

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**  
для самостоятельной работы студентов  
по дисциплине

**Теория и методы инженерного  
эксперимента**

Донецк  
2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА «ОХРАНА ТРУДА И АЭРОЛОГИИ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**  
для самостоятельной работы студентов  
по дисциплине  
**«Теория и методы инженерного эксперимента»**

для обучающихся по направлению подготовки  
21.05.04 «Горное дело»  
Специализация:  
«Технологическая безопасность и горноспасательное дело»

РАССМОТРЕНО  
на заседании кафедры  
охрана труда и аэрологии  
Протокол № 4 от 01.11.2021 г.

УТВЕРЖДЕНО  
на заседании Учебно-  
издательского совета ДОННТУ  
Протокол № 13 от 07.12.2021 г.

Донецк  
2021

УДК 65.012.12.007.2(076)

ББК 30.606в6

М54

**Составители:**

Овсянников Владимир Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда и аэрологии ГОУВПО «ДОННТУ»

Николаев Евгений Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда и аэрологии ГОУВПО «ДОННТУ»

М54 **Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Теория и методы инженерного эксперимента»:** специальность:21.05.04 «Горное дело», специализация: Технологическая безопасность и горноспасательное дело / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. охраны труда и аэрологии ; сост.: В. П. Овсянников, Е. Б. Николаев. – Донецк : ДОННТУ, 2021. – Систем. требования: Acrobat Reader. – Загл. с титул. экрана.

Методические рекомендации содержат перечень изучаемых в данном курсе тем и контрольных вопросов к изучаемым темам. Приводятся необходимые теоретические сведения, контрольное задание и вопросы для самостоятельной работы. Даны рекомендации и алгоритмы для выполнения контрольного задания. Детально описан ход выполнения работ на ПЭВМ. Индивидуальное задание выполняется с использованием пакета программ Apache OpenOffice.

УДК 65.012.12.007.2(076)

ББК 30.606в6

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель дисциплины:** ознакомление будущих специалистов с основными понятиями, определениями, принципами теории планирования экспериментов, приобретение навыков проведения экспериментов по построению математических моделей, ознакомление с методами обработки результатов лабораторных и промышленных экспериментов.

Дисциплина рассматривает вопросы, связанные с комплексом знаний и умений, обеспечивает успешное применение методов математического планирования инженерных экспериментов при исследованиях процессов горного производства с целью обоснования направлений совершенствования технологий и техники, прогнозирования характеристик процессов с заданной точностью и надежностью.

**Основные задачи дисциплины** заключаются в привитии специалистам навыков планирования лабораторных и производственных экспериментов; обработки данных, полученных в результате проведенных экспериментов с привлечением математических методов и компьютерных программ.

**В результате изучения данной дисциплины специалисты должны:**

**знать:** - методики планирования и проведения экспериментов; - методы определения вероятности получения запланированного результата эксперимента; - методику вычисления и построения эмпирических зависимостей;

**уметь:** - планировать эксперимент с высокой долей вероятности получения ожидаемого результата; - анализировать полученные экспериментальные данные; - рассчитывать и строить эмпирические зависимости по результатам экспериментов; - представлять итоги проделанной работы в виде отчетов, рефератов, статей; приобрести практические навыки планирования и проведения экспериментов.

**владеть:** - навыками планирования и проведения эксперимента; - методами обработки результатов лабораторных и промышленных экспериментов с привлечением математических методов и компьютерных программ; - методами анализа экспериментальных данных; - навыками проведения всех этапов несложного активного (планового) эксперимента с представлением результатов проделанной работы в виде отчетов, рефератов, статей.

Дисциплина относится к вариативной части по выбору студента блока дисциплин учебного плана.

Базируется на знаниях и умениях, которые студент приобрел при освоении предшествующих дисциплин: «Высшая математика», «Основы научных исследований» и «Основы горного дела».

