3, с. 149-151];

σ_u – предел прочности материала державки резца при изгибе кг/мм² [5.2, с. 147-152];

B, H – ширина и высота для державок резца прямоугольного сечения в мм;

d_∂ диаметр державки резца круглого сечения в мм;

C_z – постоянный коэффициент, характеризующий условия обработки;

K_z – общий поправочный коэффициент на мощность, учитывающий измененные условия обработки против нормативных;

d – диаметр обрабатываемой детали в мм;

$l_{в.р.}$ – вылет резца из резцедержателя в мм;

 – вылет инструмента в мм;

σ_{σ} – временное сопротивление разрыву (для быстрорежущей стали $\sigma_{\sigma} = 210 \text{ кг/мм}^2$).

Державки резцов изготавливаются из незакаленной углеродистой конструкционной стали, у которой предел прочности на изгиб $\sigma_u = 20 \div 24 \text{ кг/мм}^2$. Для державок из углеродистой стали, но подвергнутых термической обработке, допускаемое напряжение на изгиб примерно в два раза больше. В неравенстве (3.2.7), пусть например, $\sigma_u = 24 \text{ кг/мм}^2$.

Для остальных случаев обработки соответствующим признаком $K_{np} = 0$, неравенство (3.2.7) исключается из системы для определения оптимального режима обработки как неприемлемое для этих видов обработки.

3.2.8 Жесткость режущего инструмента

Это техническое ограничение устанавливает взаимосвязь расчетных скорости и подачи с допустимыми по жесткости режущего инструмента.

При точении

$$n^{n_z} s^{y_z} \leq \frac{3fEJ(10^3)^{n_z}}{l_{\sigma.p}^3 C_z t^{x_z} d^{n_z} \pi^{n_z} K_z}, \quad (3.2.8^*)$$

где f – допустимая стрела прогиба резца в мм ($f = 0,1$ мм при черновом и получистовом точении; при чистовом точении $f = 0,05$ мм);

E – модуль упругости материала резца в кг/мм^2 (для державки резца из углеродистой конструкционной стали $E = (2 \div 2,2)10^5 \text{ кг/мм}^2$);

J – момент инерции державки резца в мм^4 (момент инерции державки резца прямоугольного сечения шириной B и высотой H определяется

по формуле $J = \frac{BH^3}{12}$; момент инерции державки резца круглого

сечения равен $J = 0,05d_{\sigma}^4$);

C_z – постоянный коэффициент, характеризующий условия обработки;

K_z – общий поправочный коэффициент, учитывающий измененные условия обработки против нормативных.

При рассверливании

$$s^{y_x} \leq \frac{K \cdot E \cdot J}{C_x t^{x_x} d^{z_x} l_{в.с}^2 K_x}, \quad (3.2.8^{**})$$

где K – коэффициент устойчивости ($K = 2,46$);

$E = 2,1 \cdot 10^5$ – модуль упругости материала сверла в кг/мм^2 ;

$J = 0,039d^4$ – момент инерции сверла в мм^4 ;

$l_{в.с.}$ – длина вылета сверла в мм.

При сверлении $x_x = 0$, а остальные величины те же, что и при рассверливании (3.2.8*).

Для остальных случаев обработки неравенство (3.2.8*) исключается из системы для определения оптимального режима обработки, как неприемлемое для этих видов обработки.

3.2.9 Жесткость технологической системы

Техническое ограничение устанавливает взаимосвязь расчетных скорости резания и подачи с точностью обработки, обусловленной жесткостью технологической системы:

$$n^{n_y} s^{y_y} \leq \frac{0,15 \Delta (10^3)^{n_y} E \pi^{1-n_y} d_{np}^{4-n_y} (1 - K_{mp}^4)}{64 C_y t^{x_y} K_y K_{ж}}, \quad (3.2.9)$$

где Δ – допуск на размер в мм [1];

E – модуль упругости материала детали в кг/мм^2 (для стальных деталей $E = 20000 \text{ кг/мм}^2$, для чугунных – $E = 10000 \text{ кг/мм}^2$);

d_{np} – приведенный диаметр ступенчатого вала в мм (для деталей с утолщением посередине подсчет приведенного диаметра

производится по формуле $d_{np} = \sqrt{\frac{d_1^2 l_1 + d_2^2 l_2 + \dots + d_n^2 l_n}{L_{заг}}}$; а для с

односторонним утолщением – по формуле

$$d_{np} = \frac{d_1 l_1 + d_2 l_2 + \dots + d_n l_n}{L_{заг}});$$

K_{mp} – коэффициент, равный отношению $d_{mp} : d_{np}$ (здесь d_{mp} – диаметр отверстия заготовки в мм; для сплошной заготовки $d_{mp} = 0$);

$K_{ж}$ – коэффициент жесткости.

Все способы закрепления и базирования деталей при точении сводятся к следующим четырем схемам:

схема 1 – закрепление детали в патроне или на оправке консольно (рис. 3.2а); схема закрепления показана в виде консольной балки, защемленной одним концом и нагруженной сосредоточенной силой P_y (радиальной составляющей силы резания);

схема 2 – закрепление детали в патроне или на оправке с поджатием свободного конца центром задней бабки или с опорой свободного конца на люнет (рис. 3.2б);

схема 3 – закрепление детали в центрах без люнета посередине (рис. 3.2в);

схема 4 – закрепление детали в центрах с люнетом в середине пролета (рис. 3.2г).

