



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)**


«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель программы аспирантуры  
Сварка, родственные процессы  
и технологии

  
А.В. Гридасов  
31.03.2022 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор департамента промышленной  
безопасности

  
А.В. Гридасов  
31.03.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Проведение экспериментальных исследований в области сварки,  
родственных процессов и технологий**

2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии (технические науки)

курс 2 семестр 3

лекции 8 час.

практические занятия 10 час.

лабораторные работы     -     час.

в том числе с использованием МАО лек., пр. 10 лаб. 0 час.

всего часов аудиторной нагрузки 18 час.

в том числе с использованием МАО 10 час.

самостоятельная работа 54 час.

контрольные работы (количество) не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет 3 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов), утвержденными Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. N 951 и паспортом научной специальности 2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии.

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента промышленной безопасности, протокол № 7 от 10.03.2022 г.

Директор департамента: канд. техн. наук, доцент А.В. Гридасов

Составитель: канд. техн. наук, доцент А.В. Гридасов

**Оборотная сторона титульного листа**

**I. Рабочая программа актуализирована на заседании департамента промышленной безопасности:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа актуализирована на заседании департамента промышленной безопасности:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Проведение экспериментальных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий» предназначена для аспирантов, обучающихся по научной специальности 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии (технические науки).

Общая трудоемкость дисциплины составляет 72 часа (2 з.е). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (8 часов), практические занятия (10 часов) и самостоятельная работа аспиранта (54 часа). Дисциплина реализуется на 2 году обучения в 3 семестре. Результат промежуточной аттестации – зачет.

Дисциплина «Проведение экспериментальных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий» логически и содержательно связана с такими курсами, предыдущего уровня образования 15.04.01 Машиностроение (магистерская программа), как: Технологические особенности сварки специальных сталей и сплавов, Техническая диагностика и контроль качества сварных конструкций, Системное проектирование технологических процессов восстановления и упрочнения деталей и узлов, Методы повышения износостойкости и восстановления деталей узлов трения.

Дисциплина «Проведение экспериментальных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий» имеет как самостоятельное, так и базовое значение при подготовке специалистов сварочного производства. Разработка новых технологических процессов сварки, наплавки, напыления, пайки и сварочных материалов требует теоретической подготовки в области сварочных процессов и технологий. Знание основ теории сварочных процессов и технологий дает аспиранту и исследователю ключ к пониманию механизмов процессов сварки, наплавки, напыления и пайки и, следовательно, к его сознательному регулированию. В этом состоит ее самостоятельное значение.

**Целью** преподавания дисциплины «Проведение экспериментальных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий» является подготовка широко эрудированного специалиста в области проведения экспериментальных исследований по направлению сварочных технологий, владеющего основами теоретических знаний о методах измерений физических величин, оценки погрешности прямых и косвенных измерений, определения классов точности и выбора непосредственных измерительных приборов, обучение основам организации и методики проведения научно-исследовательской работы в области сварки, родственных процессов и технологии.

**Задачи:**

1. Способствовать развитию знаний по методологии экспериментальных исследований.
2. Сформировать навыки по самостоятельному обучению новым методам экспериментальных исследований.
3. Выработать умение выбирать соответствующие средства измерений.
4. Сформировать основные умения использования теории планирования эксперимента при проведении самостоятельных научных исследований.
5. Сформировать основные умения обработки полученной научной информации и представления результатов.

Для успешного изучения дисциплины «Проведение экспериментальных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

Планируемые результаты обучения по данной дисциплине (знания, умения, владения), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

| Формулировка требования | Этапы формирования планируемых результатов освоения программы |  |
|-------------------------|---|--|
| Способность научно      | Знает   | - методы критического анализа и оценки современных |