Знания и умения, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом при: прохождении учебной и производственной практик, выполнении научно-исследовательской работы и прохождении государственной итоговой аттестации, в будущей профессиональной деятельности.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Введение

Содержание темы 1 Основные задачи исследовательской работы. Задачи теоретических исследований. Классификация экспериментальных исследований. Эксперимент как предмет исследования.

Литература к теме 1 [1, 2]

Тема 2. Моделирование и подобие.

Содержание темы 2:

Построение моделей. Сущность подобия. Теоремы подобия. Критерии подобия,  $\pi$  теорема.

Литература к теме 2: [1, 2]

Тема 3. Основные понятия теории вероятностей.

Содержание темы 3: Место и роль прикладной статистики в эмпирических исследованиях. Дескриптивная статистика, проверка статистических гипотез, регрессионный анализ.

Литература к теме 3: [1, 2]

Тема 4. Введение в планирование эксперимента (обзор).

Содержание темы 4: Основные понятия математической теории эксперимента. Критерии оптимальности планов эксперимента. Основные этапы построения экспериментально-статистической модели.

Литература к теме 4: [1, 2]

Тема 5. Основы математического планирования эксперимента

Содержание темы 5: Инструментальные средства планирования эксперимента.

Литература к теме 5: [1, 2]

Тема 6. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.

Содержание темы 6 Метод покоординатной оптимизации. Метод Гаусса-Зайделя. Градиентные методы. Метод крутого восхождения. Симплексный метод.

Литература к теме 6: [1, 2]

Тема 7. Первичная статистическая обработка опытных данных.

Содержание темы 7. Точечные и интервальные оценки неизвестных параметров распределения.

Литература к теме 7: [1, 2]

Тема 8. Активный эксперимент

Содержание темы 8

Активный эксперимент. Планирование, проведение, анализ

Литература к теме 8: [1, 2]

Тема 9. Оценка погрешностей результатов наблюдений

Содержание темы 9

Оценка погрешностей результатов наблюдений

Литература к теме 9 : [1, 2]

Тема 10. Основные понятия теории вероятностей.

Содержание темы 10 Место и роль прикладной статистики в эмпирических исследованиях. Дескриптивная статистика, проверка статистических гипотез, регрессионный анализ.

Литература к теме 10 [1, 2]

Тема 11. Преимущества и недостатки активного и пассивного экспериментов.

Содержание темы 11.

Задачи, решаемые в ходе предварительной статистической обработки экспериментальных данных. Основная идея оценивания с помощью доверительного интервала. Сущность статистических гипотез. Нулевая и альтернативная статистические гипотезы. Алгоритм использования критерия Пирсона для проверки гипотезы нормального распределения экспериментальных данных. Процедура использования критерия Колмогорова-Смирнова для проверки гипотезы нормального распределения.

Литература к теме 11: [1, 2]

Тема 12. Построение и анализ линейной по параметрам модели.

Содержание темы 12 Проверка гипотезы об однородности дисперсий. Проверка гипотез о равенстве нулю искомого параметра. Проверка гипотезы об адекватности модели эмпирическим данным.

Литература к теме 12 [1, 2]

Тема 13. Принцип максимального правдоподобия

Содержание темы 13. Принцип максимального правдоподобия. Общие предположения, принимаемые для эмпирических данных (независимость измерений, однородность дисперсий, нормальное распределение результатов измерений) и обоснование метода наименьших квадратов (МНК). Отыскание параметров линейной однофакторной модели. Модели, линейные по параметрам, матричная запись системы нормальных уравнений.

Литература к теме 13 : [1, 2]

Тема 14. Инструментальные средства МНК.

Содержание темы 14 Подготовка исходных данных и решение системы нормальных уравнений средствами табличных процессоров, входящих в состав MS Office и СПО. Визуализация результатов регрессионного анализа. Поиск параметров линейных однофакторных моделей средствами табличных процессоров и свободных пакетов численной математики.

