



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.  
Носова»



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИММиМ

А.С. Савинов

09.02.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА***

Направление подготовки (специальность)  
22.03.02 Metallurgy

Направленность (профиль/специализация) программы  
Metallurgy of black metals

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалобработки
Кафедра	Литейных процессов и материаловедения
Курс	3
Семестр	6

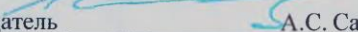
Магнитогорск  
2023 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 22.03.02 Metallургия (приказ Минобрнауки России от 02.06.2020 г. № 702)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения  
08.02.2022, протокол № 6

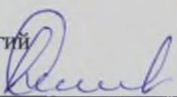
Зав. кафедрой  Н.А. Феоктистов

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ  
09.02.2023 г. протокол № 5

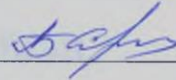
Председатель  А.С. Савинов

Согласовано:

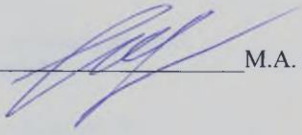
Зав. кафедрой Metallургии и химических технологий

 А.С. Харченко

Рабочая программа составлена:

профессор кафедры ЛПИМ, д-р техн. наук  А.Б. Сычков

Рецензент:

доцент кафедры МиТОДиМ, канд. техн. наук  М.А. Шекшеев

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Н.А. Феоктистов

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Н.А. Феоктистов

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Н.А. Феоктистов

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Н.А. Феоктистов

## 1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения модуля дисциплины «Планирование эксперимента» является подготовка бакалавров по направлению 22.03.02 «Металлургия» и профилю подготовки «Металлургия черных металлов» - очной формы обучения к профессиональной деятельности в соответствии с требованиями Федерального Государственного образовательного стандарта.

Задачей изучения дисциплины является подготовка студентов к творческому применению полученных знаний при создании новых и совершенствованию действующих технологических процессов, формированию у студентов системы знаний по планированию экспериментов во всех сферах учебной и производственной деятельности. Эта задача решается следующими способами:

- дать понятия об оценке экспериментальных данных, генеральной совокупности и выборки из нее случайных величин;
- сформировать у студента представления о корреляционном и регрессионном анализе, методике оценки и отсеивании различных факторов выборок случайных величин;
- научить обучающихся методам планированного эксперимента и поиска оптимальных значений функции отклика в определенной области существования факторов технологического процесса;
- применять методы планированного эксперимента для облегчения расчетов при применении дробного факторного эксперимента.

## 2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Планирование эксперимента входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Анализ числовой информации

Математический анализ

Математика

Физика

Информатика и информационные технологии

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Моделирование процессов и объектов в металлургии

Методы оптимизации в металлургии

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Планирование эксперимента» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-4	Способен проводить измерения и наблюдения в сфере профессиональной деятельности, обрабатывать и представлять экспериментальные данные
ОПК-4.1	Выбирает и применяет методы и средства измерения для определения свойств материалов и изделий из них
ОПК-4.2	Проводит экспериментальные исследования и использует основные приемы обработки и представления полученных данных

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 61,6 акад. часов;
- аудиторная – 60 акад. часов;
- внеаудиторная – 1,6 акад. часов;
- самостоятельная работа – 46,4 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1.								
1.1 Введение. Сведения из теории вероятности и математической статистики (генеральная совокупность, выборка случайных величин, характеристики выборки). Понятие о видах планирования математического и физического экспериментов, принципах геометрического и физического подобия объектов управления.	6	3		3	5	Проработка теоретического (лекционного) материала. Изучение дополнительного материала.	Текущий контроль успеваемости. Проведение расчетных работ с применением ПК.	ОПК-4.1, ОПК-4.2
1.2 Статистические методы в управлении качеством продукции. Текущий контроль продукции. Принципы выбора контролируемых параметров и их уровня в стандартах на металлургическую продукцию. Статистическое обоснование объема выборки при контроле у поставщика и потребителя. Контрольные карты. Общая схема управления технологическим объектом с адаптивным блоком		4		4	6	Проработка теоретического (лекционного) материала. Изучение дополнительного материала.	Текущий контроль успеваемости. Проведение расчетных работ с применением ПК. - АКР № 5	ОПК-4.1, ОПК-4.2

<p>1.3 Характеристики видов экспериментов (теоретический подход, математическое моделирование условий эксперимента, физический эксперимент), условия подбора объекта и материальной копии. Выбор наиболее эффективной схемы эксперимента. Составление плана проведения экспериментов разных уровней (опытный, лабораторный, полупромышленный, промышленный, изготовление опытно-промышленной партии)</p>		4	4	6	<p>Проработка методических указаний к практическим занятиям, составление конспекта, подготовка ответов по контрольным вопросам.</p>	<p>Текущий контроль успеваемости. Проведение расчетных работ с применением ПК. - АКР № 4</p>	<p>ОПК-4.1, ОПК-4.2</p>
<p>1.4 Введение в методику планирования эксперимента (общие понятия, принципы). Виды параметров оптимизации, обобщенный параметр оптимизации, функция желательности. Выбор типа математической полиномиальной или иной модели.</p>		4	4	6	<p>Проработка теоретического (лекционного) материала. Изучение дополнительного материала.</p>	<p>Текущий контроль успеваемости. Проведение расчетных работ с применением ПК. - АКР № 6</p>	<p>ОПК-4.1, ОПК-4.2</p>
<p>1.5 Полный и дробный факторный эксперимент. Правила построения планов – дробных реплик. Риски при использовании планов с дробными репликами – влияние на точность прогнозирования функции отклика. Типы планов эксперимента – двух- и трех факторные планы типа <math>N = mn</math> (<math>N</math> – необходимое количество опытов, <math>m</math> – количество уровней варьирования случайных факторов, <math>n</math> –</p>		4	4	6,4	<p>Проработка теоретического (лекционного) материала. Изучение дополнительного материала.</p>	<p>Текущий контроль успеваемости. Проведение расчетных работ с применением ПК. - АКР № 6, 7</p>	<p>ОПК-4.1, ОПК-4.2</p>

