

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Владимирский государственный университет**  
**имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
**(ВлГУ)**

Кафедра технологии функциональных и конструкционных материалов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**к выполнению практических и самостоятельных работ**  
**по дисциплине**  
**«Основы инженерного и научного эксперимента»**  
**для направления подготовки**  
**22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»**  
**(уровень бакалавриат)**

Составитель:  
А.М. Рабинович

Владимир 2019

УДК 65.012.122

Рецензент  
главный технолог ООО «Казанское литейно-инновационное  
объединение» Е.В. Бельмисова

Рекомендуется к изданию по решению кафедры ТФиКМ  
(протокол № 3 от 15.11.2019 г.)

Рассмотрены и одобрены на заседании УМК направления 22.03.01  
«Материаловедение и технологии материалов» (уровень бакалавриата)

Протокол № 3 от 15.11.2019 г.

Электронный фонд кафедры ТФ и КМ ВлГУ

Методические указания к выполнению практических и самостоятельных работ (СР и СРП) по дисциплине «Основы инженерного и научного эксперимента» для направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» (уровень бакалавриат)/ Сост.: А. М. Рабинович. Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир, 2019 – с.

Методические указания ориентированы на электронный просмотр с использованием программы PowerPoint, входящей в пакет MsOffice. Содержат: задания из практики металлургического производства, вопросы для самоконтроля, ссылки на разделы основной литературы с необходимым минимумом знаний для выполнения заданий и краткий конспект, с подробным разбором решений поставленных заданий, в виде соответствующих презентаций.

Составлены по дисциплине «Основы инженерного и научного эксперимента» для направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» по программе подготовки: академический бакалавриат.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью освоения дисциплины «Основы инженерного и научного эксперимента» по ОПОП направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» является формирование у студентов знаний и компетенций в области планирования и организации научного и инженерного эксперимента, а также приобретение навыков обработки и анализа полученных экспериментальных данных.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО:

— способностью использовать в профессиональной деятельности знания о подходах и методах получения результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях (ОПК-2);

— способность сочетать теорию и практику для решения инженерных задач (ОПК-4);

— способностью использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации (ПК-4);

— способностью выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов (ПК-7);

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

### **Знать:**

— основы современных методологических подходов к постановке и обработке результатов научных и инженерных экспериментов в области материаловедения (ОПК-2);

— сущность математических методов, применяемых при планировании и оптимизации эксперимента (ОПК-2, 4; ПК-4).

### **Уметь:**

— составлять планы промышленного эксперимента в условиях действующего производства (ОПК-2, 4; ПК-4, 7);

— анализировать многомерные массивы данных производственного контроля (ОПК-4, ПК-4);

— решать вопросы организации и проведения пассивных и активных экспериментов при исследованиях материалов (ПК-7);

— правильно сориентироваться в выборе многообразных компьютерных прикладных программ и правильно понимать область применения ста-

тистических методов решения того или иного класса задач (ОПК-2, 4; ПК-4, 7);

— анализировать и делать выводы по научным и техническим проблемам, возникающим в процессе эксперимента (ОПК-4, ПК-7).

**Владеть:**

— принципами разработки моделей и методик исследования процессов и материалов путём планирования эксперимента (ПК-7);

— навыками формирования и аргументации собственных суждений и научной позиции при толковании результатов математического планирования (ОПК-2).

### **Методические указания к практическим занятиям**

Практические занятия по дисциплине состоят из трёх составляющих: самих практических работ (ПР) и самостоятельной работы (СР) студентов без преподавателя и (СРП) под наблюдением преподавателя.

Цель в целом практических занятий – приобрести профессиональные знания, умения, навыки, сформировать ранее изложенные компетенции дисциплины в результате активной творческой работы в процессе выполнения ПР, СР и СРП.

СР студентов является важнейшим компонентом образовательного процесса, развивающим их способности к самообучению и повышению своего профессионального уровня. Она направлена на закрепление и углубление освоения учебного материала; обучает студента критически анализировать полученные знания; аргументировано отстаивать свои предложения.

СРП – главная направляющая сила самостоятельного процесса быстрого приобретения новых знаний, использования современных образовательных технологий, обобщений, а также оформления, представления и изложения результатов ПР.

