

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

А. Г. Кисель

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ МЕХОБРАБОТКИ

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,
обучающихся в магистратуре по направлениям подготовки
15.04.01 Машиностроение

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 67.05

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания
ФГБОУ ВО «КГТУ» М. Н. Альшевская

Кисель, А. Г.

Оптимизация процессов мехобработки: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студ. магистратуры по напр. подгот. 15.04.01 Машиностроение / А. Г. Кисель. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 17 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Оптимизация процессов мехобработки» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям для направления подготовки 15.04.01 Машиностроение.

Табл. 3, список лит. – 4 наименования

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 30 марта 2023 г., протокол № 6

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 мая 2023 г., протокол № 5

УДК 67.05

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© Кисель А. Г., 2023 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	7
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	12
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	16

ВВЕДЕНИЕ

Отличительной особенностью современного этапа развития машиностроительных производств является необходимость широкого применения так называемых высоких технологий. В основе таких технологий, по крайней мере, в краткосрочной и среднесрочной перспективе будут находиться процессы механической обработки. Механическая обработка резанием включает широко применяемые виды: точение, растачивание, сверление, фрезерование, протягивание, шлифование и др. В свою очередь технологический режим является основной характеристикой операции механической обработки и определяет совокупность параметров технологического процесса в определенном интервале времени. Чаще всего режимными параметрами лезвийной обработки являются: глубина резания, подача, скорость резания, частота вращения шпинделя, которые могут иметь как постоянные, так и переменные значения по переходам. Выбору или расчету режимных параметров лезвийной обработки посвящено большое количество учебной литературы. Вместе с тем вопросы оптимизации этих параметров изложены в основном в научной специальной литературе.

Дисциплина «Оптимизация процессов мехобработки» относится к блоку 1 части ОПОП ВО по направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение.

Целью освоения дисциплины «Оптимизация процессов мехобработки» является формирование у студентов знаний в области оптимизации технологических процессов мехобработки в специальной технологии производства и ремонта изделий машиностроения.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

– особенности и область распространения технологических процессов мехобработки в специальной технологии производства и ремонта изделий машиностроения;

– основные правила и методику оптимизации технологических процессов мехобработки;

– закономерности и связи объектов мехобработки, принципы построения технологии обработки, виды соединения деталей, методы и способы достижения заданной точности изделия, методы и способы проектирования технологических процессов механообрабатывающего производства, применяемые средства механизации и автоматизации работ;

уметь:

– проектировать оптимальные элементы технологических процессов мехобработки при производстве и ремонте изделий машиностроения;

– формулировать исходные данные к проектированию и оптимизации технологических процессов мехобработки, выбирать средства технологического оснащения;

– проектировать технологические процессы механообрабатывающего производства с учетом критериев оптимальности;

владеть:

– методиками оптимизации элементов технологических процессов мехобработки при производстве и ремонте изделий машиностроения;

– методикой выбора средств технологического оснащения для разработки оптимальных технологических процессов механообрабатывающего производства;

– приемами оптимального проектирования технологических процессов механообрабатывающего производства.

При реализации дисциплины «Оптимизация процессов мехобработки» организуется практическая подготовка путем проведения практических работ, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Для успешного освоения дисциплины «Оптимизация процессов мехобработки» студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены тестовые и практические задания. Тестирование и решение практических задач, обучающихся проводится на практических (семинарских) занятиях после изучения соответствующих тем. Тестовое задание предусматривает выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Перед проведением тестирования преподаватель знакомит студентов с вопросами теста, а после проведения тестирования проводит анализ его работы. Перечень примерных тестовых и практических заданий представлен в фонде оценочных средств по данной дисциплине.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена.

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (таблица 1).