Литература к теме 14: [1, 2]

Тема 15. Отыскание параметров двухфакторной квадратичной модели средствами табличных процессоров.

Содержание темы 15 МНК для нелинейных по параметрам моделей. Методы численного решения системы нормальных уравнений. Инструментальные средства МНК для нелинейных по параметрам моделей

Литература к теме 15: [1, 2]

Тема 16. Решение задач планирования эксперимента с использованием специализированного СПО:

Содержание темы 16 Построение и анализ двухфакторной квадратичной модели по результатам эксперимента, выполненного в соответствии с ротатабельным центральным композиционным планом.

Литература к теме 16: [1, 2]

Тема 17. Динамические (временные) факторные модели

Содержание темы 17 Временные факторные модели. Нечеткие подмножества весовые коэффициенты временной модели. Выбор функции принадлежности. Оценка факторов и признаков за определенный период времени.

Литература к теме 17: [1, 2]

**Практические (семинарские) занятия [3] :**

Работа № 1 Обработка экспериментальные данные при технических измерениях

Работа № 2 Полный факторный эксперимент

Работа № 3 Дробно факторный эксперимент

**Пример текущего опроса на практических занятиях**

**На примере темы 11.** Преимущества и недостатки активного и пассивного экспериментов.

- 1 Задачи, решаемые в ходе предварительной статистической обработки экспериментальных данных.
- 2 Основная идея оценивания с помощью доверительного интервала. Сущность статистических гипотез.
- 3 Нулевая и альтернативная статистические гипотезы.
- 4 Алгоритм использования критерия Пирсона для проверки гипотезы нормального распределения экспериментальных данных.
- 5 Процедура использования критерия Колмогорова-Смирнова для проверки гипотезы нормального распределения.

**Текущий контроль** знаний студентов производится по результатам контрольных опросов в ходе проведения практических занятий.

**Промежуточная аттестация** по результатам освоения дисциплины в семестре проводится в форме семестрового экзамена в соответствии с «Положением об организации учебного процесса в Донецком национальном техническом университете».

*При определении уровня знаний студентов преподаватель руководствуется критериями оценки знаний, являющимися составляющей учебно-методического комплекса дисциплины.*

**Самостоятельная работа студента:**

1. Изучение лекционного материала (не менее 50% от объема лекций)
2. Подготовка к практическим занятиям (не менее 50% от объема аудиторных практических занятий)

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ:**

1. Что такое активный эксперимент?
2. Что называется полным факторным экспериментом?
3. Как выбираются факторы планирования, их основные (базовые) уровни и интервалы варьирования?
4. Указать порядок проведения эксперимента методом ПФЭ.
5. Как составляется матрица планирования ПФЭ?
6. Как выбрать центр плана эксперимента?
7. Чем определяется величина интервала варьирования фактора?
8. Почему необходимо проведение параллельных опытов и их рандомизация?
9. Назовите основные отличия активного и пассивного экспериментов, их преимущества и недостатки.
10. Назначение и порядок проведения регрессионного анализа
11. Назначение и порядок проведения факторного анализа
12. Назначение и порядок проведения метода главных компонент
13. Какой метод ориентирован на корреляционную связь исследуемых параметров процесса?
14. Какой метод ориентирован на дисперсию?
15. Каков порядок проведения пассивного эксперимента в производственных условиях?
16. Виды производственных погрешностей.
17. Причины возникновения погрешностей при производстве ЭС
18. Как определяется систематическая погрешность?
19. Как определить случайную составляющую погрешности?
20. В чем суть планирования эксперимента
21. Различие научного и промышленного эксперимента
22. Основные виды задач, решаемых в планировании эксперимента
23. Понятие плана эксперимента, матрицы планирования, спектра плана
24. Этапы планирования эксперимента
25. Основные концепции современного подхода к организации эксперимента
26. Понятие фактора. Требования к факторам
27. Отклик системы, параметр оптимизации
28. Чем отличаются пассивные и активные эксперименты
29. Чем характеризуется объект исследования?
30. Дайте определение факторному пространству.
31. Что образует план эксперимента?
32. Что называется спектром плана?
33. Что такое регрессионные полиномы и где они применяются;
34. Перечислите условия необходимые для определения коэффициентов регрессии;
35. Процедура определения локальной области факторного пространства
36. Что называется полным факторным экспериментом
37. Приемы построения матрицы планирования ПФЭ