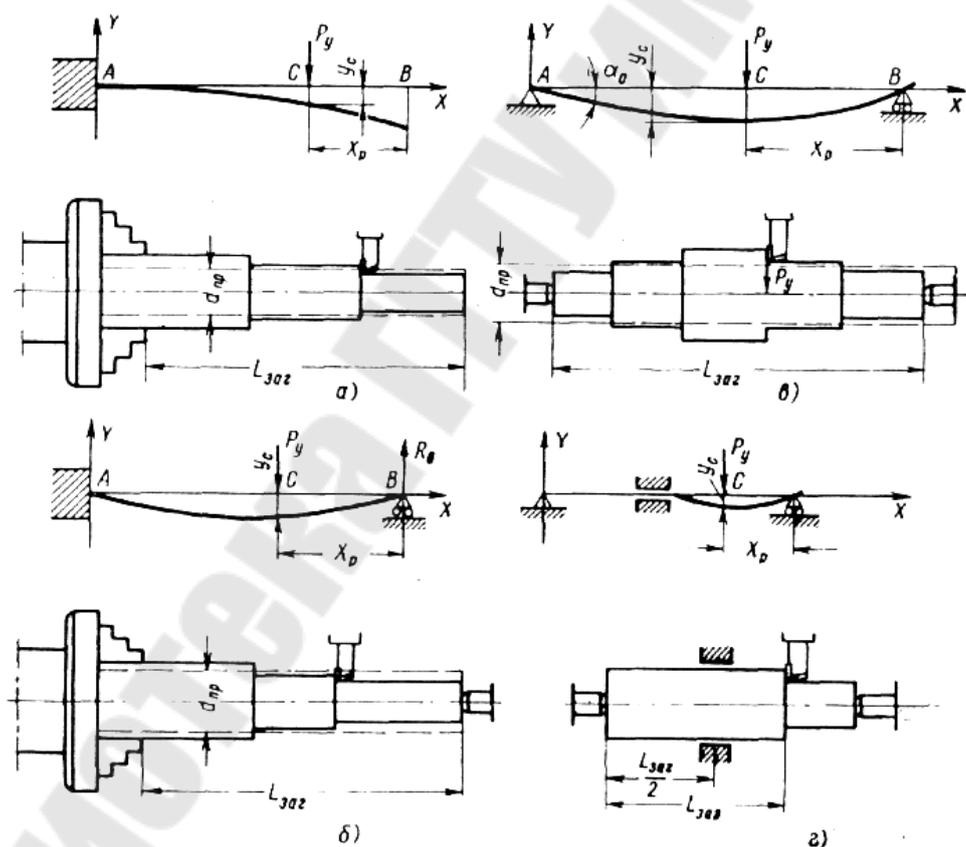


Рисунок 3.2 – Схема способов базирования и закрепления деталей, обрабатываемых на токарных станках

Коэффициенты жесткости для всех случаев закрепления деталей при точении приведены в таблице 3.10, в которой величина l – длина обработки. Для других видов обработки соответствующим признаком, например $K_{жс} = 0$, неравенство (3.2.9) исключается из системы для определения оптимальных режимов обработки, как неприемлемое для этих видов обработки.

Для определения оптимального режима резания при сверлении используется другое неравенство:

$$s^{y_x} \leq \frac{245,7 \cdot \Delta d^{4-z_x} \cdot \left(1,03 \cdot \frac{K\gamma_1}{K\gamma_2} + 1\right)}{C_x \cdot \left(0,6249 - 0,5947 \cdot \frac{K\gamma_1}{K\gamma_2}\right) \cdot l_{в.с.}^3}, \quad (3.2.9^*)$$

где Δd – величина разбивки отверстий, которая не должна превышать допуск на заданный диаметр;

$l_{в.с.}$ – вылет сверла;

$K\gamma_1$, $K\gamma_2$ – коэффициенты, учитывающие влияние переднего угла режущих кромок сверла на осевую силу (см. табл. 3.11).

Таблица 3.10– Формулы коэффициентов жесткости при определении элементов режима обработки в зависимости от способа закрепления детали

Способ закрепления детали в станке	Расстояние начала обработки от правого торца заготовки x_0	Расстояние конца обработки от правого торца заготовки x_0	Формула коэффициента жесткости $K_{ж}$
В патроне или на оправке консольно	$x_0 = 0$	-	$10L_{заг}^3$
	$x_0 > 0$	-	$10(L_{заг} - x_0)^3$
В патроне или на оправке с поджатием центром задней бабки (з. б.) или с опорой на люнет	$x_0 \leq 0,42L_{заг}$	$x_0 + l < 0,42L_{заг}$	$\frac{(x_0 + l)^2 [L_{заг} - (x_0 + l)]^3}{0,4L_{заг}^3} \times [3L_{заг} - (x_0 + l)]$
		$x_0 + l \geq 0,42L_{заг}$	$0,22L_{заг}^3$
	$x_0 > 0,42L_{заг}$	-	$\frac{x_0^2 (L_{заг} - x_0)^3 (3L_{заг} - x_0)}{0,4L_{заг}^3}$

В центрах без люнета	$x_0 \leq 0,5L_{заг}$	$x_0 + l < 0,5L_{заг}$	$\frac{(x_0 + l)^2 [L_{заг} - (x_0 + l)]^2}{0,1L_{заг}}$
		$x_0 + l \geq 0,5L_{заг}$	$0,625L_{заг}^3$
	$x_0 > 0,5L_{заг}$	-	$\frac{x_0^2 (L_{заг} - x_0)^2}{0,1L_{заг}}$
В центрах с люнетом	$x_0 \leq 0,25L_{заг}$	$x_0 + l < 0,25L_{заг}$	$\frac{(x_0 + l)^2 [0,5L_{заг} - (x_0 + l)]^2}{0,5L_{заг}}$
		$x_0 + l \geq 0,25L_{заг}$	$0,078L_{заг}^3$
	$x_0 > 0,25L_{заг}$	-	$\frac{x_0^2 (0,5L_{заг} - x_0)^2}{0,5L_{заг}}$

Так как передний угол γ для сверл является величиной переменной, то расчет выполняется исходя из средних значений для каждой режущей кромки по следующим формулам:

$$\gamma_1 = \frac{\arctg \frac{a \cdot \operatorname{tg} \omega}{0,866 \cdot d} + \arctg \frac{\operatorname{tg} \omega}{0,866}}{2},$$

$$\gamma_2 = \frac{\arctg \frac{a \cdot \operatorname{tg} \omega}{0,848 \cdot d} + \arctg \frac{\operatorname{tg} \omega}{0,848}}{2},$$

где a – длина поперечного лезвия;

ω – угол наклона винтовой канавки сверла.

Таблица 3.11 – Значения коэффициентов $K\gamma_1$ и $K\gamma_2$

Передний угол γ	17	19	21	23	25	27	29	33	35
Коэффициенты $K\gamma_1, K\gamma_2$	1,48	1,36	1,21	1,10	1,00	0,91	0,85	0,75	0,69

3.2.10 Прочность механизма подачи станка

Это техническое ограничение устанавливает взаимосвязь расчетных скорости резания и подачи с допустимыми по прочности механизма подачи станка (см. табл. 3.12-3.13):

$$n^{n_s} s^{y_s} \leq \frac{(10^3)^{n_s} P_s \operatorname{don}}{C_s t^{x_s} d^{n_s + z_s} \pi^{n_s} z^{u_s} B^{r_s} K_s}. \quad (3.2.10)$$

Величина $P_{s\text{ доп}}$ содержится в паспортах металлорежущих станков.

Таблица 3.2.12 – Значения коэффициентов C_s , K_s и показателей степени x_s , y_s , n_s , z_s , u_s , r_s

Вид обработки	C_s	K_s	x_s	y_s	n_s	z_s	u_s	r_s
Продольное наружное точение и растачивание	C_x	K_x	x_x	y_x	n_x	0	0	0
Поперечное точение	C_y	K_y	x_y	y_y	n_y	0	0	0
Сверление	C_x	K_x	0	y_x	0	z_x	0	0
Рассверливание	C_x	K_x	x_x	y_x	0	z_x	0	0
Фрезерование	C_z	$K'_s \cdot K_z$	x_z	y_z	0	z_x	u_z	r_z

Таблица 3.2.13 – Значение коэффициента K'_s

Способ фрезерования и тип инструмента		K'_s
Фрезерование цилиндрическими и концевыми фрезами	Встречное	0,8-0,9
	Попутное	1-1,2
Несимметричное торцевое фрезерование	Встречное	0,6-0,9
	Попутное	0,15-0,3
Симметричное торцевое фрезерование	-	0,3-0,4

3.2.11 Наименьшая подача, допускаемая кинематикой станка

Это техническое ограничение устанавливает взаимосвязь расчетной величины подачи с подачей, допускаемой кинематикой станка (по минимуму):

$$s \geq s_{cm \text{ min}} \cdot \quad (3.2.11)$$

3.2.12 Наибольшая подача, допускаемая кинематикой станка

Это техническое ограничение устанавливает взаимосвязь расчетной величины с подачей, допускаемой кинематикой станка (по максимуму):

$$s \leq s_{cm \max} \cdot \quad (3.2.12)$$

3.2.13 Наибольшая подача, допускаемая требованиями, предъявляемыми к шероховатости обработанной поверхности

Это техническое ограничение устанавливает взаимосвязь расчетной величины подачи с подачей, допускаемой требованиями, предъявляемыми к шероховатости обработанной поверхности:

$$s \leq s_{\nabla}, \quad (3.2.13)$$

где s_{∇} – максимально допустимая подача, обеспечивающая получение данного класса шероховатости обработанной поверхности. Для некоторых видов обработки имеются формулы для определения максимальной допустимой подачи s_{∇} . Например, при продольном наружном точении и подрезке торца

$$s_{\nabla} = \frac{C_n H_{\max}^y r^u}{t^x \varphi^z \varphi l^z},$$

где C_n – коэффициент, характеризующий условия обработки;
 H_{\max} – максимальная высота микронеровностей поверхности в мк;

r – радиус закругления при вершине резца в мм;

t – глубина резания в мм;

φ – главный угол в плане;

φl – вспомогательный угол в плане.

Для упрочняющей обработки $H_{\max} = 5 \cdot Ra$; для точения, строгания и фрезерования $H_{\max} = 6 \cdot Ra$; для остальных методов обработки $H_{\max} = 7 \cdot Ra$.

При обработке стали и стального литья и стального литья $C_n = 0,008$; $y = 1,4$; $u = 0,7$; $x = 0,3$; $z = 0,35$. При обработке чугуна $C_n = 0,045$; $y = 1,25$; $u = 0,75$; $x = 0,25$; $z = 0,5$.

Область применения формулы ограничена до $s \leq 1,75$ мм/об при обработке стали и до $s \leq 1,6$ мм/об при обработке чугуна. Поэтому на практике для определения максимально допустимой величины s_{∇} пользуются таблицами [1], в которых s_{∇} выбирается в зависимости от материала обрабатываемой детали, вспомогательного угла в плане, скорости резания и радиуса при вершине резца.

3.3 Математическая модель процесса резания металлов

В общем случае постановка задачи оптимизации режимов обработки включает:

- выбор искомых параметров;
- определение множества их возможных значений;
- выбор анализируемого набора выходных параметров процесса; установление функциональных зависимостей между искомыми и выходными параметрами при фиксированных значениях неуправляемых параметров;
- выделение целевой функции;
- назначение диапазонов возможных значений выходных параметров.

Набор искомых параметров может быть представлен в виде некоторого множества $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

Тогда задача расчета оптимальных режимов резания сводится к следующей задаче математического программирования:

$$\begin{aligned} F(x) &\rightarrow \min(\max), \\ R_i(x) &\leq R_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x &\in \{X\}, \end{aligned} \quad (3.3.1)$$

где $F(x)$ – зависимость для принятого критерия оптимальности;
 $R_i(x)$ – значение i -й характеристики процесса резания в зависимости от значений искомых параметров x из некоторого заданного множества X ;

R_i – заданное предельное значение i -й характеристики процесса резания.

В зависимости от вида и сложности представления функций $F(x)$ и $R_i(x)$ используют различные математические модели расчета режимов резания. Использование различных математических моделей

приводит к необходимости разработки разнообразных методов и алгоритмов решения рассматриваемой задачи.

Анализ рассмотренных видов и критериев оптимальности показывает, что при оптимизации по двум элементам режимов резания n и s без изменения глубины резания, стойкости инструмента и других технических факторов эти оценочные функции при введении ряда упрощений выражаются через n и s достаточно просто. Так, для минимальной себестоимости операции можно записать

$$C_{on} = \frac{c_1}{n \cdot s}, \quad (3.3.2)$$

c_1 – постоянная величина, не зависящая от режимов резания n и s .

Для минимального машинного времени можно записать

$$T_M = \frac{l_{p.x}}{n \cdot s}, \quad (3.3.3)$$

где $l_{p.x}$ – длина рабочего хода.

Итак, выбранные и описанные выше технические ограничения (3.2.1)–(3.2.13), отражающие с определенной степенью точности физический процесс резания в совокупности с критерием оптимальности (3.3.2) или (3.3.3), образуют *математическую модель процесса резания*.

При определении режимов резания широкое применение для двух элементов n и s имеет метод линейного программирования, общая задача которого состоит в определении неотрицательных значений переменных, удовлетворяющих системе ограничений в виде линейных равенств и неравенств и обеспечивающих наибольшее или наименьшее значение некоторой линейной функции – критерия оптимальности.

Таким образом, *первая задача, которая должна быть решена*, – это приведение всех технических ограничений (3.2.1)–(3.2.13) и оценочной функции (3.3.2) или (3.3.3) к линейному виду, т. е. необходимо их логарифмировать. Но до логарифмирования произведем в этих уравнениях и неравенствах некоторые преобразования.

Входящая в уравнения и неравенства величина s в ряде случаев имеет достаточно малые значения, и ей будут соответствовать отрицательные логарифмы. Для того чтобы исключить возможность

появления отрицательных логарифмов, умножим во всех уравнениях и неравенствах технических ограничений и критерия оптимальности величину s на 1000 и произведем соответствующие преобразования.

В результате получим:

Для ограничения (3.2.1):

$$n(1000 \cdot s)^{y_v} \leq \frac{318 C_v K_v d^{z_v - 1}}{T_H^m t_{усл}^{x_v} z^{u_v} B^{r_v}} \cdot 1000^{y_v}. \quad (3.3.4)$$

Для ограничения (3.2.2):

$$n^{n_z} (1000 \cdot s)^{y_z} \leq \frac{N_H \eta K C_z}{C_z t_{усл}^{x_z} d^{z_z} \pi^{n_z} z^{u_z} B^{r_z} B_k^{q_z} K_z} \cdot 1000^{y_z}. \quad (3.3.5)$$

Для ограничения (3.2.3):

$$n \cdot 1000 \cdot s \geq \frac{l_{p.x} R}{K_{\Phi} (60 K_3 r_R - T_{в.н} R)} \cdot 1000. \quad (3.3.6)$$

Для ограничения (3.2.4):

$$n \geq n_{ст \min}. \quad (3.3.7)$$

Для ограничения (3.2.5):

$$n \leq \frac{318 v_{техн}}{d}. \quad (3.3.8)$$

Для ограничения (3.2.6):

$$n \leq n_{ст \max}. \quad (3.3.9)$$

Для ограничения (3.2.7):

$$n^{n_p} \cdot (1000 \cdot s)^{y_p} \leq \frac{(10^3)^{n_p} K_{np}}{C_z t^{x_p} d^{n_p} l_{в.н} K_{3П} K_z} \cdot 1000^{y_p}. \quad (3.3.10)$$

Для ограничения (3.2.8):

$$n^{n_z} \cdot (1000 \cdot s)^{y_z} \leq \frac{3 f E J (10^3)^{n_z}}{l_{в.п}^3 C_z t^{x_z} d^{n_z} \pi^{n_z} K_z} \cdot 1000^{y_z}. \quad (3.3.11)$$

Для ограничения (3.2.9):

$$n^{n_y} \cdot (1000 \cdot s)^{y_y} \leq \frac{0.15 \Delta (10^3)^{n_y} E \pi^{1-n_y} d_{np}^{4-n_y} (1 - K_{mp}^4)}{64 C_y t^{x_y} K_y K_{жс}} \cdot 1000^{y_y} \quad (3.3.12)$$

Для ограничения (3.2.10):

$$n^{n_s} \cdot (1000 \cdot s)^{y_s} \leq \frac{(10^3)^{n_s} P_s \delta_{он}}{C_s t^{x_s} d^{n_s+z_s} \pi^{n_s} z^{u_s} B^{r_s} K_s} \cdot 1000^{y_s} \quad (3.3.13)$$

Для ограничения (3.2.11):

$$1000 \cdot s \geq s_{cm \min} \cdot 1000 \quad (3.3.14)$$

Для ограничения (3.2.12):

$$1000 \cdot s \leq 1000 \cdot s_{cm \max} \quad (3.3.15)$$

Для ограничения (3.2.13):

$$1000 \cdot s \leq 1000 \cdot s_{\nabla} \quad (3.3.16)$$

Для уравнения оценочной функции:

$$C_{он} = \frac{1000 \cdot c_1}{n \cdot (1000 \cdot s)} \quad (3.3.17)$$

Логарифмируем правые и левые части (3.3.4)–(3.3.17). В результате получаем:

Для ограничения (3.2.1):

$$\ln(n) + y_v \cdot \ln(1000 \cdot s) \leq \ln\left(\frac{318 C_v K_v d^{z_v-1}}{T_H^m t_{усл}^{x_v} z^{u_v} B^{r_v}} \cdot 1000^{y_v}\right) = b_1 \quad (3.3.18)$$

Для ограничения (3.2.2):

$$n_z \cdot \ln(n) + y_z \cdot \ln(1000 \cdot s) \leq \ln\left(\frac{N_H \eta K C_z}{C_z t_{усл}^{x_z} d^{z_z} \pi^{n_z} z^{u_z} B^{r_z} B_k^{q_z} K_z}\right) \cdot 1000^{y_z} = b_2 \quad (3.3.19)$$

Для ограничения (3.2.3):

$$\ln(n) + \ln(1000 \cdot s) \geq \ln\left(\frac{l_{p.x.R}}{K_{\Phi}(60K_3 r_R - T_{в.н} R)} \cdot 1000\right) = b_3. \quad (3.3.20)$$

Для ограничения (3.2.4):

$$\ln(n) \geq \ln(n_{cm \min}) = b_4. \quad (3.3.21)$$

Для ограничения (3.2.5):

$$\ln(n) \leq \ln\left(\frac{318v_{meхн}}{d}\right) = b_5. \quad (3.3.22)$$

Для ограничения (3.2.6):

$$\ln(n) \leq \ln(n_{cm \max}) = b_6. \quad (3.3.23)$$

Для ограничения (3.2.7):

$$n_p \cdot \ln(n) + y_p \cdot \ln(1000 \cdot s) \leq \ln\left(\frac{(10^3)^{n_p} K_{np}}{C_z t^{x_p} d^{n_p} l_{в.и} K_{3П} K_z} \cdot 1000^{y_p}\right) = b_7. \quad (3.3.24)$$

Для ограничения (3.2.8):

$$n_z \cdot \ln(n) + y_z \cdot \ln(1000 \cdot s) \leq \ln\left(\frac{3fEJ(10^3)^{n_z}}{l_{в.р}^3 C_z t^{x_z} d^{n_z} \pi^{n_z} K_z} \cdot 1000^{y_z}\right) = b_8. \quad (3.3.25)$$

Для ограничения (3.2.9):

$$n_y \cdot \ln(n) + y_y \cdot \ln(1000 \cdot s) \leq \ln\left(\frac{0,15\Delta(10^3)^{n_y} E\pi^{1-n_y} d_{np}^{4-n_y} (1-K_{mp}^4)}{64C_y t^{x_y} K_y K_{жс}} \cdot 1000^{y_y}\right) = b_9. \quad (3.3.26)$$

Для ограничения (3.2.10):

$$n_s \cdot \ln(n) + y_s \cdot \ln(1000 \cdot s) \leq \ln\left(\frac{(10^3)^{n_s} P_s \partial_{оп}}{C_s t^{x_s} d^{n_s+z_s} \pi^{n_s} z^u B^r K_s} \cdot 1000^{y_s}\right) = b_{10}. \quad (3.3.27)$$

Для ограничения (3.2.11):

$$\ln(1000 \cdot s) \geq \ln(s_{cm \min} \cdot 1000) = b_{11}. \quad (3.3.28)$$

Для ограничения (3.2.12):

$$\boxed{\times} \quad (3.3.29)$$

Для ограничения (3.2.13):

$$\ln(1000 \cdot s) \leq \ln(1000 \cdot s_{\nabla}) = b_{13}. \quad (3.3.30)$$

Для уравнения оценочной функции:

$$\ln(C_{on}) = \ln(1000 \cdot C) - (\ln(n) + \ln(1000 \cdot s)). \quad (3.3.31)$$

Обозначив через $x_1 = \ln(n)$, $x_2 = \ln(1000s)$, получим следующую математическую модель оптимального режима резания:

$$f(x) = x_1 + x_2 \rightarrow \max \quad (3.3.32)$$

$$x_1 + y_v \cdot x_2 \leq b_1 \quad (3.3.33)$$

$$n_z \cdot x_1 + y_z \cdot x_2 \leq b_2 \quad (3.3.34)$$

$$x_1 + x_2 \geq b_3 \quad (3.3.35)$$

$$x_1 \geq b_4 \quad (3.3.36)$$

$$x_1 \leq b_5 \quad (3.3.37)$$

$$x_1 \leq b_6 \quad (52.38)$$

$$n_p \cdot x_1 + y_p \cdot x_2 \leq b_7 \quad (3.3.39)$$

$$n_z \cdot x_1 + y_z \cdot x_2 \leq b_8 \quad (3.3.40)$$

$$n_y \cdot x_1 + y_y \cdot x_2 \leq b_9 \quad (3.3.41)$$

$$n_s \cdot x_1 + y_s \cdot x_2 \leq b_{10} \quad (3.3.42)$$

$$x_2 \geq b_{11} \quad (3.3.43)$$

$$x_2 \leq b_{12} \quad (52.44)$$

$$x_2 \leq b_{13}. \quad (3.3.45)$$

Задача определения оптимального режима резания сводится к отысканию среди всевозможных неотрицательных значений x_1 и x_2 системы таких значений x_{1opt} и x_{2opt} , при которых линейная функция принимает максимальное значение f_{max} . Математическая модель

процесса резания может быть изображена в графическом виде. В этом случае каждое техническое ограничение представляется граничной прямой, которая определяет полуплоскость, где возможно существование решений системы неравенств. Граничные прямые, пересекаясь, образуют многоугольник, внутри которого любая точка удовлетворяет всем без исключения неравенствам. Поэтому этот многоугольник принято называть многоугольником решений.

Теория линейного программирования показывает, что экстремальное значение оценочной функции (при выпуклом многоугольнике решений) обеспечивается для x_1 и x_2 , находящихся в точке, лежащей на одной из граничных прямых или их пересечении. Для определения оптимального решения задачи, заданной системой линейных уравнений и неравенств, обычно используется *симплекс-метод*.