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
Критерий				
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно- корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2. Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

При необходимости для обучающихся-инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Оптимизация процессов мехобработки» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень ключевых вопросов для подготовки к практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Оптимизация процессов мехобработки», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области проектирования средств технологического оснащения операций, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Тематический план лекционных занятий (ЛЗ) представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ЛЗ

Номер темы	Содержание лекционного занятия
1	Математическое моделирование процесса резания
2	Оптимизации режимных параметров при одноинструментной обработке методом линейного программирования
3	Однопараметрическая оптимизация при одноинструментной обработке
4	Методы нелинейного программирования и многопараметрической оптимизации при одноинструментной обработке
5	Оптимизация режимных параметров при многоинструментной обработке

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие

у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

Тема 1. Математическое моделирование процесса резания

Ключевые вопросы темы

1. Система резания и виды оптимизации процесса механической обработки.
2. Математические уравнения для аппроксимации зависимостей резания металлов.
3. Критерии оптимизации.

Ключевые понятия: процесс резания, математическое моделирование, аппроксимация, оптимизация, механическая обработка.

Литература: [1, с. 10–31]

Методические рекомендации

Базовым понятием математического моделирования является понятие системы, которое в широком смысле является эквивалентом понятия математической модели. Система (др.-греч. σύστημα – целое, составленное из частей; соединение) – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство (Большой Российский энциклопедический словарь. Москва: БРЭ, 2003. С. 1437).

В общем виде система – это объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и обществе.

Вопросы для самоконтроля

1. Задача структурной оптимизации.
2. Что обеспечивает параметрическая оптимизация?
3. Уравнения для аппроксимации зависимостей резания.

Тема 2. Оптимизации режимных параметров при одноинструментной обработке методом линейного программирования

Ключевые вопросы темы

1. Оптимизация режимных параметров точения.
2. Оптимизация режимных параметров сверления.
3. Оптимизация режимных параметров фрезерования.
4. Оптимизация режимных параметров круглого наружного шлифования.

Ключевые понятия: оптимизация параметров, точение, сверление, фрезерование, шлифование.

Литература: [1, с. 32–49]

Методические рекомендации

Основываясь на системном анализе процесса резания и количественном подходе к оптимизации, выбранный критерий представляется соответствующим математическим уравнением в виде целевой функции.

Задача минимизации целевой функции с учетом ограничений является задачей математического программирования.

Вопросы для самоконтроля

1. Параметры режима резания при сверлении.
2. Параметры режима резания при точении.
3. Параметры режима резания при шлифовании.
4. Параметры режима резания при фрезеровании.

Тема 3. Однопараметрическая оптимизация при одноинструментной обработке

Ключевые вопросы темы

1. Свойства функций одной переменной.
2. Минимизация штучного времени по скорости резания.
3. Минимизация себестоимости по скорости резания.

Ключевые понятия: себестоимость, скорость резания, минимизация, функция, переменная.

Литература: [1, с. 50–68]

Методические рекомендации

Можно дать простое определение, согласно которому функция представляет собой правило, по которому каждому значению независимой переменной (аргумента) ставится в соответствие единственное значение зависимой переменной. Функцию можно представить в табличном виде, графически или математическим выражением. Последний вариант является предпочтительным, так как позволяет легко получить первые два.

Физический процесс резания и изнашивания инструментов характеризуется рядом непрерывных функций (силы, температуры, скорости изнашивания и др.), которые обладают свойством непрерывности в каждой точке области допустимых значений независимой переменной. Следует

учитывать, что сумма или произведение непрерывных функций также является непрерывной функцией. Отношение двух непрерывных функций является функцией, непрерывной во всех точках, в которых знаменатель отношения не обращается в нуль.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое штучное время?
2. Формулы для расчёта скорости резания.
3. От чего зависит себестоимость процесса обработки?

Тема 4. Методы нелинейного программирования и многопараметрической оптимизации при одноинструментной обработке

Ключевые вопросы темы

1. Функции многих переменных. Условия экстремума.
2. Линии уровня целевых функций.
3. Минимизация себестоимости обработки как общая задача нелинейного программирования.
4. Нелинейная оптимизация режимных параметров обработки методом штрафной функции.
5. Аддитивный критерий оптимизации.

Ключевые понятия: экстремум, функция, себестоимость обработки, оптимизация, аддитивный критерий.