При выполнении семестрового плана практических и самостоятельных работ студенту рекомендуется: найти соответствующий учебный материал по данному разделу, проработать раздел, используя рекомендованную литературу, сформулировать наиболее трудные для понимания вопросы раздела и рассмотреть их в процессе СРП, составить краткий отчёт по проделанной работе. Контроль самостоятельной работы студентов производится во время защиты ПР и в процессе выполнения заданий каждого из рейтинга, а также сдачи зачета по дисциплине в целом.

Отчёты по ПР – обобщающий результат выполнения заданий самих практических работ, а также результат их проработки при СРП и СР отдельно по каждой тематике индивидуально. Отчёты сдаются в виде файла

Excel, либо на бумажном носителе, с пояснениями расчётных формул, алгоритма решения заданий и служат основанием для получения промежуточной аттестации по дисциплине.

## 1. Содержание практических занятий по дисциплине

**Раздел (модуль) 1. Эксперимент как предмет исследования. Краткие сведения из теории вероятностей и математической статистики (2 часа ПР, 10 часов СР).**



Презентация 1 для  
СР.ppsx

### Методические указания к изучению раздела

**СР** – литература: [1] стр. 8 – 35; 66 – 74, 80 – 102; презентация 1 для СР.

**Работа 1. Введение. Цель и задачи курса. Понятие эксперимента.**



ПР1.ppsx

Классификация видов экспериментальных исследований. Случайные величины и параметры их распределений. Нормальный закон распределения. Статистические гипотезы.

**Задание 1.1.** Проводятся измерения одной и той же физической величины (температуры, давления, состава газа и т.п.). Первым (старым) измерительным прибором выполнено 200 измерений, которые дали выборочную дисперсию  $S_1^2 = 3,82$ , а вторым (новым) сделано только 15 измерений при выборочной дисперсии  $S_2^2 = 2,00$ . **Можно ли считать, что разброс в показаниях нового прибора существенно ниже, чем у старого?**

**Задание 1.2.** Шестью ( $k = 6$ ) приборами произведено по семь измерений ( $n = 7$ ) одного и того же параметра, при этом получены следующие выборочные дисперсии  $S_i^2$ : **3,82; 1,7; 1,3; 0,92; 0,78; 0,81**. **Можно ли считать, что разброс показаний первого прибора ( $S^2_{max}=3,82$ ) существенно превышает разбросы показаний остальных пяти приборов?**

**Задание 1.3.** При проверке Ph-метра с помощью эталонного раствора, имеющего Ph=9,0, получены следующие результаты: 8,7; 9,2; 9,1; 9,0; 9,4; 9,6; 9,7; 8,9; 8,8; 8,7; 9,8; 9,3; 9,8; 8,8, т.е.  $n = 14$ . **Обладает ли Ph-метр систематической погрешностью?**

**Задание 1.4.** Проведены испытания механической прочности проб окатышей при использовании старой и двух новых технологий их обжига. Холодная прочность окатышей обычно оценивается при испытании на раздавливание (кН/окатыш). Обычно прочность определяют по результатам раздавливания не менее 20 окатышей размером 12-15 мм. Для изучения процедуры проверки гипотез о числовых значениях математических ожиданий будем предполагать, что имелась возможность исследовать все-

го по 8 окатышей для каждой из технологий. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

**А). Можно ли по полученным данным сделать вывод, что новая технология по варианту 1 позволяет повысить прочность окатышей?**

Таблица 1.

*Результаты испытаний прочности окатышей, изготовленных по разным технологиям, кН/окатыш*

Номер окатыша	Старая технология $x_{0i}$	Новая технология, вариант 1 $x_{1i}$	Новая технология, вариант 2 $x_{2i}$
1	2,11	2,21	2,21
2	2,12	2,26	2,22
3	1,97	2,19	2,08
4	2,10	2,21	2,19
5	2,17	2,27	2,24
6	2,12	2,24	2,21
7	1,93	2,14	2,06
8	2,28	2,32	2,31

**Б.) Есть ли какое-либо значимое различие между двумя новыми технологиями обжига (по варианту 1 и 2) с точки зрения повышения механической прочности окатышей?**

Переформулируем условия задания 2.11. таким образом, чтобы как по варианту 1, так и по варианту 2 были приведены данные для одной и той же новой технологии, полученные дважды на одних и тех же партиях окатышей, но измерения прочности выполнены по двум различным методикам.