1.6 Коэффициент конкордации (коэффициент согласия) при экспертной оценке влияния факторов на функцию отклика (параметр оптимизации). Основные свойства матрицы математически планируемого эксперимента (ортогональность, рототабельность, симметричность, нормировка экспериментальной матрицы).	4		4	6	Проработка теоретического (лекционного) материала. Изучение дополнительного материала.	Текущий контроль успеваемости. Проведение расчетных работ с применением ПК. - АКР № 8.	ОПК-4.1, ОПК-4.2
1.7 Методика расчета коэффициентов эмпирического уравнения по данным проведенного планируемого эксперимента. Связь эффекта фактора с коэффициентами уравнения. Критерии оптимальности планов эксперимента.	4		4	6	Проработка теоретического (лекционного) материала. Изучение дополнительного материала.	Текущий контроль успеваемости. Проведение расчетных работ с применением ПК. - АКР № 9	ОПК-4.1, ОПК-4.2
1.8 Введение в решение по поиску оптимального экстремального значения параметра оптимизации в области определения функции двух и многофакторных уравнений (метод крутого восхождения Бокса-Уилсона и др.)	3		3	5	Проработка теоретического (лекционного) материала. Изучение дополнительного материала.	Текущий контроль успеваемости. Проведение расчетных работ с применением ПК. - АКР № 9	ОПК-4.1, ОПК-4.2
Итого по разделу	30		30	46,4			
Итого за семестр	30		30	46,4		зачёт	
Итого по дисциплине	30		30	46,4		зачет	

## **5 Образовательные технологии**

В процессе преподавания дисциплины «Планирование эксперимента» применяются традиционная и модульно-компетентностная технологии.

Лекции проходят как в традиционной форме, так и в форме лекций-консультаций, где теоретический материал заранее выдается студентам для самостоятельного изучения, для подготовки вопросов лектору, таким образом, лекция проходит по типу вопросы-ответы-дискуссия. Лекции читаются с использованием мультимедийного оборудования, презентационных материалов.

Лекционный материал закрепляется в ходе практических занятий, на которых выполняются групповые или индивидуальные задания по пройденной теме. При проведении практических занятий используется метод контекстного обучения, который позволяет усвоить материал путем выявления связей между конкретным знанием и его применением.

При выполнении практических занятий используется технология коллективного взаимодействия. Занятия проводятся в виде обсуждения полученного задания, при этом студенты работают совместно с последующим групповым анализом полученных результатов.

В учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий (компьютерные симуляции, разбор конкретных ситуаций) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Самостоятельная работа студентов стимулирует студентов к индивидуальной проработке тем в процессе написания рефератов, выполнения индивидуальных заданий, в процессе подготовки к контрольным работам и итоговой аттестации.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) Основная литература:**

1. Мельниченко, А.С. Анализ данных в материаловедении : учебное пособие / А.С. Мельниченко. — Москва : МИСИС, [б. г.]. — Часть 1 — 2013. — 72 с. — ISBN 978-5-87623-666-1. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/117168> (дата обращения: 12.01.2023)— Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Андреев, С. М. Моделирование объектов и систем управления : учебное пособие / С. М. Андреев ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsistema.ru/uploader/fileUpload?name=3337.pdf&show=dcatalogues/1/1138496/3337.pdf&view=true> (дата обращения: 12.01.2023). - Макрообъект. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-9967-1028-7. - Сведения доступны также на CD-ROM.

### **б) Дополнительная литература:**

1. Адлер, Ю.П. Методология и практика планирования эксперимента в России : монография / Ю.П. Адлер, Ю.В. Грановский. — Москва : МИСИС, 2016. — 182 с. — ISBN 978-5-87623-990-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная



система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/93686> (дата обращения: 12.01.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Мельниченко, А.С. Математическая статистика и анализ данных : учебное пособие / А.С. Мельниченко. — Москва : МИСИС, 2018. — 45 с. — ISBN 978-5-906953-62-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/108035> (дата обращения: 12.01.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Степанов, П.Е. Планирование эксперимента : учебно-методическое пособие / П.Е. Степанов. — Москва : МИСИС, 2017. — 22 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/108113> (дата обращения: 12.01.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### **в) Методические указания:**

1. Статистические методы обработки и анализа числовой информации, контроля и управления качеством проката/М.И. Румянцев, С.А. Левандовский, Н.А. Ручинская, К.Е. Черкасов, А.В. Логинов. – Учебное пособие. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 257 с.

2. Молочкова О.С. Варианты заданий по анализу числовой информации для бакалавров. – Методические указания. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. 15 с.