Литература: [1, с. 69–94]

Методические рекомендации

Необходимым условием того, чтобы функция имела локальный минимум в точке X^* , является равенство нулю всех ее первых частных производных или равенство нулю вектора градиента.

Условия, называемые условиями первого порядка, образуют систему уравнений, решением которой является стационарная точка X^* . Исследование характера стационарной точки приводит к достаточным условиям (второго порядка). Согласно этим условиям для того, чтобы дважды непрерывно дифференцируемая функция имела в стационарной точке минимум, необходимо и достаточно, чтобы матрица ее вторых производных была положительно определенной.

Вопросы для самоконтроля

1. Критерий Сильвестра.

2. Матрица Гессе.
3. В чём заключается метод штрафной функции?
4. Что предусматривает аддитивный критерий?

Тема 5. Оптимизация режимных параметров при многоинструментной обработке

Ключевые вопросы темы

1. Однопозиционная последовательная обработка.
2. Однопозиционная параллельная обработка резцом и сверлом.
3. Однопозиционная параллельная обработка ступенчатого вала.
4. Оптимизация режимных параметров на продольно-фрезерном станке.
5. Оптимизация режимных параметров на многошпиндельной головке агрегатного станка.
6. Оптимизация режимных параметров на агрегатном станке с ЧПУ.

Ключевые понятия: параллельная обработка, станок с ЧПУ, оптимизация режимных параметров, агрегатный станок, последовательная обработка.

Литература: [1, с. 95–131]

Методические рекомендации

Нелинейное программирование (НЛП) отражает наиболее общий подход к оптимизации режимных параметров (ОРП), так как не накладывает дополнительных требований на вид уравнений, описывающих целевую функцию и ограничения. Из многочисленных методов НЛП применительно к задачам ОРП показали свою эффективность рассмотренные выше метод внутренней штрафной функции с минимизацией методом Ньютона или методом спуска, и метод Куна-Таккера. Эти методы могут применяться при решении исследовательских оптимизационных задач и детализации процесса в университетских лабораториях и исследовательских центрах.

Вопросы для самоконтроля

1. Что подразумевают под однопозиционной последовательной обработкой?
2. Что такое режимные параметры?
3. Что подразумевают под однопозиционной параллельной обработкой?

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков оптимизации процессов мехобработки заготовок на станках.

Практические занятия по дисциплине «Оптимизация процессов мехобработки» являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к практическому занятию необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, интересных фактов, статистических данных, связанных с изучаемой проблематикой практического занятия.

Тематический план практических (семинарских) (ПЗ) занятий представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ПЗ

Номер темы	Содержание практического (семинарского) занятия
1	Решение задач по математическому моделированию процесса резания
2	Решение задач по оптимизации режимных параметров при одноинструментной обработке методом линейного программирования
3	Решение задач по однопараметрической оптимизации при одноинструментной обработке
4	Решение задач по нелинейному программированию и многопараметрической оптимизации при одноинструментной обработке
5	Решение задач по оптимизации режимных параметров при многоинструментной обработке

Обучающийся должен подготовить по рассматриваемому занятию отчет, защитить его, ответив устно на вопросы преподавателя.

По результатам защиты отчета преподаватель выставляет экспертную оценку по четырехбалльной шкале – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценка «отлично» ставится обучающемуся обладающему системностью, обстоятельностью и глубиной излагаемого материала, способностью воспроизвести основные тезисы по теме практического занятия, готовому развернуто отвечать на вопросы преподавателя. Оценка «хорошо» ставится обучающемуся обладающему глубиной и системностью излагаемого материала, но имеющему некоторые

затруднения при ответе на вопросы. Оценка «удовлетворительно» ставится обучающемуся имеющему недостатки информации по теме практического занятия, имеющему затруднения при ответе на вопросы преподавателя. Оценка «неудовлетворительно» ставится обучающемуся, не обладающему информацией по теме практического занятия, неспособному ответить на вопросы преподавателя.

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом его индивидуальных психофизических особенностей.

2.1 Практическое занятие на тему «Решение задач по математическому моделированию процесса резания»

Цель занятия – получение практических умений и навыков расчётов при математическом моделировании процессов резания.