**В). Можно ли сказать, что результаты измерения прочности, полученные для новой технологии по различным методикам на одних и тех же партиях окатышей, не имеют значимого различия?**

**Раздел (модуль) 2. Предварительная обработка и анализ экспериментальных данных. Эмпирические зависимости.**



Презентация 2 для  
СР.ppsx

(6 часов ПР, 8 часов СПР, 24 часа СР)

### **Методические указания к изучению раздела**

**СПП** – 4 часа. «Использование методов математической статистики в решении вопросов о соответствии произведенной продукции определенным требованиям, выявление преимуществ того или иного технологического процесса или нового материала» – **обсуждение, проверка, доработка с преподавателем Задания 1.4., предварительная защита Заданий 1.1 – 1.3.**

**СР** – литература: [1] стр. 216 – 221, Раздел 3; [2]; презентация 2 – 3 для СР.

**Работа 2. (2 часа ПР).** Отсев грубых погрешностей. Сравнение двух



ПР2.ppsx

рядов наблюдений. Критерии согласия. Проверка гипотез о виде функции распределения. Преобразование распределений к нормальному.

**Задание 2.** В таблице приведено содержание кремния в чугуна при выплавке передельного чугуна в доменной печи. Всего было отобрано 50 проб.

Требуется оценить, подчиняется ли содержание кремния в пробах нормальному закону распределения? Если да, определить медиану, моду, среднее, выборочную дисперсию, доверительный интервал для математического ожидания, среднее квадратичное отклонение. Для вычислений воспользоваться статистическими функциями из электронной таблицы Microsoft Excel.

*Содержание кремния в чугуна по результатам отбора 50 проб.*

Номер пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
[Si],%	0,32	0,35	0,45	0,43	0,41	0,51	0,52	0,53	0,57	0,58
Номер пробы	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
[Si],%	0,59	0,56	0,56	0,58	0,54	0,57	0,61	0,62	0,63	0,64
Номер пробы	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
[Si],%	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,61	0,65	0,62	0,63	0,67
Номер пробы	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
[Si],%	0,65	0,62	0,68	0,71	0,72	0,78	0,75	0,72	0,79	0,72
Номер пробы	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
[Si],%	0,73	0,72	0,79	0,73	0,84	0,82	0,87	0,90	0,95	0,93

**СРП** – 2 часа. «Проверка гипотез о виде функции распределения по заданию преподавателя» – *обсуждение, проверка, доработка с преподавателем и предварительная защита Задания 2.*

**Работа 3. (2 часа ПР).** Основы дисперсионного анализа.



ПР3.ppsx

Однофакторный дисперсионный анализ. Коэффициент детерминации. Реализация дисперсионного анализа в пакете Excel.



Пояснения к

ПР3.pdf

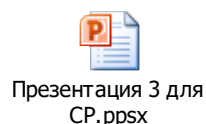
**Задание 3.** Изготовлено четыре партии электронных ламп, причем для каждой партии ламп менялась исходная партия вольфрамовой проволоки. После повторных контрольных испытаний выяснилось, что среднее значение срока службы каждой партии ламп различ-

Номера повторных опытов	Срок службы ламп, тыс. ч			
	партия 1	партия 2	партия 3	партия 4
1	1,60	1,58	1,46	1,51
2	1,61	1,64	1,55	1,52
3	1,65	1,64	1,60	1,53
4	1,68	1,70	1,62	1,67
5	1,70	1,75	1,64	1,60
6	1,72	—	1,66	1,68
7	1,80	—	1,74	—
8	—	—	1,82	—

но. За исключением изменений в исходной проволоке, все прочие условия производства ламп не изменялись.

**Требуется выяснить, с чем связана изменчивость среднего значения срока службы ламп: со случайными неучтенными причинами, или с разным качеством исходной проволоки.**

**СРП** – 2 часа. «Дисперсионный анализ и его реализация в пакете Excel по заданию преподавателя» – **обсуждение, проверка, доработка с преподавателем и предварительная защита Задания 3.**

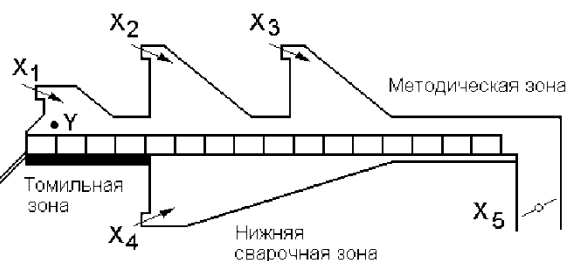


**Работа 4. (2 часа ПР).** Характеристика видов связей между рядами наблюдений. Определение коэффициентов уравнения регрессии. Определение тесноты связи между случайными величинами. Линейная регрессия от одного фактора. Регрессионный анализ.