38. Свойства матрицы планирования ПФЭ
39. Зачем в матрицу планирования вводят  $x_0$ ?
40. Смешанные оценки в ПФЭ
41. Оценка эффектов взаимодействия в ПФЭ
42. Дробный факторный эксперимент и принцип насыщения
43. Опишите план нахождения построчной дисперсии выходной величины
44. Для чего нужно расчетное значение коэффициента Кохрэна и как он находится;
45. Что такое критерий Стьюдента и где он используется;
46. Для чего оценивают, насколько отличаются средние значения  $y_i$  выходной величины, полученной в точках
47. факторного пространства, и значения  $y_i$ , полученного из уравнения регрессии в тех же точках факторного пространства.
48. Чем определяется F- критерий Фишера и как его применяют.
49. Чем обеспечивается ортогональность столбцов матрицы F численных значений базисных функций.
50. Определение ОЦКП. Каким образом для ОЦКП выбирается числовое значение  $\alpha$  (звездного плеча).
51. Объясните, почему точность оценки коэффициентов регрессии для ОЦКП для разных групп неодинакова.
52. Условие наличия свойства рототабельности у ЦКП второго порядка.
53. В чем отличие РЦКП от ОЦКП
54. Являются ли оценки коэффициентов для РЦКП независимыми
55. Что такое симплекс, какой симплекс называется регулярным
56. Опишите алгоритм перемещения симплекса
57. Способы задания симплекса
58. Основная задача, решаемая симплекс планированием

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Для выполнения индивидуального задания (контрольной работы) студент должен узнать у преподавателя номер своего варианта задания из таблицы (Приложение А). Отчет по контрольной работе должен быть представлен в виде рисунков и таблиц. Методические рекомендации по выполнению индивидуального задания даны в [3].

Основные понятия для контрольной работы:

Эксперимент – метод научного исследования, когда исследователь активно и целенаправленно воздействует на объект исследования путем создания искусственных условий или использования естественных условий, необходимых для выявления конкретных свойств объекта. Эксперименты делятся на пассивные и активные (управляемые). В пассивном эксперименте контролируемые (входные) параметры нельзя изменять, в активном – можно.

Планирование эксперимента – область знания, связанная с построением и оптимизацией математических моделей.

Объект исследования рассматривается как носитель некоторых неизвестных

или подлежащих исследованию свойств и качеств – своеобразный «черный ящик». При этом вектор  $X_1 \dots X_k$  представляет собой группу контролируемых и управляемых величин, которые могут изменяться определенным образом в ходе эксперимента, а  $Z_1 \dots Z_k$  контролируемые характеристики. Характеристики ( $X_1 \dots X_k$ ) также называют факторами или управляемыми воздействиями. Функция  $Y$  – функция отклика (поверхность отклика), представляет собой реакцию системы на воздействие факторов. Также можно выделить и третью, не обозначенную на идеальной модели систему входных сигналов – это шумы или помехи, которые обусловлены многими факторами: ошибками обслуживающего персонала, влиянием внешней среды, погрешностью приборов и т.д. К этой же группе относятся воздействия, которые не могут контролироваться либо из-за их сложности, либо из-за незнания их природы и невозможности контроля.

Характеристики объектов имеют различную физическую природу, а, следовательно, и размерность, что затрудняет построения модели. Поэтому на практике значения факторов, которые имеют реальный физический смысл, нормируют (приводят к определенному ранее заданному набору значений). Для любого фактора  $X$  существует нижний  $X_{\min}$  и верхний  $X_{\max}$  уровни изменения значений.

#### Порядок проведения работы:

1. Используя генератор случайных чисел, найти значения факторов в точках, а также функцию отклика. Определить нулевой уровень фактора, провести нормировку.
2. Составить матрицу планирования для полного трехфакторного эксперимента с использованием дополнительного нулевого фактора ( $X_0=1$ ), и заполнить таблицу кодированными значениями  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_3$ .

	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_2X_3$	$X_1X_2X_3$	$Y_{1,j}$	$Y_{2,j}$	$Y_{3,j}$	$Y_j$
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												

3. Составить матрицу планирования для дробного трехфакторного эксперимента, пренебрегая взаимодействием факторов.
4. Провести эксперимент во всех точках ДФЭ (найти значения функции отклика  $Y$ ). Для каждой точки плана провести по три эксперимента, значения функции отклика брать из таблицы 1 в соответствии с вариантом.
5. Получаем коэффициенты регрессии после упрощения системы уравнений  $b_0, b_1, b_2, b_3$ . Уравнение регрессии будет иметь вид  $Y = b_0 X_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3$ ; ( $X_0 = 1$ ).
6. Полученное в кодированном виде уравнение регрессии преобразовать в натуральный, используя значения интервалов варьирования.

## Содержание и оформление отчета контрольной работы:

1. Титульный лист, содержащий информацию о студенте (группа, фамилия, номер варианта);
2. Результаты подготовки (выбранные по варианту значения экспериментальных данных);
3. Основные теоретические положения (используемые формулы);
4. Результаты подготовки (матрица планирования в виде таблицы);
5. Результат выполнения работы;
6. Ответы на контрольные вопросы;
7. Выводы.

### Пример билета на экзамен

#### БИЛЕТ №   1

1. Что такое активный эксперимент?
2. Что называется полным дробным экспериментом?
3. Как выбираются факторы планирования, их основные (базовые) уровни и интервалы варьирования?

Критерии оценивания экзаменационной работы и выставления экзаменационной оценки осуществляется по результатам письменного экзамена.

В каждом билете содержится один основной теоретический вопрос (задание №1) и два дополнительных (задания №2 и №3 соответственно). Заданиям присваиваются следующие весовые коэффициенты: 0,3; 0,45 и 0,25. Сумма весовых коэффициентов равна единице.

Ответ на каждое задание оценивается по 100-бальной шкале.

В случае теоретического задания оценка «100» ставится в случае полного системного раскрытия вопроса без каких-либо неточностей. Баллы снимаются, если в ответе упущены какие-либо второстепенные моменты (до 10 баллов), допущены несущественные неточности (до 10 баллов), допущены существенные неточности при правильном ответе в целом (до 25 баллов), при недостаточном представлении материалов (баллы снимаются как процент недостающего материала с учетом его значимости).

В случае задачи оценка «100» ставится в случае представления полного решения с правильным ходом и точным ответом, при верном указании единиц измерения всех физических величин и выполненном полном анализе результатов (если требуется). Баллы снимаются, если в ответе есть несущественные неточности, не повлиявшие на результат (до 15 баллов), неверно указаны или не указаны единицы измерения физических величин (до 15 баллов), допущены отдельные неточности в ходе ответа, не искажившие логики ответа в целом (до 25 баллов), неточность численных результатов (до 15 баллов), ошибки в анализе результатов (до 20 баллов).

Итоговый балл за экзамен рассчитывается как сумма произведений оценок за каждое задание на их весовой коэффициент.

Пример расчета итоговой оценки по экзамену.

В билете имеется три задания с весовыми коэффициентами 0,3, 0,45 и 0,25. Пусть оценки за каждое задание по 100-балльной шкале составили: 90, 70 и 85, соответственно.

Тогда итоговый балл за экзамен составляет:  
 $0,3 \cdot 90 + 0,45 \cdot 70 + 0,25 \cdot 85 = 79,75 \approx 80$  баллов.

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по национальной шкале и шкале ESTS.

## Приложение А

Вариант 1					Вариант 12				
3,004	3,031	3,035	3,039	3,001	2,788	2,823	2,815	2,777	2,773
5,193	5,152	5,177	5,209	5,151	4,491	4,467	4,492	4,473	4,460
3,927	3,950	3,936	3,898	3,897	3,485	3,510	3,515	3,524	3,475
7,141	7,099	7,111	7,138	7,097	5,883	5,879	5,863	5,870	5,877
Вариант 2					Вариант 13				
3,651	3,605	3,653	3,592	3,627	2,132	2,114	2,160	2,146	2,120
6,547	6,514	6,535	6,562	6,581	3,373	3,324	3,377	3,327	3,385
4,761	4,793	4,816	4,792	4,801	3,978	3,928	3,905	3,948	3,904
9,515	9,566	9,534	9,552	9,528	6,898	6,908	6,887	6,940	6,904
Вариант 3					Вариант 14				
2,124	2,150	2,139	2,140	2,157	2,567	2,587	2,585	2,527	2,583
3,382	3,394	3,368	3,374	3,372	4,148	4,183	4,155	4,144	4,169
2,705	2,652	2,655	2,674	2,713	4,998	4,949	4,950	4,947	4,968
4,307	4,242	4,276	4,317	4,255	9,758	9,689	9,701	9,711	9,686
Вариант 4					Вариант 15				
2,588	2,597	2,542	2,537	2,539	3,073	3,033	3,062	3,065	3,029
4,191	4,165	4,152	4,129	4,138	5,191	5,186	5,221	5,156	5,198
3,201	3,231	3,202	3,199	3,248	3,884	3,932	3,929	3,914	3,899
5,509	5,453	5,448	5,511	5,445	14,701	14,690	14,734	14,754	14,674
Вариант 5					Вариант 16				
3,072	3,028	3,080	3,049	3,069	8,346	8,241	8,242	8,247	8,244
5,193	5,159	5,163	5,220	5,168	17,731	17,736	17,781	17,709	17,863
3,932	3,955	3,893	3,915	3,939	14,306	14,165	14,262	14,254	14,173
7,094	7,126	7,149	7,102	7,158	22,574	22,715	22,599	22,579	22,569
Вариант 6					Вариант 17				
4,292	4,285	4,333	4,304	4,277	8,439	7,904	8,440	8,473	7,916
8,385	8,390	8,404	8,421	8,390	10,523	10,650	10,778	10,273	10,631
5,881	5,886	5,847	5,900	5,909	9,401	9,168	9,534	9,249	9,306
13,349	13,332	13,357	13,342	13,356	14,120	14,376	14,486	14,175	13,952
Вариант 7					Вариант 18				
4,307	4,284	4,284	4,316	4,286	7,939	7,903	7,980	7,619	7,750
8,387	8,396	8,430	8,389	8,404	12,365	12,356	12,004	12,037	12,409
5,832	5,873	5,856	5,843	5,862	14,245	14,808	14,494	14,786	14,449
13,329	13,304	13,328	13,340	13,312	26,177	26,630	26,707	26,237	26,481
Вариант 8					Вариант 19				
3,583	3,605	3,623	3,623	3,587	3,759	3,709	3,745	3,768	3,740
6,555	6,564	6,523	6,559	6,511	4,828	4,801	4,845	4,845	4,845
4,795	4,790	4,776	4,798	4,744	4,243	4,253	4,242	4,300	4,275
9,504	9,530	9,524	9,557	9,530	6,612	6,613	6,563	6,598	6,575
Вариант 9					Вариант 20				
3,054	3,032	3,024	3,046	3,019	2,872	2,904	2,841	2,888	2,896
5,147	5,170	5,178	5,190	5,177	4,125	4,147	4,105	4,153	4,152
3,926	3,895	3,937	3,931	3,915	3,810	3,779	3,755	3,803	3,759
7,117	7,121	7,101	7,130	7,091	4,532	4,477	4,472	4,505	4,513
Вариант 10					Вариант 21				
2,549	2,537	2,563	2,564	2,569	1,612	1,370	1,569	1,655	2,037
4,118	4,164	4,155	4,126	4,151	2,440	2,019	2,027	2,398	2,223
3,236	3,220	3,202	3,212	3,207	2,067	1,893	2,378	2,152	2,040
5,445	5,485	5,449	5,472	5,455	2,444	2,476	2,761	2,346	2,312
Вариант 11					Вариант 22				
2,164	2,165	2,145	2,150	2,163	8,952	8,889	9,235	9,122	9,222
3,347	3,338	3,322	3,318	3,358	12,258	12,452	12,044	12,152	12,392
3,950	3,932	3,908	3,935	3,901	10,323	10,376	10,268	10,647	10,452
6,855	6,870	6,875	6,872	6,907	14,357	14,050	14,109	14,339	14,421

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Теория и методы инженерного эксперимента. Конспект лекций в электронном виде для студентов всех форм обучения / Сост.: Овсянников В.П. – Донецк: ДонНТУ, 2016. – Режим доступа: <http://ea.donntu.org/handle/123456789/35072>
- 2 Теория и методы инженерного эксперимента: Курс лекций/ Бойко Н.Г., Устименко Т.А.-Донецк, ДонНТУ, 2009г. – 158с.
- 3 Методические рекомендации и задания для практических занятий по дисциплине «Теория и методы инженерного эксперимента» (для студентов горных специальностей всех форм обучения)/ сост. В.П. Овсянников – Донецк: ДОННТУ, 2020. – 37 с. <http://ea.donntu.org/handle/123456789/32471>
- 4 Кожухар В. М. Основы научных исследований: Учебное пособие / В. М. Кожухар. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2010. — 216 с  
1 файл. - Режим доступа <http://ed.donntu.org/books/19/cd9317.pdf> Загл. с экрана
- 5 Юдин Ю. В. Организация и математическое планирование эксперимента: учебное пособие / Ю. В. Юдин, М. В. Майсурадзе, Ф. В. Водолазский. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 124 с. (Доступ через личный кабинет студента). [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/65224/1/978-5-7996-2486-6\\_2018.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/65224/1/978-5-7996-2486-6_2018.pdf)
- 6 Карпушкин С.В., Глебов А.О. Теория инженерного эксперимента Учебное пособие для студентов дневного и заочного отделения, обучающихся по направлениям "Машиностроение", "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" Тамбов 2017 (Доступ через личный кабинет студента). <https://tstu.ru/book/elib2/pdf/2017/karpushkin.pdf>
- 7 Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. Методы планирование эксперимента и обработки данных: учеб. пособие / Макаричев Ю.А., ИванниковЮ.Н. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 131 с.: ил. (Доступ через личный кабинет студента). [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)

### Электронно-информационные ресурсы

ЭБС ДОННТУ – <http://donntu.org/library>

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**для самостоятельной работы студентов по дисциплине  
«Теория и методы инженерного эксперимента»**

### **Составители:**

Овсянников Владимир Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда и аэрологии ГОУВПО «ДОННТУ»

Николаев Евгений Борисович – кандидат технических наук; доцент кафедры охраны труда и аэрологии ГОУВПО «ДОННТУ»

### **Ответственный за выпуск:**

Николаев Евгений Борисович – доцент кафедры «Охрана труда и аэрология» ГОУВПО «ДОННТУ», кандидат технических наук, доцент.