Задание на практическое занятие

1. Изучить методики расчётов, выполняемых при математическом моделировании процессов резания.
2. Изучить расчётные формулы.
3. Оформить отчёт по проведённому занятию.

Вопросы для самоконтроля:

1. По каким формулам выполняются расчёты в данной работе?
2. Назовите все параметры, фигурирующие в расчётных формулах.
3. Назовите единицы измерения каждого параметра.

2.2 Практическое занятие на тему «Решение задач по оптимизации режимных параметров при одноинструментной обработке методом линейного программирования»

Цель занятия – получение практических умений и навыков выполнения оптимизации режимных параметров при одноинструментной обработке методом линейного программирования.

Задание на практическое занятие

1. Изучить методики оптимизации режимных параметров при одноинструментной обработке методом линейного программирования.
2. Изучить расчётные формулы.
3. Оформить отчёт по проведённому занятию.

Вопросы для самоконтроля:

1. По каким формулам выполняются расчёты в данной работе?
2. Назовите все параметры, фигурирующие в расчётных формулах.
3. Назовите единицы измерения каждого параметра.

2.3. Практическое занятие на тему «Решение задач по однопараметрической оптимизации при одноинструментной обработке»

Цель занятия – получение практических умений и навыков однопараметрической оптимизации при одноинструментной обработке.

Задание на практическое занятие

1. Изучить методики однопараметрической оптимизации при одноинструментной обработке.
2. Изучить расчётные формулы.
3. Оформить отчёт по проведённому занятию.

Вопросы для самоконтроля:

1. По каким формулам выполняются расчёты в данной работе?
2. Назовите все параметры, фигурирующие в расчётных формулах.
3. Назовите единицы измерения каждого параметра.

2.4. Практическое занятие на тему «Решение задач по нелинейному программированию и многопараметрической оптимизации при одноинструментной обработке»

Цель занятия – получение практических умений и навыков расчётов нелинейного программирования и многопараметрической оптимизации при одноинструментной обработке.

Задание на практическое занятие

1. Изучить методики расчётов по нелинейному программированию и многопараметрической оптимизации при одноинструментной обработке.
2. Изучить расчётные формулы.
3. Оформить отчёт по проведённому занятию.

Вопросы для самоконтроля:

1. По каким формулам выполняются расчёты в данной работе?
2. Назовите все параметры, фигурирующие в расчётных формулах.
3. Назовите единицы измерения каждого параметра.

2.5 Практическое занятие на тему «Решение задач по оптимизации режимных параметров при многоинструментной обработке»

Цель занятия – получение практических умений и навыков в области оптимизации режимных параметров при многоинструментной обработке.

Задание на практическое занятие

1. Изучить методики расчётов по оптимизации режимных параметров при многоинструментной обработке.
2. Изучить расчётные формулы.
3. Оформить отчёт по проведённому занятию.

Вопросы для самоконтроля:

1. По каким формулам выполняются расчёты в данной работе?
2. Назовите все параметры, фигурирующие в расчётных формулах.
3. Назовите единицы измерения каждого параметра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грубый, С. В. Оптимизация механической обработки: учебник / С. В. Грубый. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 140 с.– Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/206447> (дата обращения: 10.07.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Свирщёв, В. И. Оптимизация технологических процессов механической обработки: учеб. пособие / В. И. Свирщёв. – Пермь: ПНИПУ, 2006. – 116 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/160652> (дата обращения: 10.07.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Зубарев, Ю. М. Технология автоматизированного производства / Ю. М. Зубарев, А. В. Приемышев. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 216 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/327350> (дата обращения: 10.07.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Технологические процессы в машиностроении. Назначение режимов резания и нормирование операций механической обработки заготовок в машиностроении: учеб. пособие для вузов / Ю. М. Зубарев, А. В. Приемышев, В. Г. Юрьев, М. А. Афанасенков. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 248 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/197529> (дата обращения: 10.07.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

Локальный электронный методический материал

Антон Геннадьевич Кисель

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ МЕХОБРАБОТКИ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 1,2. Печ. л. 1,1

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1