#### **г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

##### **Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
STATISTICA в.6	К-139-08 от 22.12.2008	бессрочно
Adobe Reader	свободно	бессрочно
Электронные плакаты по дисциплине "Материаловедение"	К-278-11 от 15.07.2011	бессрочно

##### **Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: <a href="http://www1.fips.ru/">http://www1.fips.ru/</a>
Российская Государственная библиотека. Каталоги	<a href="https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/">https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/</a>

## **9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа оснащена:
  - техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: мультимедийными средствами хранения, передачи и представления учебной информации;
  - специализированной мебелью.
2. Учебная аудитория для проведения практических занятий оснащена:
  - техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: мультимедийными средствами хранения, передачи и представления учебной информации;
  - специализированной мебелью.
3. Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации оснащена:
  - компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;
  - специализированной мебелью.
4. Помещение для самостоятельной работы оснащено:
  - компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;
  - специализированной мебелью.
5. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования оснащено:
  - специализированной мебелью: стеллажами для хранения учебного оборудования;
  - инструментами для ремонта учебного оборудования;
  - шкафами для хранения учебно-методической документации и материалов.

**6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Оценочные средства для проведения текущего контроля в виде аудиторной контрольной работы (АКР)

*Перечень тем для подготовки к семинарским занятиям:*

Исходные данные для проведения практических занятий представлены в 16 вариантах случайных выборок (объем выборки – n = 59), один из которых приведена ниже.

%							
% C	Cr	%Mn	Ni	Ti	HRC	Kи	φ
2,49	15,21	5,75	2,87	1,52	61,04	5,01	16,58
2,15	17,83	4,58	2,4	1,16	62,17	7,76	9,22
2,01	17,15	3,26	2,98	1,24	61,49	6,06	17,97
2,62	19,33	5,46	2,6	1,18	60,08	11	5
2,54	15,57	3,34	1,85	1,39	62,65	8,5	16,17
2,11	16,55	5,78	1,76	1	59,34	10,42	4,66
3	16,99	5,59	2,9	1,66	60	11,96	5,9
2,99	20,92	4,9	1,02	1,93	59,32	6,35	10,71
2,82	17,85	3,46	2,97	1,06	61,95	5,13	10,15
2,06	19,69	4,52	1,87	1,69	60,51	8,47	8,38
2,56	17,95	4,02	1,47	1,43	62,01	6,46	5,26
2,67	16,49	5,78	1,95	1,96	61,68	11,19	7,29
2,09	18,27	5,88	2,34	1,69	62,68	10,8	17,5
2,64	17,52	3,11	1,13	1,96	59,4	6,56	4,99
2,95	16,23	3,48	1,61	1,09	62,48	6,79	5,04
2,62	15,15	4,82	1,39	1,15	59,62	6,04	6,84
2,55	16,53	3,19	1,08	1,24	59,99	5,23	2,06
2,04	18	5,16	2,13	1,49	62	10,66	2,46
2,17	19,45	3,46	1,04	1,43	59,92	5,96	12,79
2,97	17,4	3,42	1,88	1,29	60,73	9,94	10,58
2,65	19,8	5,1	1,56	1,77	62,36	5,22	11,2
2,2	15,84	5,66	2,17	1,94	61,97	9,63	9,45
2,39	18,17	4,03	2,03	1,2	62,4	9,84	13,73
2,53	17,61	3,1	2,77	1,97	62,16	8,67	13,62
2,06	17,45	5,56	1,09	1,82	61,26	5,51	10,6
2,16	15,93	5,5	1,22	1,43	62,73	11,34	16,51
2,96	20,44	5,82	2,58	1,03	60,91	9,57	4,07
2,75	19,64	4,54	2,76	1,86	62,55	9,22	7,25
2,7	19,55	5,13	1,15	1,93	62,06	10,19	13,86
2,72	20,36	3,26	1,63	1,5	59,98	10,16	17,61
2,54	19,63	4,03	2,61	1,01	62,49	7,2	11,12
2,67	15,9	5,08	2,44	1,43	59,56	9,21	10,51
2,85	20,82	3,21	2,92	1,93	61,28	8,15	2,35
2,28	19,5	5,39	2,29	1,38	60,25	7,9	7,79
2,73	17,63	5,03	1,31	1,56	60,38	10	14,66
2,73	16,78	3,05	1,13	1,38	62,92	7,02	5,39
2,77	16,23	5,87	1,22	1,88	59,66	11,33	3,18
2,11	19,11	5,28	2,52	1,37	60,23	6,79	9,08
2,87	18,35	5,52	1,65	1,26	60,02	11,69	9,92

2,2	16,21	3,07	2,57	1,64	62,35	11,1	6,04
2,2	16,07	4,01	2,58	1,64	61,63	9,74	3,58
2,38	16,97	3,53	1	1	59,39	7,37	10,42
2,56	15,85	3,87	1,36	1,3	59,55	10,14	6,77
2,44	17,19	3,61	2,07	1,84	62,96	11,7	2,96
2,75	17,7	3,2	2,93	1,89	59,7	10,86	6,12
2,26	17,16	5,12	1,99	1,52	60,1	7,63	12,65
2,21	17,94	4,89	1,93	1,58	60,13	10,45	17,72
2,06	15,72	5,72	1,09	1,9	62,42	6,82	12,56
2,71	19,44	4,91	1,6	1,05	61,63	6,52	9,57
2,79	18,06	5,16	2,37	1,45	60,02	7,98	9,93
2,83	15,86	4,37	2,94	1,15	59,92	5,85	16,12
2,66	18,85	3,1	2,76	1,38	62,88	5	14,91
2,74	19,49	3,93	2,95	1,69	59,3	7,98	10,96
2,62	15,67	5,91	2,51	1,97	59,61	7,81	7,1
2,56	20,09	3,81	2,74	1,35	62,55	11,44	2,91
2,27	15,81	3,76	1,28	1,87	60,11	11,95	7,01
2,79	19,99	5,7	1,23	1,73	61,97	5,84	2,74
2,7	16,43	4,8	1,84	1,52	60,07	5,93	4,41
2,71	18,82	4,15	2,89	1,46	62,62	10,68	13,85

#### АКР 1. Практическая первичная обработка выборки случайной величины

Вычислить с применением программного продукта Excel статистические характеристики (минимальные, максимальные, размах значений, средние значения, среднеквадратическое отклонение-стандартное отклонение, коэффициент вариации, медиана, мода) расчетной выборки. То есть вычислить по независимым ( $X_i$ ) и зависимым ( $Y_i$ ) случайным величинам следующие характеристики:

- минимальные значения случайных величин -  $(X_i, Y_i)_{\min}$ ;
- максимальные значения случайных величин -  $(X_i, Y_i)_{\max}$ ;
- размах -  $R = (X_i, Y_i)_{\max} - (X_i, Y_i)_{\min}$ ;
- среднее значение  $(X_{\text{ср}}, Y_{\text{ср}}) = \Sigma(X_{\text{ср}}, Y_{\text{ср}})/n$ , где  $n$  – объем выборки;
- среднеквадратическое отклонение=стандартное отклонение  $S_{x_i} = [\Sigma (X_i - X_{\text{ср}})^2/n]^{0,5}$ ;  $S_{y_i} = [\Sigma (Y_i - Y_{\text{ср}})^2/n]^{0,5}$ ;
- коэффициент вариации, % -  $V_{x_i} = (S_{x_i}/X_{\text{ср}})100\%$  и  $V_{y_i} = (S_{y_i}/Y_{\text{ср}})100\%$ ;
- медиана выборки ( $med$ ) – срединное значение случайной величины между минимальным и максимальным ее значениями -  $med (X_i, Y_i) = [(X_i, Y_i)_{\max} - (X_i, Y_i)_{\min}]/2$ ; медиана в большинстве случаев не совпадает со средним значением выборки;
- мода выборки ( $mod$ ) – наиболее часто встречающееся значение случайной величины (определяется анализом случайной выборки или по гистограмме).

Построить гистограммы случайных величин (графическое распределение случайной величины) и сравнить их с теоретическими распределениями.

Для конкретной случайной величины ( $X_i, Y_i$ ) ее распределение в выборке определяется построением гистограммы. Алгоритм этого построения заключается в следующем:

- на оси ординат откладывается частота ( $n_i$ ) или частость ( $n_i/n$ ) – количество значений случайной величины, попадающих в определенный интервал значений; на оси абсцисс откладывается несколько интервалов внутри размаха случайной величины, число этих интервалов определяется статистически, в большинстве случаев это число составляет 10 интервалов;

- при этом проверочными критериями правильности построения гистограммы является выполнения условий  $\sum n_i = n$  или  $\sum(n_i/n) = 1$ .

#### АКР 2. Корреляционный анализ выборки

Расчитать при помощи программного продукта Excel (нажать на клавишу  $f_x$ , выбрать в позиции «статистика» функцию «коррел», указать координаты соответствующих пар случайных величин, получить значения парных коэффициентов корреляции) попарные коэффициенты корреляции между независимыми случайными величинами –  $r_{x_i, x_{i+1}}$  и между зависимыми ( $Y_i$ ) и независимыми ( $X_i$ ) переменными –  $r_{y_i, x_i}$ ; определить их значимость путем сравнения с табличными, критическими значениями коэффициента корреляции.

Ниже представлена таблица с критическими значениями коэффициента корреляции в зависимости от объема выборки ( $n$ ) и уровня значимости ( $\alpha$ );  $\alpha = 1 - p$ , где  $p$  – вероятность события.

Критические значения коэффициента корреляции

Объем выборки, n	Уровень значимости, $\alpha$				
	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,98769	0,99692	0,999507	0,999877	0,999988
2	0,90000	0,95000	0,98000	0,99000	0,99900
3	0,8054	0,8783	0,93433	0,95873	0,99116
4	0,7293	0,8114	0,8822	0,9172	0,97406
5	0,6694	0,7545	0,8329	0,8745	0,95074
6	0,6215	0,7067	0,7887	0,8343	0,92493
7	0,5822	0,6664	0,7498	0,7977	0,8982
8	0,5494	0,6319	0,7155	0,7646	0,8721
9	0,4973	0,5760	0,6581	0,7348	0,8233
10	0,4973	0,5760	0,6581	0,7079	0,8233
11	0,4762	0,5529	0,6339	0,6835	0,8010
12	0,4575	0,5324	0,6120	0,6614	0,7800
13	0,4409	0,5139	0,5923	0,6411	0,7603
14	0,4259	0,4973	0,5742	0,6226	0,7420
15	0,4124	0,4821	0,5577	0,6055	0,7246
16	0,4000	0,4683	0,5425	0,5897	0,7084
17	0,3887	0,4555	0,5285	0,5751	0,6932
18	0,3783	0,4483	0,5155	0,5614	0,6787
19	0,3687	0,4329	0,5034	0,5487	0,6652
20	0,3598	0,4227	0,4921	0,5368	0,6524
25	0,3233	0,3809	0,4451	0,4869	0,5974
30	0,2960	0,3494	0,4093	0,4487	0,5541
35	0,2746	0,3246	0,3810	0,4182	0,5189
40	0,2573	0,3044	0,3578	0,3932	0,4896
45	0,2428	0,2875	0,3384	0,3721	0,4648
50	0,2306	0,2732	0,3218	0,3541	0,4433
60	0,2108	0,2500	0,2948	0,3248	0,4078
70	0,1954	0,2319	0,2737	0,3017	0,3799
80	0,1829	0,2172	0,2565	0,2830	0,3568
90	0,1726	0,2050	0,2422	0,2673	0,3375
100	0,1638	0,1946	0,2301	0,2540	0,3211

В Excel заложены формулы для расчета попарного коэффициента корреляции:

$$- r_{x_i, x_{i+1}} = \frac{\sum (x_i - x_{icp})(x_{i+1} - x_{(i+1)cp})}{n S_{x_i} S_{x_{i+1}}}$$

$$- r_{y_i, x_i} = \frac{\sum (x_i - x_{icp})(y_i - y_{cp})}{n S_{x_i} S_{y_i}}$$

Значимость коэффициента парной корреляции определяется сравнением фактического значения коэффициента корреляции с табличным значением: если

фактическое значение больше табличного, то существует между неизвестными значимая статистическая связь, в противном случае таковая связь отсутствует.

АКР 3. Отсеить незначимые фактор анализируемой выборки. Определить статистически значимые связи между зависимыми и независимыми переменными и вида регрессионной зависимости, а также между независимыми переменными.

В первую очередь строится корреляционная матрица – симметричная относительно диагонали (аналогично таблице спортивного соревновательного командного или личного чемпионата) – образец приводится ниже.

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>
X <sub>1</sub>	1	r <sub>x1,x2</sub>	r <sub>x1,x3</sub>	r <sub>x1,x4</sub>	r <sub>x1,x5</sub>	r <sub>y1,x1</sub>	r <sub>y2,x1</sub>	r <sub>y3,x1</sub>	r <sub>y4,x1</sub>
X <sub>2</sub>		1	r <sub>x2,x3</sub>	r <sub>x2,x4</sub>	r <sub>x2,x5</sub>	r <sub>y1,x2</sub>	r <sub>y2,x2</sub>	r <sub>y3,x2</sub>	r <sub>y4,x2</sub>
X <sub>3</sub>			1	r <sub>x3,x4</sub>	r <sub>x3,x5</sub>	r <sub>y1,x3</sub>	r <sub>y2,x3</sub>	r <sub>y3,x3</sub>	r <sub>y4,x3</sub>
X <sub>4</sub>				1	r <sub>x4,x5</sub>	r <sub>y1,x4</sub>	r <sub>y2,x4</sub>	r <sub>y3,x4</sub>	r <sub>y4,x4</sub>
X <sub>5</sub>					1	r <sub>y1,x5</sub>	r <sub>y2,x5</sub>	r <sub>y3,x5</sub>	r <sub>y4,x5</sub>
Y <sub>1</sub>						1	r <sub>y1,y2</sub>	r <sub>y1,y3</sub>	r <sub>y1,y4</sub>
Y <sub>2</sub>							1	r <sub>y2,y3</sub>	r <sub>y2,y4</sub>
Y <sub>3</sub>								1	r <sub>y3,y4</sub>
Y <sub>4</sub>									1

Затем значения коэффициентов парных корреляций отмечаются знаком (+), если этот коэффициент корреляции статистически значим, и знаком (-), если коэффициент корреляции незначим. Для отсеивания независимых переменных (X-ов) проводится (один из методов) следующая процедура: из общей корреляционной матрицы выделяется участок с X<sub>i</sub> и в ячейках проставляется соответственно (+) или (-).

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	Кол-во значимых корреляций
X <sub>1</sub>	1	+	-	+	-	2-1-0
X <sub>2</sub>	+	1	-	-	+	2
X <sub>3</sub>	-	-	1	+	-	1-0
X <sub>4</sub>	+	-	+	1	+	3
X <sub>5</sub>	-	+	-	+	1	2-1-0

Таким образом, после двух итераций остались 3 X-а - X<sub>1</sub>, X<sub>3</sub>, и X<sub>5</sub>.

Для выбора значимых зависимостей (по коэффициенту корреляции) между Y-ми и X-ми, чтобы построить регрессионные уравнения связи, необходимо проанализировать еще одну часть корреляционной матрицы:

	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Значимые корреляции X <sub>i</sub> с Y <sub>i</sub>
X <sub>1</sub>	r <sub>y1,x1</sub> /+	r <sub>y2,x1</sub> /-	r <sub>y3,x1</sub> /+	r <sub>y4,x1</sub> /-	X <sub>1</sub> с Y <sub>1</sub> и Y <sub>3</sub>
X <sub>2</sub>	r <sub>x1,x2</sub> /-	r <sub>x1,x2</sub> /-	r <sub>x1,x2</sub> /-	r <sub>x1,x2</sub> /-	X <sub>2</sub> – нет корреляций с Y <sub>i</sub>
X <sub>3</sub>	r <sub>x1,x3</sub> /-	r <sub>x1,x3</sub> /-	r <sub>x1,x3</sub> /-	r <sub>x1,x3</sub> /+	X <sub>3</sub> с Y <sub>4</sub>
X <sub>4</sub>	r <sub>x1,x4</sub> /+	r <sub>x1,x4</sub> /+	r <sub>x1,x4</sub> /+	r <sub>x1,x4</sub> /-	X <sub>4</sub> с Y <sub>1</sub> , Y <sub>2</sub> , Y <sub>3</sub>
X <sub>5</sub>	r <sub>x1,x5</sub> /-	r <sub>x1,x5</sub> /-	r <sub>x1,x5</sub> /-	r <sub>x1,x5</sub> /+	X <sub>5</sub> с Y <sub>4</sub>
Знач. коррел. Y <sub>i</sub> с X <sub>i</sub>	Y <sub>1</sub> с X <sub>1</sub> , X <sub>4</sub>	Y <sub>2</sub> с X <sub>4</sub>	Y <sub>3</sub> с X <sub>1</sub> , X <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub> с X <sub>3</sub> , X <sub>5</sub>	

На основании значимых коэффициентов корреляции между Y<sub>i</sub> и X<sub>i</sub> определяется, что необходимо получить регрессионные уравнения следующих видов и с учетом отсеивания X-ов:

$$Y_1 = a_0 + a_1X_1 + a_4X_4;$$

$$Y_2 = a_0 + a_4X_4;$$

$$Y_3 = a_0 + a_1X_1 + a_4X_4;$$

$$Y_4 = a_0 + a_3X_3 + a_5X_5;$$

АКР 4. При помощи применения регрессионного анализа рассчитать коэффициенты регрессионного уравнения.

В АКР 3 определены виды регрессионных зависимостей, которые необходимо получить для оценивания, прогноза и управления технологическими процессами. Для расчета коэффициентов уравнений  $a_0$ ,  $a_i$  применяется расчетный метод наименьших квадратов (МНК) с использованием исходной выборки случайных величин. МНК предполагает поиск экстремального (минимального) значения функционала суммы разности в квадрате между фактическими и расчетными значениями функции отклика:

$F = \sum (y_{\text{факт.}} - y_{\text{расч.}})^2 \rightarrow \min (0)$ . В уравнение подставляются построчно фактические значения  $y_{\text{факт.}}$  и  $y_{\text{расч.}}$  в виде уравнения, полученного в АКР 3. Для решения указанного функционала необходимо получить систему уравнений в частных производных и каждое из уравнений приравнять к нулю. Таким образом, получатся значения свободного члена уравнения  $a_0$  и коэффициенты при независимых переменных  $a_i = a_{xi}$ . Для оперативного решения МНК применяется программное обеспечение Excel ( $f_x \rightarrow$  линейн). В подпрограмме «линейн» указываются координаты  $y_i$  и  $x_i$ , затем набираются позиции «ИСТИНА» и затем Shift+Ctrl+Enter. В предварительно выделенное поле программно помещаются результаты расчета – коэффициенты  $a_0$ ,  $a_i = a_{xi}$  (первая строка), коэффициент детерминации  $R^2$  (3-я строка, 1-й столбец), критерий Фишера F (4-ая строка, 1-ый столбец).

АКР 5. Провести корректировку точности уравнения регрессии в течении времени.

Согласно требованиям ОСТ 14-34-90 «Статистический приемочный контроль качества металлопродукции по корреляционной связи между параметрами» возможно использование регрессионных зависимостей параметров качества (временное сопротивление разрыву, относительное сужение и т.п.) от факторов (химический состав стали, технологические параметры процесса) для прогнозирования свойств без осуществления разрушающих испытаний. Для проверки точности модели при этом набирается контрольный массив данных, состоящих из результатов разрушающих испытаний одной десятой плавов/партий такой продукции. При наборе не менее 50 плавов или один раз в квартал проводится проверка точности применяемой математической регрессии. Методика проверки заключается в следующем. Набирается массив разностей между фактическими данными контрольной выборки и расчетными значениями по регрессионному уравнению ( $y_{\text{факт.}} - y_{\text{расч.}}$ ), рассчитывается среднее значение этих отклонений и сравнивается со статистическим критерием (стандартным отклонением параметра качества -  $S_{y_i}$ ). Если среднее отклонение менее статистического параметра, то уравнение признаётся адекватным реальным условиям. В противном случае проводится корректировка уравнения путем изменения значения его свободного члена:  $a_{01} = a_0 -/+ \sum (y_{\text{факт.}} - y_{\text{расч.}})/n$ , где  $n$  – объем контрольной выборки, знак  $-/+$  показывает, что, если среднее отклонения  $\Delta y_i$  имеет знак  $+/-$ , то корректировка значения  $a_0$  будет соответственно  $-/+ \Delta y_i$ .

АКР 6. Построить матрицу полного факторного эксперимента типа  $2^n \rightarrow 2^2$  и  $2^3$ .

В основании степенной зависимости представлено количество уровней варьирования факторов. Имеется два варианта уровней: 2 - минимальное и максимальное значения и 3 – минимальное, максимальное и среднее значения факторов. В показателе степенной зависимости представлено количество факторов. При составлении матрицы планирования эксперимента необходимо учитывать четыре свойства существования уровней факторов: симметричность, ортогональность, ротатабельность, условие нормировки.

Определить коэффициенты уравнения по известному алгоритму:  $a_i = (\sum x_i y_i)/n$ ,  $a_0 = \sum y_i/n$ .