**Задание 4.** Дано. На основе априорной информации выявлены следующие факторы, влияющие на величину давления в томильной зоне печи:

- $X_1$  — расход газа в томильной зоне, м<sup>3</sup>/ч;
- $X_2$  — расход газа во второй сварочной зоне, м<sup>3</sup>/ч;
- $X_3$  — расход газа в первой сварочной зоне, м<sup>3</sup>/ч;
- $X_4$  — расход газа в нижней сварочной зоне, м<sup>3</sup>/ч;
- $X_5$  — положение дымового клапана, % хода исполнительного механизма.



Положение факторов ( $X_1, \dots, X_5$ ) и отклика ( $Y$ ) при проведении исследования на методической печи приведены на рисунке, уровни варьирования факторами в таблице.

Уровни факторов	Факторы				
	$X_1,$ м <sup>3</sup> /ч	$X_2,$ м <sup>3</sup> /ч	$X_3,$ м <sup>3</sup> /ч	$X_4,$ м <sup>3</sup> /ч	$X_5,$ % хода ИМ
Основной (нулевой)	5250	3900	2650	1100	74
Нижний	4000	3100	1750	700	50
Верхний	6500	4700	3500	1500	98
Интервал варьирования	1250	800	900	400	24

**Построить математическую модель гидравлического режима четырехзонной методической печи с использованием ДФЭ типа  $2^{5-2}$  ( $x_4=x_1x_2$ ,  $x_5=x_1x_2x_3$ ), если были получены следующие результаты восьми опытов.**

факторы	max ●							min
$Y_1$	-2,5	2,2	5,1	-1,1	2,1	-2,0	0,0	4,2
$Y_2$	-2,6	2,3	4,7	0,5	2,3	-2,4	0,8	5,1



**Проанализировать влияние факторов на основании полученной модели и выдать свои рекомендации.**

**СРП** – 2 часа. «Изучение методики проведения дробного факторного эксперимента (ДФЭ) первого порядка с двухуровневым варьированием факторов» – **обсуждение, проверка, доработка с преподавателем Задания 4.**



Презентация 4 для СРП.ppsx

**Раздел (модуль) 5. Методы планирования экспериментов. Логические основы (2 часов ПР, 2 часов СР, 18 часа СР).**



Презентация 5 для СР.ppsx

**Методические указания к изучению раздела**

**СР** – презентация 5 для СР.

**Работа 5. (2 часа ПР).** Основные определения и понятия. Пример хорошего и плохого эксперимента. Планирование первого порядка. Планы второго порядка. Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий.



ПР5.ppsx

**Задание 5.** По результатам ультразвуковой дефектоскопии было установлено, что на пораженность листов расслоениями (которая количественно может быть выражена в относительных единицах по площади расслоений, отнесенной к площади всего раската -  $Y$ , %) наиболее существенно влияют такие два фактора, как скорость выгорания углерода в период рудного кипения -  $x_1$ , %/ч, и время разливки стали -  $x_2$ , мин.

Для проведения эксперимента использовался ортогональный план второго порядка с тремя опытами в центре плана.

*Уровни варьирования факторов*

Уровни факторов	Факторы	
	$x_1$ , %/ч	$x_2$ , мин
Основной (нулевой)	0,35	5,5
Нижний	0,20	3,5
Верхний	0,50	7,5
Интервал варьирования	0,15	2,0

Значение отклика приведены в таблице.