На рисунке 3.3 представлена полученная математическая модель токарной обработки и ее реализация в MathCAD.

Эта же задача может решаться графически. Оценочная функция $f(x) = x_1 + x_2$ изображается прямой, перпендикулярной к вектору максимизации $M(1,1)$. Так как направление вектора M есть направление возрастания линейной функции $f(x)$, то следует ожидать, что в первой точке касания с многоугольником решения она примет минимальное значение f_{\min} , а в последней точке – максимальное значение f_{\max} , а координаты этой точки будут являться оптимальным решением системы.

На рисунках 3.4 и 3.5 представлено графическое решение математической модели, представленной на рисунке 3.3...

3 ОПИСАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ В MATHCAD

3.1 Описание реализации математической модели симплекс-методом

Для решения математической модели (2.17–2.30) поставленной задачи воспользуемся системой компьютерной алгебры MathCad. Расчет приведен в приложении А.

Построение математической модели процесса резания

$$f(x_1, x_2) := x_1 + x_2$$

$$x_1 := 0 \quad x_2 := 0$$

Given

$$x_1 + 0.45 \cdot x_2 \leq 9.021$$

$$1 \cdot x_1 + 0.75 \cdot x_2 \leq 12.297$$

$$x_1 + x_2 \geq 8.573$$

$$x_1 \geq 2.526$$

$$x_1 \leq 6.35$$

$$x_1 \leq 7.601$$

$$0 \cdot x_1 + 0.75 \cdot x_2 \leq 7.719$$

$$(1 - 1) \cdot x_1 + 0.75 \cdot x_2 \leq 9.81$$

$$0 \cdot x_1 + 0.75 \cdot x_2 \leq 7.174$$

$$0 \cdot x_1 + 0.4 \cdot x_2 \leq 4.233$$

$$x_2 \geq 4.248$$

$$x_2 \leq 8.333$$

$$x_2 \leq 6.289$$

$$\begin{pmatrix} \Delta \\ x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} := \text{Maximize}(f, x_1, x_2) \quad x_1 = 6.191 \quad x_2 = 6.289$$

$$n := e^{x_1} = 488.31 \quad s := \frac{e^{x_2}}{1000} = 0.539$$

Рисунок 4 – Реализация математической модели процесса резания в MathCad

Принимаем частоту вращения шпинделя станка $n = 500$ об/мин и продольную подачу $s = 0.52$ мм/об по паспорту станка.

Рисунок 3.3 – Реализация математической модели процесса резания в MathCAD

математической модели процесса резания.

Соответствуя ограничениям (2.18–2.30) каждая из прямых отсекает определенную часть графика, что приводит к множеству допустимых решений, в котором и будет находиться оптимальное решение. Решение приведено в приложении А.

Решение задачи оптимизации процесса резания графическим способом

$$\begin{aligned}
 y1(x) &:= \frac{9.021 - x}{0.45} & y8(x) &:= \frac{9.81 - (1 - 1) \cdot x}{0.75} \\
 y2(x) &:= \frac{12.297 - 1 \cdot x}{0.75} & y9(x) &:= \frac{7.174 - 0 \cdot x}{0.75} \\
 y3(x) &:= 8.573 - x & y10(x) &:= \frac{4.233 - 0 \cdot x}{0.4} \\
 i &:= 1..60 & x4_i &:= 2.526 & y11(x) &:= 4.248 \\
 j &:= 1..60 & x5_j &:= 6.35 & y12(x) &:= 8.333 \\
 k &:= 1..60 & x6_k &:= 7.601 & y13(x) &:= 6.289 \\
 y7(x) &:= \frac{7.719 - 0 \cdot x}{0.75} & x_{opt} &:= -8, -7.9..10
 \end{aligned}$$

Рисунок 5 – Описание уравнений прямых образующих ОДР

Анализируя график (см. рис.6) можно сделать вывод, что оптимальным значение x_2 является уравнение $y13(x)$, следовательно значение x_2 равно правой части ограничения 13: $x_2 = b_{j3} = 6.289$.

Тогда, подставив значение x_2 в уравнение $y1(x)$, ограничивающее область допустимых решений, найдем оптимальное значение функции x_1 .

Значит, $x_{2\text{opt}} = 6.289$ и $x_{1\text{opt}} = 6.191$, следовательно определим подачу и частоту вращения шпинделя станка по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 n &= e^{x_{2\text{opt}}} = 488.233 \text{ об/мин;} \\
 s &= \frac{e^{x_{2\text{opt}}}}{1000} = 0.539 \text{ мм/об;}
 \end{aligned}$$

Принимаем частоту вращения шпинделя станка $n = 500$ об/мин и продольную подачу $s = 0.52$ мм/об по паспорту станка.

Рисунок 3.4 – Описание уравнений прямых образующих ОДР

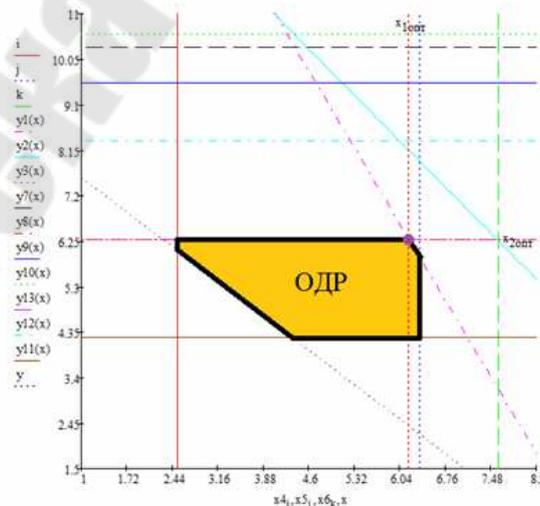


Рисунок 6 – Реализация математической модели процесса резания в MathCad графическим способом

Рисунок 3.5 – Реализация математической модели процесса резания в MathCAD графическим способом

3.4 Решение задачи методом дискретного программирования

Суть метода дискретного моделирования заключается в переборе всех возможных комбинаций пар (n_j, s_i) из массивов $[n]$ и $[s]$. Оптимальным признается такая пара (n_j, s_i) , которая удовлетворяет всем ограничениям и дает максимальное значение целевой функции $F=n \cdot s = \max$. Для построения математической модели процесса резания в этом случае используются ранее установленные зависимости для технических ограничений (3.2.1–3.2.3), (3.2.7–3.2.10). При компьютерном решении задачи вначале формируется матрица $F_{ji}=n_j \cdot s_i$. Далее, каждая пара значений (n_j, s_i) подставляется в каждую из формул действующих ограничений и при невыполнении какого-либо условия соответствующий элемент матрицы $F_{ji}(n_j, s_i)$ обнуляется. После проверки всех пар (n_j, s_i) по всем ограничениям, в матрице $[F]$ останутся ненулевыми только те значения, которые удовлетворяют всем ограничениям, а ее максимальный элемент $F_{ji} = \max$ будет соответствовать оптимальным режимам резания (n_{opt}, s_{opt}) .

На рисунке 3.6 показан результат поиска оптимальных режимов резания обработки отверстия методом дискретного программирования

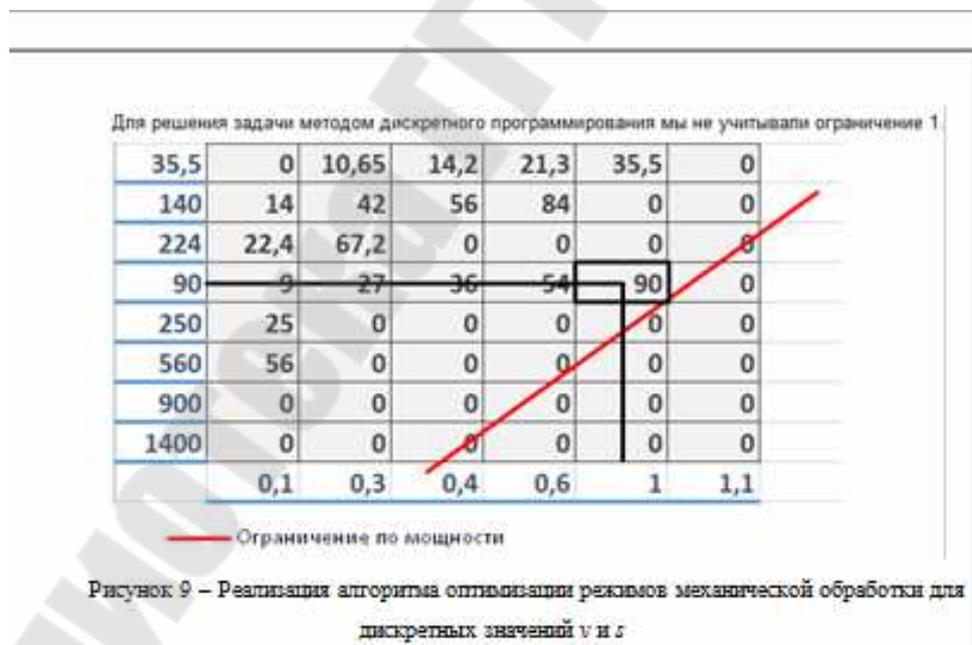


Рисунок 3.6 – Результат поиска оптимальных режимов методом дискретного программирования

3.5 Рецензирование и защита работы

К защите допускаются только курсовые работы, оформленные в строгом соответствии с изложенными выше требованиями. За содержание и оформление курсовой работы, принятые в них решения, правильность всех данных и сделанные выводы отвечает студент - автор курсовой работы.

Законченная курсовая работа, подписанная студентом и консультантами, представляются руководителю, который составляет на нее отзыв.

В отзыве руководителя курсовой работы должны быть отмечены:

- актуальность темы или учебно-методическая значимость для усвоения изученного материала,
- степень решенности поставленной задачи,
- степень самостоятельности и инициативности студента,
- умение студента пользоваться специальной литературой,
- способности студента к инженерной и исследовательской работе,
- возможность использования полученных результатов на практике,
- соответствие оформления пояснительной записки требованиям ГОСТ.

Если отзыв руководителя отрицательный, работа возвращается студенту на доработку.

Курсовая работа защищается на заседании рабочей комиссии (создаваемой на кафедре), на которую является студент с курсовой работой и отзывом руководителя. К защите допускаются курсовые работы с положительным отзывом на них руководителя.

На доклад по курсовой работе отводится 5-7 минут. В докладе должны найти отражение следующие аспекты работы:

- тема, цели и задачи работы;
- какие методы использовались при решении поставленной задачи;
- какие программные продукты привлекались для решения задачи;
- выводы и результаты проведенных исследований.

Доклад может сопровождаться иллюстративным материалом (плакаты и демонстрация программ на компьютере).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник технолога машиностроителя: В 2-х т. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с.: ил.
2. Справочник технолога машиностроителя: В 2-х т. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с.: ил.
3. Краткий справочник машиностроителя /Под ред. А.С. Близнянского. – М.: Машгиз, 1950. – 488 с.
4. Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – 4-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Выш. школа, 1983. – 256 с.
5. Режимы резания металлов: Справочник /Под ред. Ю.В. Барановского. – М.: Машиностроение, 1972. – 408 с.
6. ГОСТ 2.105 – 95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. – М.: Изд-во стандартов, 1995.-36с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ.....	4
1.1 Задачи курсовой работы.....	4
1.2 Общие положения.....	5
1.3 Требования к структуре пояснительной записки к курсовой работе	6
1.4 Общие требования к содержанию пояснительной записки к курсовой работе.....	8
2 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ.....	9
2.1 Требования к оформлению текстового документа.....	9
2.1.1 Общие требования.....	9
2.1.2 Нумерация страниц и разделов.....	9
2.1.3 Изложение текста.....	10
2.1.4 Оформление формул.....	11
2.2 Оформление графического материала.....	12
2.3 Оформление таблиц.....	14
2.4 Оформление приложений.....	16
2.5 Оформление списка использованных источников и ссылок на литературу.....	17
3 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ И ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	20
3.1 Задание по курсовой работе.....	20
3.1.1 Варианты заданий на токарную обработку.....	20
3.1.2 Варианты заданий на обработку отверстий.....	21
3.2 Уравнения технических ограничений, характеризующие кинематику и динамику процесса резания металлов.....	22
3.3 Математическая модель процесса резания металлов	41
3.4 Решение задачи методом дискретного программирования	50
3.5 Рецензирование и защита работы.....	51
Список использованных источников.....	52
Приложение А Пример оформления титульного листа.....	54
Приложение Б Пример задания на курсовую работу.....	55
Приложение В Пример содержания.....	57