АКР 7. Построить все возможные варианты матрицы дробного эксперимента типа  $2^{3-1}$ ,  $2^{5-2}$ . Определить коэффициенты уравнения по известному алгоритму:  $a_i = (\sum x_i y_i)/n$ ,  $a_0 = \sum y_i/n$ .

АКР 8. Рассчитать коэффициент конкордации (коэффициент согласия) при экспертной оценке влияния факторов на функцию отклика (параметр оптимизации) по следующей зависимости:  $W = 12S/[m^2(n^3-n)]$ , где  $S$  – сумма квадратов отклонений от среднего значения оценки экспертов,  $m$  – число экспертов,  $n$  – число факторов.

АКР 9. Найти экстремальное значение параметра оптимизации в области определения функции двух и многофакторных уравнений (метод крутого восхождения Бокса-Уилсона) с применением итерационного пошагового метода в направлении градиента.

*Методические рекомендации для подготовки к семинару - практическим занятиям*

Семинар - вид групповых занятий по какой-либо научной, учебной и другой проблематике, активное обсуждение участниками заранее подготовленных сообщений, докладов и т.п. С тематикой семинаров студенты знакомятся заранее. Алгоритм подготовки к семинару следующий: выбрав тему, студент составляет свой план-график подготовки к семинару. Для приобретения широкого видения проблемы студент старается осмыслить ее в общем объеме; познакомиться с темой по базовому учебному пособию или другой основной рекомендуемой литературе; выявить основные идеи, раскрывающие данную проблему; сверить их определения со справочниками, энциклопедией; подготовить план-конспект раскрытия данной проблемы; выявить неясные вопросы и подобрать дополнительную литературу для их освещения; составить тезисы выступления на отдельных листах для последующего внесения дополнений и подготовить доклад или реферат для сообщения на семинаре; проанализировать собранный материал для дополнительной информации по темам семинара; готовясь к выступлению на семинаре, по возможности проконсультироваться с преподавателем; относиться к собранному материалу, как к источнику будущих исследований.

Семинарские занятия расширяют и закрепляют знания, заложенные в теории предмета. На них выносятся вопросы, особенно необходимые для практики, или проблемные вопросы, которые возможно решить только в процессе сотрудничества. Среди обязательных требований к семинару - предварительное ознакомление с темой, вопросами и литературой по данной теме.

Современная практика предлагает широкий круг типов семинарских занятий. Среди них особое место занимает семинар-дискуссия, где в диалоге хорошо усваивается новая информация, видны убеждения студента; обсуждаются противоречия (явные и скрытые) и недостатки; для обсуждения берутся конкретные актуальные вопросы, с которыми студенты предварительно ознакомлены. Также в семинар включаются вопросы для интеллектуальной разминки (иногда это дискуссионная статья, по которой ставятся проблемные вопросы); дискуссия может разворачиваться заочно как круговой семинар. Далее подводятся итоги дискуссии, заслушиваются и защищаются проектные задания. После этого проходит "мозговой штурм" по нерешенным проблемам дискуссии, а также выявляются прикладные аспекты, которые можно рекомендовать для включения в курсовые и дипломные работы или в апробацию на практике. На сессии преподаватель обобщает результаты проделанной студентом работы.

Семинары-дискуссии проводятся с целью выявления мнения студентов по актуальным вопросам изучаемого предмета.

Семинар-исследование предполагает предварительную работу - написание реферата, доклада по итогам опытной работы. Участие в нем - это, прежде всего, диалог студента с преподавателем. Результаты обсуждаются на семинаре с наглядным показом исследовательского материала (схемы, таблицы, графики, диагностические методики). Частично материал может быть включен в ВКР. При подготовке к семинару-исследованию студент изучает результаты теоретических исследований, составляет библиографию по теме, учится писать обзоры по технической задаче-проблеме.

Проблемный семинар готовится преподавателем достаточно основательно: подбираются проблемные и контрольно-проверочные вопросы. Такой семинар возможен



только после прохождения темы. К нему студенты готовятся по литературным источникам: монографии, справочники, словари, журналы. К проблемному семинару просматривается литература в рамках различных исследовательских школ (например "Традиционные и нетрадиционные подходы к проблеме").

Наибольшую эффективность приносят семинары, проводимые в форме коллективной познавательной деятельности, имеющей определенные особенности, а именно:

- разделение студентов на группы по их желанию (с обязательным участием студента с устойчивым интересом к данному предмету);
- постановка общих целей и задач для группы;
- работа в последовательности - индивидуальная, парная (чаще всего перекрестный опрос), работа в группе, коллективная;
- обязательное предварительное ограничение по времени каждого этапа занятий;
- экспертный анализ с расчетом коэффициента конкордации;
- оценка работы группы преподавателем;
- проведение самооценки.

#### Примерный перечень тем рефератов в виде индивидуальных домашних задач (ИДЗ)

ИДЗ № 1. Понятия математической статистики. Виды экспериментов. Контрольные карты. Планы экспериментов

1. Основные понятия из теории вероятности и математической статистики (генеральная совокупность, выборка случайных величин, характеристики выборки).

2. Понятие о видах планирования математического и физического экспериментов, принципах геометрического и физического подобия объектов управления.

3. Текущий контроль продукции.

4. Принципы выбора контролируемых параметров и их уровня в стандартах на металлургическую продукцию.

5. Статистическое обоснование объема выборки при контроле у поставщика и потребителя.

6. Контрольные карты.

7. Общая схема управления технологическим объектом с адаптивным блоком

8. Теоретический подход, математическое моделирование условий эксперимента, физический эксперимент.

9. Условия подобия физического объекта и материальной копии.

10. Выбор наиболее эффективной схемы эксперимента.

11. Составление плана проведения экспериментов разных уровней (опытный, лабораторный, полупромышленный, промышленный, изготовление опытно-промышленной партии).

ИДЗ № 2. Коэффициент конкордации. Правила планируемого эксперимента

1. Виды параметров оптимизации, обобщенный параметр оптимизации, функция желательности.

2. Выбор типа математической полиномиальной или иной модели.

3. Правила построения планов – дробных реплик.

4. Риски при использовании планов с дробными репликами – влияние на точность прогнозирования функции отклика.

5. Типы планов эксперимента – дву- и трех факторные планы типа  $N = m^n$  ( $N$  – необходимое количество опытов,  $m$  – количество уровней варьирования случайных факторов,  $n$  – количество факторов).

6. Коэффициент конкордации (коэффициент согласия) при экспертной оценке влияния факторов на функцию отклика (параметр оптимизации).

7. Основные свойства матрицы математически планируемого эксперимента (ортогональность, рототабельность, симметричность, нормировка экспериментальной матрицы).

8. Методика расчета коэффициентов эмпирического уравнения по данным проведенного планируемого эксперимента.
9. Связь эффекта фактора с коэффициентами уравнения.
10. Критерии оптимальности планов эксперимента.
11. Введение в решение по поиску оптимального экстремального значения параметра оптимизации в области определения функции двух и многофакторных уравнений (метод крутого восхождения Бокса-Уилсона и др.).

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

**а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:**

Структурный элемент	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ОПК-4 - Способен проводить измерения и наблюдения в сфере профессиональной деятельности, обрабатывать и представлять экспериментальные данные		
ОПК-4.1	Выбирает и применяет методы и средства измерения для определения свойств материалов и изделий из них	<p>Теоретические вопросы (ИДЗ № 1, 2)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сведения из теории вероятности и математической статистики (генеральная совокупность, выборка случайных величин, характеристики выборки).</li> <li>2. Виды планирования математического и физического экспериментов, принципы геометрического и физического подобия объектов управления.</li> <li>3. Порядок проведения текущего контроля продукции.</li> <li>4. Принципы выбора контролируемых параметров и их уровня в стандартах на металлургическую продукцию.</li> <li>5. Статистическое обоснование объема выборки при контроле у поставщика и потребителя.</li> <li>6. Методы построения контрольных карт.</li> <li>7. Общую схему управления технологическим объектом с адаптивным блоком.</li> <li>8. Теоретический подход, математическое моделирование условий эксперимента, физический эксперимент.</li> <li>9. Условия подобия физического</li> </ol>

ОПК-4.2	Проводит экспериментальные исследования и использует основные приемы обработки и представления полученных данных	<p>Решить задачу из профессиональной области: (АКР № 1-9)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проводить корреляционный и регрессионный анализы, рассчитывать коэффициенты регрессионного уравнения методом МНК</li> <li>2. Находить экстремальное значение параметра оптимизации в области определения функции с применением итерационного пошагового метода в направлении градиента.</li> <li>3. Строить варианты матрицы дробного эксперимента типа <math>2^{3-1}</math>, <math>2^{5-2}</math>; определять коэффициенты уравнения по известному алгоритму: <math>a_i = (\sum x_i y_i) / n</math>, <math>a_0 = \sum y_i / n</math>.</li> <li>4. Строить матрицу полного факторного эксперимента типа <math>2^n \rightarrow 2^2</math> и <math>2^3</math>; определять коэффициенты уравнения по известному алгоритму: <math>a_i = (\sum x_i y_i) / n</math>, <math>a_0 = \sum y_i / n</math>.</li> <li>5. Проводить корректировку точности уравнения регрессии в течении времени по массиву разностей между фактическими данными контрольной выборки и расчетными значениями по регрессионному уравнению (<math>u_{\text{факт.}} - u_{\text{расч.}}</math>). Если среднее отклонение менее статистического параметра - стандартного отклонения <math>S</math>, то уравнение признаётся адекватным. В противном случае проводится корректировка уравнения путем изменения значения его свободного члена: <math>a_{01} = a_0 -/+ \sum (u_{\text{факт.}} - u_{\text{расч.}}) / n</math>, где <math>n</math> – объем контрольной выборки, знак <math>-/+</math> показывает, что, если среднее отклонения <math>\Delta u_i</math> имеет знак <math>+/-</math>, то корректировка значения <math>a_0</math> будет соответственно <math>-/+ \Delta u_i</math>.</li> <li>6. Рассчитывать коэффициенты регрессионного уравнения (по выборке, предложенной преподавателем) после проведения корреляционного анализа, отсеивания незначимых факторов и определения связи зави-</li> </ol>
---------	--	---

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

**Промежуточная аттестация по дисциплине «Планирование эксперимента»** проводится в виде **зачета**. Зачет проставляется после оценки знаний обучающихся по результатам защиты выполненных лабораторных работ и контрольных работ, включающих теоретические вопросы и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений.

**Показатели и критерии оценивания зачета:**

Для получения оценки

– **«зачтено»** – обучающийся должен показать знания не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам, оценки и вынесения критических суждений;

– **«не зачтено»** – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.