структура факторы	Ядро плана				Звездные точки				Центр плана		
	min			max	max	min	max	min			
$Y_i$ , %	0,36	0,51	1,33	1,51	0,50	0,31	1,59	0,45	0,30	0,29	0,31

**Построить модель влияния выбранных факторов на степень пораженности листов расслоениями в программе Excel. Провести оптимизацию факторов. Обосновать необходимость модели второго порядка и пояснить основные принципы её построения. Преимущества и недостатки применённого плана.**

**Вопросы для самопроверки и контроля СР**

1. Что такое эксперимент? Какова его роль в инженерной практике?
2. Какие общие черты имеют научные методы исследований для изучения закономерностей различных процессов и явлений в промышленности?
3. Приведите классификации видов экспериментальных исследований, исходя из цели проведения эксперимента и формы представления результатов, а также в зависимости от условий его реализации.
4. В чем заключаются принципиальные отличия активного эксперимента от пассивного?
5. Поясните преимущества и недостатки лабораторного и промышленного эксперимента.
6. В чем отличие количественного и качественного экспериментов?
7. Дайте определения следующим терминам: опыт, фактор, уровень фактора, отклик, функция отклика, план и планирование эксперимента.
8. Что такое случайная величина? В чем заключаются отличия дискретной от непрерывной случайной величины? Приведите примеры.
9. Какие вероятностные характеристики используют для описания распределений случайных величин?
10. С какой целью используют законы распределения при обработке данных экспериментальных исследований?
11. Почему нормальный закон распределения наиболее применим в экспериментальной практике?
12. Какие параметры и свойства характерны для нормального закона распределения?
13. Дайте определения следующим характеристикам случайных величин: центрированная, нормированная и приведенная.
14. Какие задачи решают в ходе предварительной статистической обработки экспериментальных данных?
15. Что такое генеральная совокупность и выборка?
16. Что такое точечное оценивание? Перечислите точечные оценки основных параметров нормального распределения для непрерывной случайной величины.
17. В чем заключается основная идея оценивания с помощью доверительного интервала? С помощью каких распределений происходит построение доверительных интервалов для математического ожидания и дисперсии?
18. В чем заключается сущность статистических гипотез? Что такое нулевая и альтернативная статистические гипотезы?
19. С помощью каких критериев производится отсеивание грубых погрешностей?
20. Какие задачи возникают при сравнении двух рядов наблюдений экспериментальных данных? С помощью каких критериев они решаются?
21. Что такое критерий согласия? Какова основная идея его использования?

- при проверке гипотез о виде функции распределения?
22. В чем заключается алгоритм использования критерия Пирсона для проверки гипотезы нормального распределения экспериментальных данных?
  23. Какова процедура использования критерия Колмогорова-Смирнова для проверки гипотезы нормального распределения?
  24. В чем заключаются сущность и основные задачи корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализа?
  25. Какие подходы используют при нахождении коэффициентов уравнения регрессии?
  26. С помощью какого параметра оценивается теснота связи между случайными величинами? Поясните физическую суть этого параметра.
  27. Как оценивается адекватность статистической модели?
  28. Что называется частным коэффициентом корреляции?
  29. Из каких этапов состоит последовательность проведения активного эксперимента?
  30. С какой целью используют теорию планирования эксперимента?
  31. Из каких соображений выбирают основные факторы, их уровни, а также интервалы варьирования факторов при проведении ПФЭ и ДФЭ?
  32. В чем заключается основная идея ДФЭ?
  33. В чем заключаются причины неадекватности математической модели? Как производится оценка адекватности?
  34. Какие преимущества дает экспериментатору использование средств вычислительной техники?
  35. Каким образом решается задача по оценке статистических характеристик с помощью пакета Microsoft Excel?

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Интернет-ресурсы:

1. <https://docviewer.yandex.ru/?url=ya-disk-public%3A%2F%2FDPdx5%2F0S6bcNv08tt0MFL55yEi5Y%2BV14qhQQSCqC47UI%3D&name=%D0%9B%D0%B0%D0%B2%D1%80%D0%BE%D0%B2%20%D0%92.%D0%92.%202004%20%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8B.pdf&c=57c0204f1577>- Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Конспект лекций (отдельные главы из учебника для вузов) / **Н. А. Спирин, В. В. Лавров.** Под общ. ред. Н. А. Спирина. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. - 257 с.
2. [HTTP://INSTITUTIONES.COM/INDEX.PHP?OPTION=COM\\_DOCMAN&TASK=DOC\\_DOWNLOAD&GID=1150&ITEMID=](http://institutiones.com/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1150&Itemid=) **Вуколов Э. А.** Основы статистического анализа. ПРАКТИКУМ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДАМ И ИССЛЕДОВАНИЮ ОПЕРАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТОВ STATISTICA И EXCEL: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. – 2-е изд., испр. и доп. - М.: ФОРУМ, 2008. – 464 с. –

(ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ).