

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Вишневский Дмитрий Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 30.04.2025 11:55:50  
Уникальный программный ключ:  
03474917c4d012283e5ad996a48a5e70bfb6da057

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ДонГТУ»)

Факультет горно-металлургической промышленности и строительства  
Кафедра технологии и организации  
машиностроительного производства



УТВЕРЖДАЮ  
И.о. проректора по  
учебной работе  
Д.В. Мулов

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Планирование и организация экспериментов в производственной сфере  
(наименование дисциплины)

15.04.03 Прикладная механика  
(код, наименование направления)

Цифровые технологии в производственной сфере  
(магистерская программа)

Квалификация магистр  
(бакалавр/специалист/магистр)

Форма обучения очная, заочная  
(очная, очно-заочная, заочная)

## **1 Цели и задачи изучения дисциплины**

*Цели дисциплины.* Целью дисциплины является подготовка магистра к научно-исследовательской деятельности, связанной с планированием, организацией и проведением экспериментов в производственной сфере.

*Задачи изучения дисциплины:*

- изучить основные классификационные признаки экспериментов; основные методы организации и планирования экспериментов в производственной сфере и методы обработки экспериментальных данных;

- уметь подготовить и провести эксперимент;

- практически использовать теорию эксперимента при решении различных научно-исследовательских задач; делать выводы по результатам статистического анализа экспериментальных данных; использовать современные средства анализа данных, используя пакеты прикладных программ по статистической обработке данных;

- выработать навыки практического применения методик подготовки и проведения научного эксперимента в производственной сфере.

*Дисциплина направлена на формирование универсальных компетенций (УК-2, УК-3), общепрофессиональных компетенций (ОПК-1, ОПК-9) и профессиональной компетенции (ПК-14) выпускника.*

## 2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Логико-структурный анализ дисциплины — курс входит в часть БЛОКА 1 «Дисциплины (модули)», формируемую участниками образовательных отношений подготовки студентов по направлению 15.04.03 Прикладная механика (магистерская программа «Цифровые технологии в производственной сфере»).

Дисциплина реализуется кафедрой технологии и организации машиностроительного производства. Основывается на базе компетенций, сформированных у студента в результате освоения дисциплин ООП ВО подготовки бакалавриата.

Является основой для изучения следующих дисциплин: «Научно-исследовательская работа студентов»; «Научные семинары»; «Экономическое обоснование научных решений»; «Преддипломная практика»; «Подготовка магистерской работы».

Назначение дисциплины — дать будущим выпускникам теоретические основы и практические навыки по планированию, организации и проведению экспериментов в производственной сфере. Актуальность изучения дисциплины диктуется потребностями современного развития общества на основе научных знаний и внедрения инновационных технологий. Дисциплина «Планирование и организация экспериментов в производственной сфере» направлена на освоение студентами методик планирования, организации и проведения экспериментов для исследования конструкций, систем, технологического оборудования и оснастки, технологических процессов и их оптимизации, обработке статистических данных на основе современных научных и технических достижений передовых технологий в производственной сфере.

Общая трудоемкость освоения дисциплины для очной формы обучения составляет 3 зачетных единицы, 108 ак.ч. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (18 ак.ч.), практические (18 ак.ч.) занятия и самостоятельная работа студента (72 ак.ч.).

Общая трудоемкость освоения дисциплины для заочной формы обучения составляет 3 зачетных единицы, 108 ак.ч. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (4 ак.ч.), практические (2 ак.ч.) занятия и самостоятельная работа студента (102 ак.ч.).

Дисциплина изучается на 1 курсе в 1 семестре. Форма промежуточной аттестации — зачет.

### 3 Перечень результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Процесс изучения дисциплины «Планирование и организация экспериментов в производственной сфере» направлен на формирование компетенции, представленной в таблице 1.

Таблица 1 –Компетенции, обязательные к освоению

Содержание компетенции	Код компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Способен управлять проектами на всех этапах его жизненного цикла	УК-2	<p>УК-2.1. Знает методы представления и описания результатов проектной деятельности; методы, критерии и параметры оценки результатов выполнения проекта; принципы, методы и требования, предъявляемые к проектной работе</p> <p>УК-2.2. Умеет обосновывать практическую и теоретическую значимость полученных результатов; проверять и анализировать проектную документацию; прогнозировать развитие процессов в проектной профессиональной области; выдвигать инновационные идеи и нестандартные подходы к их реализации в целях реализации проекта; анализировать проектную документацию; рассчитывать качественные и количественные результаты, сроки выполнения проектной работы</p> <p>УК-2.3. Владеет навыками управления проектной деятельностью в области, соответствующей профессиональной деятельности; навыками анализа проектной документации, а также навыками разработки и реализации программы-проекта в профессиональной области</p>
Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	УК-3	<p>УК-3.1. Знает стратегии и принципы командной работы, проблемы подбора эффективной команды; основные условия эффективной командной работы; нормативные правовые акты в сфере профессиональной деятельности; методы научного исследования в сфере управления человеческими ресурсами</p> <p>УК-3.2. Умеет определять стиль управления руководством командой; вырабатывать командную стратегию; владеет технологиями реализации основных функций управления в сфере профессиональной деятельности, а также осуществлять исследования, анализировать и интерпретировать их результаты в области управления человеческими</p>

Содержание компетенции	Код компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
		ресурсами УК-3.3. Владеет навыками организации и управления командным взаимодействием при решении задач профессиональной деятельности, навыками работы в команде
Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследований	ОПК-1	ОПК-1.1. Формулирование целей, постановка задачи исследования ОПК-1.2. Выбор способов и методик выполнения исследования ОПК-1.3. Сбор и систематизация информации об опыте решения аналогичных задач ОПК-1.4. Составление программы для проведения исследования с помощью методов факторного анализа, определение потребности в ресурсах ОПК-1.5. Формирование критериев оценки результатов исследования
Способен представлять результаты исследования в области машиностроения в виде научно-технических отчетов и Публикаций	ОПК-9	ОПК-9.1. Способен обосновывать практическую и теоретическую значимость полученных результатов; рассчитывать качественные и количественные результаты выполненной научно-технической работы ОПК-9.2. Способен оформлять результаты научных и расчетно-экспериментальных исследований в виде научно-технических отчетов ОПК-9.3. Способен оформлять результаты научных и расчетно-экспериментальных исследований в виде публикаций в российских и международных изданиях
Способен проводить научные эксперименты, наблюдения и измерения, оценивать результаты исследований, сравнивать новые экспериментальные данные с данными принятых моделей для проверки их адекватности, внедрять разработки, выполненные на основе исследований, позволяющие повысить качество выпускаемых изделий, улучшить	ПК-14	ПК-14.1. Знает сущность эксперимента; модели и методы планирования эксперимента; методы обработки экспериментальных данных; основные закономерности измерений, влияние качества измерений на качество конечных результатов метрологической деятельности ПК-14.3. Умеет выбирать план эксперимента исходя из имеющихся возможностей и целей эксперимента, анализировать доступные факторы и формировать оптимальный набор факторов эксперимента; формировать план эксперимента, в том числе и с использованием специализированных программ; построить, интерпретировать и проверить адекватность модели на основе проведенного эксперимента; принимать решения по оптимизации процессов и конструкции, исходя из построенных моделей; выбирать оптимальные решения, прогнозировать их последствия и планировать реализацию проектов; проводить патентные исследования; определять показатели технического уровня

Содержание компетенции	Код компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
технологические процессы, средства и системы машиностроительных производств		<p>проектируемых процессов</p> <p>ПК-14.4. Умеет оценивать результаты исследований, сравнивать новые экспериментальные данные с данными принятых моделей для проверки их адекватности и при необходимости предлагать изменения для улучшения моделей</p> <p>ПК-14.5. Владеет методами планирования, проведения и обработки результатов эксперимента для исследования конструкций, систем, технологических процессов и их оптимизации; методами оценки правильности проведенных расчетов; методами формализации технических задач для последующего их решения математическими методами; основными математическими пакетами прикладных программ для реализации применяемых методов</p>

#### 4 Объём и виды занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет 3 зачётных единицы, 108 ак.ч.

Самостоятельная работа студента (СРС) включает проработку материалов лекций, подготовку к практическим занятиям, текущему контролю, самостоятельное изучение материала и подготовку к зачету.

При организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине используются формы и распределение бюджета времени на СРС для очной формы обучения в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Распределение бюджета времени на СРС

Вид учебной работы	Всего ак.ч.	Ак.ч. по семестрам
		1
Аудиторная работа, в том числе:	36	36
Лекции (Л)	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	–	–
Курсовая работа/курсовой проект	–	–
Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе:	72	72
Подготовка к лекциям	4	4
Подготовка к лабораторным работам	–	–
Подготовка к практическим занятиям / семинарам	18	18
Выполнение курсовой работы / проекта	–	–
Расчетно-графическая работа (РГР)	–	–
Реферат (индивидуальное задание)	–	–
Домашнее задание	–	–
Подготовка к контрольной работе	–	–
Подготовка к коллоквиуму	12	12
Аналитический информационный поиск	18	18
Работа в библиотеке	8	8
Подготовка к зачету	12	12
Промежуточная аттестация – зачет (З)	3	3
Общая трудоемкость дисциплины		
	ак.ч.	108
	з.е.	3

## 5 Содержание дисциплины

С целью освоения компетенций, приведенных в п.3 дисциплина разбита на 5 тем:

– тема 1 (Планирование эксперимента, обработка его результатов, построение уравнений регрессии);

– тема 2 (Построение планов экспериментов и проверка их адекватности. Полный факторный эксперимент (ПФЭ));

– тема 3 (Построение планов экспериментов и проверка их адекватности. Дробный факторный эксперимент (ДФЭ));

– тема 4 (Обработка экспериментальных данных ПФЭ и ДФЭ с использованием современных вычислительных программных пакетов);

– тема 5 (Методы оптимизации исследуемых процессов. Метод крутого восхождения (Метод Бокса-Уилсона))

Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов для очной и заочной формы приведены в таблице 3 и 4 соответственно.



№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
		исследования (от получения априорной информации до создания работоспособной математической модели или определения оптимальных условий). Критерий ортогональности. Критерий рототабельности. Критерий А. Критерий D. Критерий G. Вероятностная взаимосвязь между различными переменными. Выборочный коэффициент корреляции. Линейная регрессия. Метод наименьших квадратов.		адекватности модели			
2	Построение планов экспериментов и проверка их адекватности. Полный факторный эксперимент (ПФЭ).	ПФЭ – эксперимент типа 2 <sup>n</sup> . Выбор параметра оптимизации, переменных факторов. Интервал варьирования. Выбор основного уровня и интервалов варьирования факторов. Стандартизация масштаба факторов. Составление матрицы планирования ПФЭ. Основные свойства матрицы планирования эксперимента. Порядок постановки эксперимента. Проверка воспроизводимости опытов (однородности дисперсий). Расчет оценок коэффициентов регрессионного уравнения. Проверка значимости коэффициентов регрессии.	4	<i>Практическое занятие 3.</i> Дробный факторный эксперимент: кодирование факторов, составление матрицы планирования, постановка эксперимента	2	—	—

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
		Проверка адекватности полученной ММ. Переход к физическим переменным.					
3	Построение планов экспериментов и проверка их адекватности. Дробный факторный эксперимент (ДФЭ).	Дробный факторный эксперимент. Понятия, определения, отличие от ПФЭ. Построение матрицы планирования эксперимента. Понятие определяющего контраста. Построение уравнений регрессии. Смешанные оценки коэффициентов уравнения регрессии. Оценить значимость коэффициентов уравнения регрессии. Обработка результатов эксперимента. Анализ экспериментальных данных	4	<i>Практическое занятие 4.</i> Дробный факторный эксперимент: обработка результатов ДФЭ, проверка значимости коэффициентов, проверка адекватности модели	4	—	—
4	Обработка экспериментальных данных ПФЭ и ДФЭ с использованием современных вычислительных программных пакетов	Обработка экспериментальных данных ПФЭ и ДФЭ с использованием современных вычислительных программных пакетов, в частности, табличные процессоры MS Excel; Open Office, Apache.OpenOffice и математических пакетов MathCAD, MathLAB, Matematica, Statistica (определение факторного пространства; нормировка факторов; проведение эксперимента; матрица спектра плана; а также построение	2	<i>Практическое занятие 5.</i> Обработка экспериментальных данных ПФЭ с использованием вычислительных программных пакетов	2	—	—

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
		регрессионных моделей). Полный факторный эксперимент: определение необходимого количества опытов при проведении экспериментов и матрица базисных функций в указанных табличных процессорах и математических пакетах.		<i>Практическое занятие 6.</i> Обработка экспериментальных данныхДФЭ с использованием вычислительных программных пакетов	2	—	—
5	Методы оптимизации исследуемых процессов. Метод крутого восхождения (Метод Бокса-Уилсона)	Решение разнообразных исследовательских проблем управления, проектирования, достижение и поддержание экстремальных, т.е. наилучших, показателей. Процесс нахождения и поддержания наилучших значений целевой функции объекта. Оптимизация. Метод крутого восхождения как синтез лучших черт градиентных методов и метода Гаусса-Зайделя. Мысленные опыты. Реальные (проверочные) опыты.	2	<i>Практическое занятие 7.</i> Метод крутого восхождения. Оптимизировать математические модели, полученные в результате обработки результатов ПФЭ иДФЭ	2	—	—
Всего аудиторных часов			18	18		—	

Таблицы 4 –Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (заочная форма обучения)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
1	Планирование эксперимента, обработка его результатов, построение уравнений регрессии	Общие представления о планировании экспериментов. Активный и пассивный эксперимент. Выбор вида модели и поверхность отклика. <i>Факторы</i> , общая характеристика факторов, <i>факторное пространство</i> . Выходные показатели, характеристика исследуемых свойств или качеств – <i>отклик</i> , <i>функция отклика</i> , <i>поверхность отклика</i> . <i>Эксперимент</i> . <i>План эксперимента</i> – совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов. Планирование эксперимента как совокупность действий, направленных на разработку стратегии экспериментирования от начальных до заключительных этапов изучения объекта исследования. Критерий ортогональности. Критерий рототабельности. Критерий А. Критерий D. Критерий G.	4	<i>Практическое занятие</i> Дробный Факторный эксперимент: обработка результатов	2	—	—
Всего аудиторных часов			4	2	—	—	

## **6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

### **6.1 Критерии оценивания**

В соответствии с Положением о кредитно-модульной системе организации образовательного процесса ФГБОУ ВО «ДонГТУ» ([https://www.dstu.education/images/structure/license\\_certificate/polog\\_kred\\_modul.pdf](https://www.dstu.education/images/structure/license_certificate/polog_kred_modul.pdf)) при оценивании сформированности компетенций по дисциплине используется 100-балльная шкала.

Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний приведены в таблице 5.

Таблица 5 — Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний

Код и наименование компетенции	Способ оценивания	Оценочное средство
УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-9, ПК-14	Зачет	Комплект контролирующих материалов для зачета

Всего по текущей работе в семестре студент может набрать 100 баллов, в том числе:

- тестовый контроль или устный опрос на коллоквиумах (2 работы) – всего 40 баллов;
- практические работы – всего 60 баллов.

Зачет проставляется автоматически, если студент набрал в течении семестра не менее 60 баллов и отчитался за каждую контрольную точку. Минимальное количество баллов по каждому из видов текущей работы составляет 60% от максимального.

Зачет по дисциплине «Планирование экспериментов в производственной сфере» проводится по результатам работы в семестре. В случае, если полученная в семестре сумма баллов не устраивает студента, во время зачетной недели студент имеет право повысить итоговую оценку либо в форме устного собеседования по приведенным ниже вопросам (п.п. 6.4), либо в результате тестирования.

Шкала оценивания знаний при проведении промежуточной аттестации приведена в таблице 6.

Таблица 6 — Шкала оценивания знаний

Сумма баллов за все виды учебной деятельности	Оценка по национальной шкале зачет
0-59	Не зачтено
60-73	Зачтено
74-89	Зачтено
90-100	Зачтено

## 6.2 Практические задания

*Практические задания к проведению практических занятий 1, 2*

1) На основании экспериментальных данных согласно варианту (вариант задания выбирается по номеру студента в списке группы по таблице 7) необходимо перейти к стандартизированному масштабу факторов, составить МП ПФЭ и проверить ее свойства.

2) Обработать экспериментальные данные с использованием полного факторного эксперимента.

3) Проверить воспроизводимость опытов. Если дисперсии неоднородны, повторить эксперимент.

4) Рассчитать оценки коэффициентов регрессионного уравнения.

5) Проверить статистическую значимость коэффициентов регрессии

6) Проверить адекватность полученной ММ.

7) Перейти к исходным физическим переменным.

8) Записать полученную ММ и сделать выводы.

Таблица 7 — Варианты заданий

Вариант	Номер результата опыта $y_{i,j}$	Значение результата опыта $y_{i,j}$ в $j$ -й точке факторного пространства ( $j = 1 \dots 8$ )								Уровни факторов	Факторы процесса (натуральные значения)		
		1	2	3	4	5	6	7	8		$z_1$	$z_2$	$z_3$
01	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,14	0,11	0,24	0,20	Нижний	6	40	0,22
	$y_{2,j}$	1,10	0,06	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,22				
	$y_{3,j}$	0,11	0,06	0,22	0,18	0,14	0,10	0,24	0,20	Верхний	14	120	0,31
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,16	0,16	0,10	0,21	0,18				
02	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,13	0,11	0,24	0,20	Нижний	6	40	0,22
	$y_{2,j}$	1,12	0,07	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,21				
	$y_{3,j}$	0,11	0,006	0,21	0,18	0,14	0,11	0,22	0,20	Верхний	14	120	0,31
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18				
03	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,12	0,12	0,234	0,21	Нижний	6	40	0,22
	$y_{2,j}$	1,11	0,06	0,21	0,18	0,14	0,11	0,22	0,20				
	$y_{3,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18	Верхний	14	120	0,31
04	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,14	0,11	0,24	0,20	Нижний	6	40	0,22
	$y_{2,j}$	1,10	0,06	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,22				
	$y_{3,j}$	1,10	0,06	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,22	Верхний	14	120	0,31
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,16	0,16	0,10	0,21	0,18				
05	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,13	0,11	0,24	0,20	Нижний	6	40	0,22
	$y_{2,j}$	1,12	0,07	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,21				
	$y_{3,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18	Верхний	14	120	0,31
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18				

Вариант	Номер результата опыта $y_{i,j}$	Значение результата опыта $y_{i,j}$ в $j$ -й точке факторного пространства ( $j = 1 \dots 8$ )								Уровни факторов	Факторы процесса (натуральные значения)		
		1	2	3	4	5	6	7	8		$z_1$	$z_2$	$z_3$
06	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,12	0,12	0,234	0,21	Нижний	6	40	0,22
	$y_{2,j}$	1,11	0,06	0,21	0,18	0,14	0,11	0,22	0,20				
	$y_{3,j}$	0,12	0,08	0,20	0,18	0,14	0,11	0,21	0,18	Верхний	14	120	0,31
07	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,14	0,11	0,24	0,20	Нижний	3	11	0,2
	$y_{2,j}$	1,10	0,06	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,22				
	$y_{3,j}$	0,11	0,06	0,22	0,18	0,14	0,10	0,24	0,20	Верхний	11	41	0,3
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,16	0,16	0,10	0,21	0,18				
08	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,13	0,11	0,24	0,20	Нижний	3	11	0,2
	$y_{2,j}$	1,12	0,07	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,21				
	$y_{3,j}$	0,11	0,006	0,21	0,18	0,14	0,11	0,22	0,20	Верхний	11	41	0,3
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18				
09	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,12	0,12	0,234	0,21	Нижний	3	11	0,2
	$y_{2,j}$	1,11	0,06	0,21	0,18	0,14	0,11	0,22	0,20				
	$y_{3,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18	Верхний	11	41	0,3
10	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,14	0,11	0,24	0,20	Нижний	3	11	0,2
	$y_{2,j}$	1,10	0,06	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,22				
	$y_{3,j}$	1,10	0,06	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,22	Верхний	11	41	0,3
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,16	0,16	0,10	0,21	0,18				
11	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,13	0,11	0,24	0,20	Нижний	3	11	0,2
	$y_{2,j}$	1,12	0,07	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,21				
	$y_{3,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18	Верхний	11	41	0,3
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18				
12	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,12	0,12	0,234	0,21	Нижний	3	11	0,2
	$y_{2,j}$	1,11	0,06	0,21	0,18	0,14	0,11	0,22	0,20				
	$y_{3,j}$	0,12	0,08	0,20	0,18	0,14	0,11	0,21	0,18	Верхний	11	41	0,3
13	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,14	0,11	0,24	0,20	Нижний	5	30	0,2
	$y_{2,j}$	1,10	0,06	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,22				
	$y_{3,j}$	0,11	0,06	0,22	0,18	0,14	0,10	0,24	0,20	Верхний	15	130	0,6
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,16	0,16	0,10	0,21	0,18				
14	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,13	0,11	0,24	0,20	Нижний	5	30	0,2
	$y_{2,j}$	1,12	0,07	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,21				
	$y_{3,j}$	0,11	0,006	0,21	0,18	0,14	0,11	0,22	0,20	Верхний	15	130	0,6
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18				
15	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,12	0,12	0,234	0,21	Нижний	5	30	0,2
	$y_{2,j}$	1,11	0,06	0,21	0,18	0,14	0,11	0,22	0,20				
	$y_{3,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18	Верхний	15	130	0,6
16	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,14	0,11	0,24	0,20	Нижний	5	30	0,2
	$y_{2,j}$	1,10	0,06	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,22				
	$y_{3,j}$	1,10	0,06	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,22	Верхний	15	130	0,6
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,16	0,16	0,10	0,21	0,18				
17	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,13	0,11	0,24	0,20	Нижний	5	30	0,2
	$y_{2,j}$	1,12	0,07	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,21				
	$y_{3,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18	Верхний	15	130	0,6

Вариант	Номер результата опыта $y_{i,j}$	Значение результата опыта $y_{i,j}$ в $j$ -й точке факторного пространства ( $j = 1 \dots 8$ )								Уровни факторов	Факторы процесса (натуральные значения)		
		1	2	3	4	5	6	7	8		$z_1$	$z_2$	$z_3$
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18				
18	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,12	0,12	0,234	0,21	Нижний	5	30	0,2
	$y_{2,j}$	1,11	0,06	0,21	0,18	0,14	0,11	0,22	0,20				
	$y_{3,j}$	0,12	0,08	0,20	0,18	0,14	0,11	0,21	0,18	Верхний	15	130	0,6
19	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,14	0,11	0,24	0,20	Нижний	3	25	0,2
	$y_{2,j}$	1,10	0,06	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,22				
	$y_{3,j}$	0,11	0,06	0,22	0,18	0,14	0,10	0,24	0,20	Верхний	13	35	0,6
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,16	0,16	0,10	0,21	0,18				
20	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,13	0,11	0,24	0,20	Нижний	5	30	0,2
	$y_{2,j}$	1,12	0,07	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,21				
	$y_{3,j}$	0,11	0,006	0,21	0,18	0,14	0,11	0,22	0,20	Верхний	15	130	0,6
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18				
21	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,12	0,12	0,234	0,21	Нижний	5	30	0,2
	$y_{2,j}$	1,11	0,06	0,21	0,18	0,14	0,11	0,22	0,20				
	$y_{3,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18	Верхний	15	130	0,6
22	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,14	0,11	0,24	0,20	Нижний	5	30	0,2
	$y_{2,j}$	1,10	0,06	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,22				
	$y_{3,j}$	1,10	0,06	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,22	Верхний	15	130	0,6
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,16	0,16	0,10	0,21	0,18				
23	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,13	0,11	0,24	0,20	Нижний	5	30	0,2
	$y_{2,j}$	1,12	0,07	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,21				
	$y_{3,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18	Верхний	15	130	0,6
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,17	0,16	0,10	0,21	0,18				
24	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,12	0,12	0,234	0,21	Нижний	5	30	0,2
	$y_{2,j}$	1,11	0,06	0,21	0,18	0,14	0,11	0,22	0,20				
	$y_{3,j}$	0,12	0,08	0,20	0,18	0,14	0,11	0,21	0,18	Верхний	15	130	0,6
25	$y_{1,j}$	0,12	0,06	0,20	0,18	0,14	0,11	0,24	0,20	Нижний	5	30	0,2
	$y_{2,j}$	1,10	0,06	0,18	0,16	0,12	0,12	0,23	0,22				
	$y_{3,j}$	0,11	0,06	0,22	0,18	0,14	0,10	0,24	0,20	Верхний	15	130	0,6
	$y_{4,j}$	0,12	0,08	0,20	0,16	0,16	0,10	0,21	0,18				

*Практические задания к проведению практических занятий 3, 4*

С помощью дробного факторного эксперимента найти математическую модель зависимости величины шероховатости от подачи  $S$ , радиуса при вершине резца  $r$  и величины переднего угла  $\gamma$  при полуставном (чистовом) точении заданной марки стали (данные приведены в таблице ниже)

Таблица — Исходные данные

Вариант 01. Обрабатываемый материал: Сталь 20 ГОСТ 1050—2013						
Скорость резания: $V = 71$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\gamma$ градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	48,57	48,19	48,14
2	0,43	0,5	-4	219,94	220,39	220,52

3	0,05	2,0	−4	6,66	6,87	7,09
4	0,43	2,0	+4	35,20	35,28	35,35
<i>Вариант 02.</i> Обрабатываемый материал: Сталь 20 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 106$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	44,17	44,01	43,77
2	0,43	0,5	−4	211,47	211,29	212,04
3	0,05	2,0	−4	5,34	5,86	5,41
4	0,43	2,0	+4	33,62	33,94	33,58
<i>Вариант 03.</i> Обрабатываемый материал: Сталь 20 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 141$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	41,16	41,17	41,66
2	0,43	0,5	−4	188,78	189,25	188,91
3	0,05	2,0	−4	5,74	5,70	5,61
4	0,43	2,0	+4	32,27	32,25	32,14
<i>Вариант 04.</i> Обрабатываемый материал: Сталь 20 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 176$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	37,27	37,23	36,96
2	0,43	0,5	−4	182,43	182,51	182,45
3	0,05	2,0	−4	5,27	5,31	5,50
4	0,43	2,0	+4	29,12	28,98	28,99
<i>Вариант 05.</i> Обрабатываемый материал: Сталь 20 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 211$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	36,84	37,11	36,64
2	0,43	0,5	−4	187,83	188,16	188,06
3	0,05	2,0	−4	4,26	5,0	4,72
4	0,43	2,0	+4	25,23	25,37	25,18
<i>Вариант 06.</i> Обрабатываемый материал: Сталь 20 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 246$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	33,96	33,65	34,35
2	0,43	0,5	−4	163,65	163,98	163,71
3	0,05	2,0	−4	4,51	4,36	4,87
4	0,43	2,0	+4	25,36	25,88	26,19
<i>Вариант 07.</i> Обрабатываемый материал: Сталь 20 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 282$ м/мин.						

Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	35,38	35,13	34,54
2	0,43	0,5	-4	160,51	160,09	159,91
3	0,05	2,0	-4	4,57	4,53	4,38
4	0,43	2,0	+4	25,10	25,65	25,60
<b>Вариант 08.</b> Обрабатываемый материал: Сталь 45 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 282$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	6,15	6,17	6,03
2	0,43	0,5	-4	36,37	36,07	36,23
3	0,05	2,0	-4	3,16	3,53	2,88
4	0,43	2,0	+4	22,38	22,13	22,59
<b>Вариант 09.</b> Обрабатываемый материал: Сталь 45 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 247$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	5,84	5,57	5,82
2	0,43	0,5	-4	33,75	33,60	33,70
3	0,05	2,0	-4	4,0	3,71	3,35
4	0,43	2,0	+4	24,56	23,72	24,34
<b>Вариант 10.</b> Обрабатываемый материал: Сталь 45 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 212$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	5,70	5,74	5,83
2	0,43	0,5	-4	36,96	36,52	36,52
3	0,05	2,0	-4	3,67	3,72	3,76
4	0,43	2,0	+4	23,14	23,12	22,92
<b>Вариант 11.</b> Обрабатываемый материал: Сталь 45 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 177$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	6,36	6,32	6,0
2	0,43	0,5	-4	31,99	31,24	21,59
3	0,05	2,0	-4	3,73	4,16	4,22
4	0,43	2,0	+4	24,48	24,52	24,60
<b>Вариант 12.</b> Обрабатываемый материал: Сталь 45 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 142$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	5,96	6,23	6,03

2	0,43	0,5	–4	40,23	40,11	40,09
3	0,05	2,0	–4	3,61	3,41	3,49
4	0,43	2,0	+4	23,41	23,59	23,86
<i>Вариант 13.</i> Обрабатываемый материал: Сталь 45 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 107$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	6,22	6,41	7,0
2	0,43	0,5	–4	37,66	37,52	37,84
3	0,05	2,0	–4	3,75	3,68	3,48
4	0,43	2,0	+4	25,37	25,5	25,79
<i>Вариант 14.</i> Обрабатываемый материал: Сталь 45 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 72$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	7,36	7,42	7,23
2	0,43	0,5	–4	43,03	43,10	42,87
3	0,05	2,0	–4	4,09	5,02	4,19
4	0,43	2,0	+4	29,26	28,97	28,77
<i>Вариант 15.</i> Обрабатываемый материал: Сталь 70 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 72$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	3,03	2,92	2,39
2	0,43	0,5	–4	26,56	26,95	26,44
3	0,05	2,0	–4	1,81	1,83	2,04
4	0,43	2,0	+4	24,46	24,52	24,74
<i>Вариант 16.</i> Обрабатываемый материал: Сталь 70 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 107$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	2,53	2,33	2,41
2	0,43	0,5	–4	24,44	24,26	24,71
3	0,05	2,0	–4	1,22	1,40	2,0
4	0,43	2,0	+4	20,77	20,63	20,95
<i>Вариант 17.</i> Обрабатываемый материал: Сталь 70 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 142$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	2,23	2,18	2,26
2	0,43	0,5	–4	22,96	23,14	23,41
3	0,05	2,0	–4	1,16	1,34	1,93
4	0,43	2,0	+4	19,58	19,43	19,76

Вариант 18. Обрабатываемый материал: Сталь 70 ГОСТ 1050—2013						
Скорость резания: $V = 177$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	2,27	2,20	2,0
2	0,43	0,5	-4	23,01	23,14	23,43
3	0,05	2,0	-4	1,91	1,97	1,78
4	0,43	2,0	+4	20,45	20,52	20,29
Вариант 19. Обрабатываемый материал: Сталь 70 ГОСТ 1050—2013						
Скорость резания: $V = 212$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	2,15	3,09	2,26
2	0,43	0,5	-4	24,35	24,06	23,85
3	0,05	2,0	-4	1,67	1,68	1,74
4	0,43	2,0	+4	18,88	18,82	18,59
Вариант 20. Обрабатываемый материал: Сталь 70 ГОСТ 1050—2013						
Скорость резания: $V = 247$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	2,55	2,44	1,91
2	0,43	0,5	-4	21,88	22,27	21,77
3	0,05	2,0	-4	1,41	1,44	1,64
4	0,43	2,0	+4	19,92	19,98	20,20
Вариант 21. Обрабатываемый материал: Сталь 20 ГОСТ 1050—2016						
Скорость резания: $V = 122$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	36,44	37,17	36,53
2	0,43	0,5	-4	218,46	218,91	218,41
3	0,05	2,0	-4	5,83	5,84	6,53
4	0,43	2,0	+4	29,13	29,78	29,31
Вариант 22. Обрабатываемый материал: Сталь 20 ГОСТ 1050—2016						
Скорость резания: $V = 160$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	6,36	6,32	6,0
2	0,43	0,5	-4	31,99	31,24	31,59
3	0,05	2,0	-4	3,73	4,16	4,22
4	0,43	2,0	+4	24,48	24,52	24,60
Вариант 23. Обрабатываемый материал: Сталь 20 ГОСТ 1050—2016						
Скорость резания: $V = 195$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм

1	0,05	0,5	+4	36,33	36,39	36,65
2	0,43	0,5	-4	186,06	185,86	185,88
3	0,05	2,0	-4	5,54	5,92	5,26
4	0,43	2,0	+4	31,78	32,24	32,10
<i>Вариант 24.</i> Обрабатываемый материал: Сталь 45 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 160$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	5,27	5,46	5,19
2	0,43	0,5	-4	34,08	33,65	34,62
3	0,05	2,0	-4	3,68	4,14	3,75
4	0,43	2,0	+4	21,39	21,18	21,89
<i>Вариант 25.</i> Обрабатываемый материал: Сталь 45 ГОСТ 1050—2013 Скорость резания: $V = 195$ м/мин.						
Номер опыта	Факторы			Значения		
	$S$ , мм/об	$r$ , мм	$\alpha$ , градусы	$Ra_1$ , мкм	$Ra_2$ , мкм	$Ra_3$ , мкм
1	0,05	0,5	+4	6,46	5,79	6,23
2	0,43	0,5	-4	36,20	36,26	36,29
3	0,05	2,0	-4	3,32	3,57	3,36
4	0,43	2,0	+4	20,28	20,83	20,45

### Практические занятия 5, 6

Выполняются по вариантам заданий к практическим занятиям 1. 2 и 3, 4 соответственно.

### Практическое занятие 7.

Оптимизировать математические модели в виде полинома 1-го порядка, полученные в результате обработки результатов полного и дробного факторных экспериментов. Исходные данные:

- 1)  $Y = X_1^2 + 3X_2^2 + 2X_1X_2$
- 2)  $Y = 100(X_2 - X_1)^2 + (1 - X_1)^2$
- 3)  $Y = 1 - 2X_1^2 - 2X_2^2 - 4X_1X_2 + 10X_1 + 2X_2$
- 4)  $Y = X_1^2 + X_2^2$
- 5)  $Y = 3X_1^2 + 5X_2^2 + 4X_1X_2$
- 6)  $Y = X_1^2 + 6X_1X_2 - 4X_1^2 - 2X_2^2$
- 7)  $Y = X_1^2 + X_2^2 + X_3^2$
- 8)  $Y = 3(X_1 - 1)^2 + (X_2 - 3)^2 + 4(X_3 + 5)^2$
- 9)  $Y = 3(X_1 - 1)^2 + 2(X_2 - 2)^2 + 4(X_3 - 3)^2$
- 10)  $Y = 3(X_1 - 4)^2 + 5(X_2 + 3)^2 + 7(2X_3 + 1)^2$

Пример. Оптимизация процесса проводится в соответствии с априорной информацией по трем факторам: температуре испарения ( $A$ ), температуре осаждения покрытия ( $B$ ) и термообработке ( $C$ ) инструмента. Значения переменных при исследовании свойств инструмента приведены в таблице 9.

Таблица 9 — Значения переменных при исследовании свойств инструмента

Фактор	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Кодовые обозначения	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Основной уровень $X_{i0}$	2500 °C	400 °C	400 °C
Интервал варьирования $\Delta X_i$	50 °C	50 °C	50 °C

В результате исследования получено математическое описание исследуемой области (процесс получения модели в предыдущей практической работе):

$$Y_i = 2,15 - 0,1 X_1 - 0,1 X_2 - 0,2 X_3$$

где  $Y_i$  – теоретическое значение функции отклика (параметр оптимизации), в качестве которого выбран температурный коэффициент;

$X_i$  — приведенные переменные (значения факторов).

Последовательность процесса оптимизации представлена в таблице 10.

Таблица 10 — План и результаты эксперимента, проведенного методом крутого восхождения

Факторы	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Значения функции отклика	
Коэффициенты $b_i$	-0,1	-0,1	-0,2		
$b_i \Delta X_i$	-5,0	-5,0	-10,0		
Шаг варьирования	5 °C	5 °C	10 °C		
Исходная начальная точка	2550 °C	450 °C	450 °C		
Первый реализованный опыт	2570 °C	470 °C	490 °C	1,50	1,70
Второй реализованный опыт	2590 °C	490 °C	530 °C	1,25	1,40
Третий реализованный опыт	2610 °C	510 °C	570 °C	1,00	1,30
Четвертый реализованный опыт	2630 °C	530 °C	610 °C	0,80	1,00

По программе метода крутого восхождения (табл. 10) намечены так называемые «мысленные опыты», и некоторые из них реализованы для проверки соответствия теоретического значения, предсказанного для  $j$ -го опыта ( $Y_{\xi_j}$ ), полученным в результате ПФЭ уравнением, и соответствующего экспериментального значения ( $Y_{\xi}$ ). Пятый опыт не показал уменьшения ТКС по сравнению с четвертым реализованным, и экспериментальное ТКС значение ТКС  $Y_{\xi_5} = 1,1$  существенно отличается от его теоретического значения  $Y_{\xi_5} = 0,55$ . Поэтому продолжать движение в прежнем направлении не имеет смысла. Целесообразно поставить новую серию опытов с центром в точке 4 (как имеющей наилучший результат) и найти новое направление для движения к экстремуму.

### 6.3 Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости

*Тема 1 Планирование эксперимента, обработка его результатов, построение уравнений регрессии*

- 1) Что называется объектом исследования?
- 2) В чем сущность планирования эксперимента?

3) Какой эксперимент называют активным? Какой эксперимент называют пассивным? Какая разница между активным и пассивным экспериментом?

4) Какие задачи решает теория планирования эксперимента?

5) Что такое факторы оптимизации и какие требования к ним предъявляются? Как выбрать уровни варьирования факторов?

6) Какие требования предъявляются к параметрам оптимизации?

7) Как проверить воспроизводимость опытов?

8) Как рассчитать оценки коэффициентов регрессивного уравнения?

9) Как проверить статистическую значимость оценок коэффициентов регрессии?

10) Как проверить адекватность полученной ММ?

11) Как перейти к исходным физическим переменным?

*Тема 2 Построение планов экспериментов и проверка их адекватности. Полный факторный эксперимент (ПФЭ).*

1) Что называется полным факторным экспериментом?

2) Как выбираются факторы планирования, их основные (базовые) уровни и интервалы варьирования?

3) Указать порядок проведения эксперимента методом ПФЭ.

4) Как составляется матрица планирования ПФЭ?

5) Как выбрать центр плана эксперимента?

6) Чем определяется величина интервала варьирования фактора?

7) Почему необходимо проведение параллельных опытов и их рандомизация?

8) Как зависит число уровней варьируемых факторов от порядка имитационной модели, представленной в виде полинома?

9) В чем заключается смысл разработки математической модели по принципу «от простого → к сложному»?

10) Каков порядок статистической обработки и анализа результатов эксперимента?

11) При каких условиях не соблюдается требование воспроизводимости эксперимента и как следует поступить в этом случае?

12) Как проверить значимость оценок коэффициентов регрессии?

13) В чем различие применения критерия Стьюдента для оценки выборочных средних значений случайной величины и оценки значимости коэффициентов полинома?

14) При каких условиях оценки коэффициентов регрессии незначимы и как эти условия устранить?

15) Как проверить адекватность математической модели?

16) При каких условиях не соблюдается требование адекватности математической модели и как следует поступить в этом случае?

17) Какими свойствами обладает МП ПФЭ?

18) В чем сущность ПФЭ и какие ММ он позволяет исследовать?

19) Что такое взаимодействие факторов и сколько их в ПФЭ?

20) В чем сущность ПФЭ и какие ММ он позволяет исследовать?

21) Какую область описывает уравнение регрессии, полученное с помощью ПФЭ и в каких границах его можно использовать?

22) Что такое взаимодействие факторов и сколько их в ПФЭ?

23) В чем сущность и цели стандартизации масштаба факторов?

24) Как составляется и какими свойствами обладает ММ ПФЭ?

25) Каков порядок постановки опытов при ПФЭ?

*Тема 3 Построение планов экспериментов и проверка их адекватности. Дробный факторный эксперимент (ДФЭ).*

1) Что называется дробным факторным экспериментом?

2) В каких случаях возможно планирование дробного факторного эксперимента?

3) Как можно оценить разрешающую способность матрицы дробного факторного эксперимента?

4) Что такое генерирующее соотношение и как оно выбирается?

5) Что такое определяющий контраст и как с его помощью составляется система совместных оценок?

6) В чем заключаются преимущества факторного планирования эксперимента перед другими способами проведения активного эксперимента и пассивным экспериментом?

7) В чём сущность планирования эксперимента? В чем разница между активным и пассивным экспериментом?

8) Какие задачи решает теория планирования эксперимента?

9) Что такое факторы оптимизации и какие требования к ним предъявляются? Как выбрать уровни варьирования факторов?

10) Какие требования предъявляются к параметрам оптимизации?