Приложение А Пример оформления титульного листа

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «ГОМЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
П.О. СУХОГО»**

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»

Специальность 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовой работе

по дисциплине «Математическое моделирование и методы исследования операций»

на тему: **«Оптимизация процесса механической обработки машиностроительных изделий в системе MathCAD»**

Исполнитель: студент гр. АП-41

С.И. Стоянов

Руководитель: ст. преподаватель

В.С. Мурашко

Дата проверки:

Дата допуска к защите:

Дата защиты:

Оценка работы:

Подписи членов комиссии
по защите курсовой работы:

Гомель 2018

Приложение Б Пример задания на курсовую работу
Министерство образования Республики Беларусь
ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени П.О.Сухого

Наименование факультет машиностроительный

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав.кафедрой _____ /М.П.Кульгейко/
(подпись)

«__» _____ 201__ г.

ЗАДАНИЕ
по курсовому проектированию

Студенту группы АП-41 Иванову Ивану Ивановичу

1. Тема проекта Оптимизация процесса механической обработки машиностроительных изделий в системе MathCAD

2. Сроки сдачи студентом законченного проекта 16 мая 2018 г.

3. Исходные данные к проекту

3.1 Эскиз 1 – токарной обработки детали типа вал

3.2 Станок токарно-винторезный 16К20

3.3 Материал заготовки – Сталь 45; вид заготовки – прокат; длина заготовки $-L_0=300$; диаметр $C=34$

3.4 Диаметр $D=30$; $L=100$; $Ra=12,5$; качество=12

3.5 Способ установки детали – в центрах

3.6 Материал режущей части – Т15К6

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)
ВВЕДЕНИЕ 1 ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ 1.1 Основные подходы к решению задач оптимизации процесса механической обработки 1.2 Постановка задачи оптимизации как задачи определения оптимальных условий резания 1.3 Критерии оптимальности при расчете режимов резания 1.4 Технические ограничения в задаче оптимизации режимов резания 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ 2.1 Полная постановка задачи. 2.2 Описание математической модели процесса резания металлов методом линейного программирования 2.3 Оптимизация режимов механической обработки для дискретных значений параметров v и s 2.4. Анализ исходных и результирующих данных 2.5 Графическая схема алгоритма и ее 3 ОПИСАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ В MATHCAD 3.1 Описание реализации математической модели ...симплекс-методом 3.2 Графическое решение задачи 3.3 Программная реализация алгоритма оптимизации режимов механической обработки для дискретных значений v и s 3.4 Описание исследований 3.5 Выводы по результатам исследований ЗАКЛЮЧЕНИЕ... СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПРИЛОЖЕНИЯ

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей и графика)

6. Консультанты по проекту (с указанием относящихся к ним разделов проекта)
старший преподаватель Мурашко В.С.

7. Дата выдачи задания 21.02.2018

8. Календарный график работы над проектом (с указанием сроков выполнения и трудоемкости отдельных этапов)

Наименование элементов проектной работы	Проценты	Сроки выполнения	Проценты выполнения
1 Оптимизация процесса механической обработки	20	12.03.2018 г	20
2. Математическая модель процесса резания металлов	40	26.03. 2018 г	60
3_Описание реализации задачи в MathCad	26	23.04. 2018 г	86
4. Оформление пояснительной записки и устранение замечаний просмотревых комиссий	14	16.05.2018 г	100

Руководитель _____ /Мурашко В.С./

(подпись)

Задание принял к исполнению 21.02.2018 / Иванов И.И./

(дата и подпись студента)

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.....	6
1.1 Основные подходы к решению задач оптимизации процесса механической обработки.....	6
1.2 Постановка задачи оптимизации как задачи определения оптимальных условий резания.....	10
1.3 Критерии оптимальности при расчете режимов резания.....	12
1.4 Технические ограничения в задаче оптимизации режимов резания.....	15
2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ.....	19
2.1 Полная постановка задачи.....	19
2.2 Описание математической модели процесса резания металлов методом линейного программирования.....	20
2.3 Оптимизация режимов механической обработки для дискретных значений параметров v и s	24
2.4. Анализ исходных и результирующих данных.....	26
2.5 Графическая схема алгоритма и ее описание.....	32
3 ОПИСАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ В MATHCAD.....	33
3.1 Описание реализации математической модели ... симплекс-методом.....	33
3.2 Графическое решение задачи.....	34
3.3 Программная реализация алгоритма оптимизации режимов механической обработки для дискретных значений v и s	36
3.4 Выводы по результатам исследований.....	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	39
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	40
Приложение А Реализация задачи в MathCad.....	41

Мурашко Валентина Семеновна

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ**

**Учебно-методическое пособие
по курсовой работе
для студентов специальности 1-53 01 01
«Автоматизация технологических процессов
и производств (по направлениям)»
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 14.01.19.

Рег. № 56Е.

<http://www.gstu.by>