11) В чём сущность дробного факторного эксперимента и какие математические модели он позволяет исследовать?

12) Какую область описывает уравнение регрессии, полученное с помощью дробного факторного эксперимента и в каких границах его можно использовать?

13) Что такое взаимодействие факторов и сколько их может быть в дробном факторном эксперименте?

14) В чём сущность и цели стандартизации масштаба факторов?

15) Как составляется и какими свойствами обладает матрица планирования дробного факторного эксперимента?

16) Что такое генератор плана, из каких соображений он выбирается?

17) Что такое контраст плана и что такое обобщающий контраст?

18) Что такое смешанность оценок коэффициентов регрессии?

19) Каков порядок постановки опытов при дробном факторном эксперименте?

20) Как проверить воспроизводимость опытов?

21) Как рассчитать оценки коэффициентов регрессионного уравнения?

22) Как проверить статистическую значимость оценок коэффициентов регрессии?

23) Как проверить адекватность полученной математической модели?

24) Как перейти к исходным физическим переменным?

*Тема 4 Обработка экспериментальных данных ПФЭ и ДФЭ с использованием современных вычислительных программных пакетов*

1) Каким требованиям должен удовлетворять статистический пакет?

2) Что собой представляет современная программа анализа данных?

3) Какие основные этапы включает в себя общая технология статистического анализа данных с использованием статистического пакета?

4) Что такое модуль? Каким дополнительным ограничениям он удовлетворяет?

5) На сколько групп можно условно разделить типовые расчетные модули современных статистических пакетов?

6) Что позволяет проводить модуль описательной статистики и разведочного анализа?

7) Решения каких задач включает в себя модуль статистического исследования зависимостей?

8) Какую роль играют вспомогательные программы?

9) Какие основные функции имеет Пакет анализа?

10) Как функции, реализующие статистические методы обработки и анализа данных, реализуются в Microsoft Excel?

*Тема 5 Методы оптимизации исследуемых процессов. Метод крутого восхождения (Метод Бокса-Уилса)*

1) Как формулируется задача оптимизации?

2) Какими подходами можно решить задачу оптимизации?

3) Что общего у всех методов экспериментального поиска экстремума?

4) В чем заключается основная идея и процедура метода крутого восхождения?

5) В чем состоит роль мысленных опытов и как они проводятся?

6) Как выполняется статистический анализ результатов в методе крутого восхождения?

7) Как осуществляется оптимизация при многоэкстремальной поверхности отклика?

8) Что является критерием для выбора начальной точки исследования?

9) Что служит критерием для выбора интервала варьирования для каждого фактора?

#### **6.4 Вопросы для подготовки к зачету (тестовому коллоквиуму)**

1) Что определяет план проведения эксперимента и способ обработки полученных результатов?

2) Что выступает связующим звеном теоретических и экспериментальных исследований?

3) Какие мероприятия относятся к экспериментальным исследованиям?

- 4) Что называют методикой эксперимента?
- 5) Почему исследования в области технологии производственной сфере являются многофакторными?
- 6) При каком эксперименте проводят последовательное изучение влияния по отдельности каждого фактора на исследуемый технологический показатель?
- 7) В чем заключается отличие одного метода математического планирования от другого?
- 8) Как называется процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью?
- 9) В какой форме могут быть представлены результаты научного исследования?
- 10) В какой форме представляются статьи, тезисы, рефераты, пояснительные записки, отчеты, заявки на объекты интеллектуальной собственности к результатам научного исследования?
- 11) Из каких основных частей состоит научно-технический отчет?
- 12) В чем назначение презентации научно-технического отчета?
- 13) Какой лист научно-технического отчета является первым?
- 14) Что должно содержать заключение научно-исследовательской работы?
- 15) Какие отчеты по отдельным этапам экспериментальных работ могут быть представлены?
- 16) Что содержится в аннотации на статью?
- 17) Что дает право автору на использование слова «впервые»?
- 18) Что называют погрешностью измерения?
- 19) Как называют систему опытов, представляющую собой часть полного факторного эксперимента, и позволяющую рассчитать коэффициенты уравнения регрессии при одновременном сокращении требуемых объемов экспериментальных данных?
- 20) Как называют пространство, в котором строят поверхность отклика?
- 21) В случае, если один или несколько коэффициентов регрессии оказались незначимыми, какая проверка уравнения выполняется?
- 22) Для какого факторного пространства число опытов составляет  $N=2^{k-p}$ ?
- 23) С помощью какого критерия проверяется значимость коэффициентов уравнения факторной модели?
- 24) Сколько опытов содержит дробный факторный эксперимент при трех основных факторах?
- 25) В случае, если один или несколько коэффициентов уравнения регрессии оказались незначимыми, по какому критерию выполняется проверка уравнения на адекватность?
- 26) Как называют план эксперимента, соответствующий дробному

факторному эксперименту?

27) Что происходит при проверке значимости коэффициентов факторной модели со статистически незначимыми коэффициентами?

28) Как называют точку в факторном пространстве, соответствующую нулевым уровням всех факторов?

29) Как называется эксперимент, при проведении которого исследователь может изменять уровни факторов?

30) когда эксперимент называют идеальным?

31) Сколько опытов необходимо для проведения полного факторного эксперимента?

32) Для какого факторного эксперимента необходимо провести  $N=2^k$  опытов?

33) С ростом числа факторов эксперимента как изменяется число возможных взаимодействий?

34) Как принято называть в теории активного экспериментирования выходную (зависимую) переменную?

35) Какое основное требование предъявляется к факторам эксперимента?

36) Что понимается под управляемостью факторами эксперимента?

37) Что является примерами количественных факторов эксперимента?

38) Что является примерами качественных факторов эксперимента?

39) Что такое «белый шум»?

40) Как называется метод, позволяющий отделить факторы, интересующие экспериментатора от шумового фона?

41) Как называется план, у которого центр совпадает с началом координат?

42) Что является геометрической интерпретацией ПФЭ  $2^2$  в факторной плоскости?

43) Что является геометрической интерпретацией ПФЭ  $2^3$  в факторной плоскости?

44) По какому критерию проверяют гипотезу о статической значимости (отличии от нуля) коэффициентов регрессии?

45) Какие погрешности называются методическими?

46) Какие погрешности называются инструментальными?

47) Как формулируется задача оптимизации?

48) Какими подходами можно решить задачу оптимизации?

49) Что общего у всех методов экспериментального поиска экстремума?

50) В чем заключается основная идея и процедура метода крутого восхождения?

51) В чем состоит роль мысленных опытов и как они проводятся?

52) Как осуществляется оптимизация при многоэкстремальной поверхности отклика?

53) Как выполняется статистический анализ результатов в методе

крутого восхождения?

54) Что является критерием для выбора начальной точки исследования?

55) Что служит критерием для выбора интервала варьирования для каждого фактора?

### **6.5 Примерная тематика курсовых работ**

Курсовые работы не предусмотрены.

## 7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1 Рекомендуемая литература

#### *Основная литература*

1. Агеев, О. В. Основы научных исследований и профессиональное образование в машиностроении: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. магистратуры по напр. подгот. 15.04.01 Машиностроение / О. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 41 с. —

[https://www.klgtu.ru/vikon/sveden/files/UMP\\_po\\_Osnovam\\_nauchnykh\\_issled\\_i\\_professional\\_obrazovaniyu\\_v\\_mashinostroenii.pdf](https://www.klgtu.ru/vikon/sveden/files/UMP_po_Osnovam_nauchnykh_issled_i_professional_obrazovaniyu_v_mashinostroenii.pdf) .— (дата обращения : 03.07.2024). — Режим доступа : свободный

2. Косенко, Е.А. Планирование эксперимента (в машиностроении): учебно-методическое пособие / Е.А. Косенко. – Москва : МАДИ, 2023 – 56 с. — <https://lib.madi.ru/fel/fel1/fel23E618.pdf> .— ( дата обращения : 02.07.2024). — Режим доступа : свободный

#### *Дополнительная литература*

3. Сидняев, Н. И. Статистический анализ и теория планирования эксперимента : учебное пособие / Н. И. Сидняев. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 — 195, [5] с. : ил. — <http://fn.bmstu.ru/files/FN1/619.pdf> .— (дата обращения : 03.07.2024). — Режим доступа : свободный

4. Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. Методы планирование эксперимента и обработки данных: учеб. пособие / Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016 – 131 с.: ил. — [http://em.samgtu.ru/sites/em.samgtu.ru/files/mpe\\_posobie\\_2016.pdf](http://em.samgtu.ru/sites/em.samgtu.ru/files/mpe_posobie_2016.pdf) . — (дата обращения : 02.07.2024). — Режим доступа : свободный

#### *Учебно-методическое обеспечение*

5. Методические указания к практической работе на тему: «Полный факторный эксперимент» по курсу «Планирование эксперимента в машиностроении» (для студ. напр. подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», магистерская программа «Технология машиностроения», 1-го курса всех форм обучения) / Сост. : А.М. Зинченко, С.Н. Кучма, А.Б. Таровик, С.Ю. Стародубов. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2021. — 46 с. — <http://library.dstu.education/download.php?rec=125810> . — (дата обращения : 03.07.2024). — Режим доступа : для авториз. пользователей.

6. Методические указания к практической работе на тему: «Дробный факторный эксперимент» по курсу «Планирование эксперимента в машиностроении» (для студ. напр. подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»,

магистерская программа «Технология машиностроения», 1-го курса всех форм обучения) / Сост. : А.М. Зинченко, С.Н. Кучма, А.Б. Таровик, С.Ю. Стародубов. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2021. — 31 с. — <http://library.dstu.education/download.php?rec=127195> .— (дата обращения : 03.07.2024). — Режим доступа : для авториз. пользователей.

7. Методические указания по выполнению лабораторных работ «Научные исследования и планирование эксперимента в машиностроении» (для студ. напр. подготовки 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов» и 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств») / Сост. : О.В. Иванова. — Орёл : ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», 2019. — 28 с. — [https://elib.oreluniver.ru/media/attach/note/2020/ivanova\\_mu\\_nauch\\_issledovaniya\\_lr.pdf](https://elib.oreluniver.ru/media/attach/note/2020/ivanova_mu_nauch_issledovaniya_lr.pdf). — (дата обращения : 03.07.2024). — Режим доступа : свободный

## **7.2 Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Научная библиотека ДонГТУ : официальный сайт.— Алчевск. — URL: [library.dstu.education](http://library.dstu.education).— Текст : электронный.

2. Научно-техническая библиотека БГТУ им. Шухова : официальный сайт. — Белгород. — URL: <http://ntb.bstu.ru/jirbis2/>.— Текст : электронный.

3. Консультант студента : электронно-библиотечная система.— Москва. — URL: <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>.— Текст : электронный.

4. Университетская библиотека онлайн : электронно-библиотечная система.— URL: [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red).— Текст : электронный.

5. IPR BOOKS : электронно-библиотечная система.—Красногорск. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/>. —Текст : электронный.

## 8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническая база обеспечивает проведение всех видов деятельности в процессе обучения, соответствует требованиям ФГОС ВО.

Материально-техническое обеспечение представлено в таблице 11.

Таблица 11 – Материально-техническое обеспечение

Наименование оборудованных учебных кабинетов	Адрес (местоположение) учебных кабинетов
<p>Специальные помещения:</p> <p><i>Лекционная аудитория (60 посадочных мест)</i>, оборудованная специализированной (учебной) мебелью (парта — 20 шт., стол компьютерный — 1 шт., доска аудиторная — 2 шт.), АРМ преподавателя (системный блок ПК + монитор), мультимедийный проектор, широкоформатный экран Аудитория для проведения практических занятий и для самостоятельной работы:</p> <p><i>Лаборатория САПР (25 посадочных мест)</i>, оборудованная учебной мебелью, компьютерами с неограниченным доступом к сети Интернет, включая доступ к ЭБС:</p> <p>Ноутбук RIKOR R-N NINO 200/FMD-029 (9 шт.); Компьютер SafeRay S102 G1R Intel Core™ i5-12400 8/521GB 27" ViewRay;          Компьютер Intel® Celeron® 2,0GHz 1/160GB 17" ViewSonic;          Компьютер Intel® Core™ 2Duo 3,0 GHz 3/600 GB; Компьютер NVIDIA GeForce9500GT 19" Acer; Компьютер AMD Athlon™ 1,6 GHz 4/500 GB Radeon™ R3 19" Acer</p>	<p>ауд. <u>103</u> корп. <u>3</u></p> <p>ауд. <u>307</u> корп. <u>3</u></p>

## Лист согласования РПД

Разработал  
доц. кафедры технологии и организации  
машиностроительного производства  
(должность)

  
(подпись)

С.Н.Кучма  
(Ф.И.О.)

\_\_\_\_\_  
(должность)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

\_\_\_\_\_  
(должность)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Заведующий кафедрой технологии и  
организации машиностроительного  
производства

  
(подпись)

А.М.Зинченко  
(Ф.И.О.)

Протокол № 11 заседания кафедры  
технологии и организации машино-  
строительного производства

от 10.07 2024 г.

И.о.декана факультета горно-  
металлургической промышленности  
и строительства

  
(подпись)

О.В. Князьков  
(Ф.И.О.)

Согласовано

Председатель методической  
комиссии по направлению подготовки  
15.04.03 Прикладная механика  
(«Цифровые технологии в  
производственной сфере»)

  
(подпись)

А.М. Зинченко  
(Ф.И.О.)

Начальник  
учебно-методического центра

  
(подпись)

О.А. Коваленко  
(Ф.И.О.)

## Лист изменений и дополнений

Номер изменения, дата внесения изменения, номер страницы для внесения изменений	
БЫЛО:	СТАЛО:
Основание:	
Подпись лица, ответственного за внесение изменений	