|  |                |   |
|--|----------------|---|
| обоснованно оценивать новые решения в области построения и моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования, а также средств технологического оснащения производства |                | научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;<br>- методы моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования; |
|  | <b>Умеет</b>   | методики альтернативных вариантов решения исследовательских и практических задач, оценки новых решений в области построения и моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем   |
|  | <b>Владеет</b> | навыками моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования, способностью построения и моделирования средств технологического оснащения производства.   |
| Способность формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники                              | <b>Знает</b>   | методики аналитического решения задач планирования экспериментов при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники  |
|  | <b>Умеет</b>   | формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники   |
|  | <b>Владеет</b> | способностью формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники  |
| Способность планировать и проводить экспериментальные исследования с последующим адекватным оцениванием получаемых результатов   | <b>Знает</b>   | методики планирования и проведения экспериментальных исследований с последующим адекватным оцениванием получаемых результатов   |
|  | <b>Умеет</b>   | планировать и проводить экспериментальные исследования с последующим адекватным оцениванием получаемых результатов  |
|  | <b>Владеет</b> | способностью планировать и проводить экспериментальные исследования с последующим адекватным оцениванием получаемых результатов   |
| Способность самостоятельно выполнять научные исследования в области сварки, родственных процессов и технологий, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные                                  | <b>Знает</b>   | методики разработки методик измерения, обработки полученных результатов при выполнении научных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий с использованием компьютерных технологий   |
|  | <b>Умеет</b>   | самостоятельно выполнять научные исследования в области сварки, родственных процессов и технологий, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии, с целью установления математических моделей   |
|  | <b>Владеет</b> | способностью самостоятельно выполнять научные   |

|  |                |  |
|--|----------------|--|
| технологии, с целью установления математических моделей  |                | исследования в области сварки, родственных процессов и технологий  |
| Способность овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, в том числе объектов, испытывающих фазовые и структурные превращения при внешних воздействиях; планировать проведение и интерпретировать экспериментальные данные по изучению физико-механических свойств сварных соединений; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов | <b>Знает</b>   | методики средства проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, планирование и проведение экспериментальных исследований по изучению свойств сварных соединений   |
|  | <b>Умеет</b>   | овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, в том числе объектов, испытывающих фазовые и структурные превращения при внешних воздействиях; планировать проведение и интерпретировать экспериментальные данные по изучению физико-механических свойств сварных соединений; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов |
|  | <b>Владеет</b> | современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций; планировать проведение и интерпретировать экспериментальные данные; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов  |

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Проведение экспериментальных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий» применяются следующие методы активного / интерактивного обучения: проблемные лекции и лекции-презентации.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (8 час.)**

### **Раздел 1. Основы экспериментальных исследований (2 час.)**

**Тема 1. Введение. Этапы проведения научного исследования (проблемная лекция) (1 час.)**

Методы выбора и оценки тем научных исследований. Классификация и этапы научно-исследовательских работ. Актуальность и научная новизна исследования.

**Тема 2. Виды хранения научной информации, методы повышения творческой активности (лекция–презентация) (1 час.)**

Документальные источники информации. Поиск и накопление научной информации. Электронные формы информационных ресурсов. Обработка научной информации, ее фиксация и хранение.

**Раздел 2. Планирование эксперимента (3 час.)**

**Тема 1. Основные понятия и определения планирования экспериментов (проблемная лекция) (1 час.)**

Параметры оптимизации, обобщенный параметр. Характеристика факторов, уровней варьирования, кодирование факторов.

**Тема 2. Характеристика полного многофакторного эксперимента (ПФЭ) (1 час.)**

Выбор математических моделей, составление матрицы планирования, расчет коэффициентов регрессии. Рандомизация экспериментов.

**Тема 3. Статистический анализ математической модели. Дробный факторный эксперимент. (1 час.)**

Проверка однородности дисперсий и воспроизводимости опытов. Проверка статистической значимости коэффициентов модели. Проверка модели на адекватность. Дробный факторный эксперимент (ДФЭ). Полуреплика от ПФЭ типа  $2^3$ .

**Раздел 3. Техника экспериментального исследования (3 час.)**

**Тема 1. Метрологическое обеспечение эксперимента (1 час.)**

Понятие о метрологии в экспериментальных исследованиях. Абсолютные и относительные измерения. Погрешность измерения. Случайные, систематические и грубые погрешности. Средства измерения

(образцовые, меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи)

## **Тема 2. Технические измерения физических величин (лекция–презентация) (1 час.)**

Параметры измерений. Датчики измерений. Измерительно-регистрирующие приборы. Измерение сварочных токов и напряжений. Измерение времени сварки. Измерение расходов сварочных материалов. Измерение давлений и усилий. Измерение температуры. Измерение перемещений и деформаций.

## **Тема 3. Обработка и оформление результатов научного исследования (проблемная лекция) (1 час.)**

Методы графической обработки результатов измерений. Оформление результатов научного исследования. Расчет минимального количества экспериментов.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Практические занятия (10 час., в том числе МАО 10 час.)**

#### **Занятие 1. Семинар «Виды экспериментов» (2 час.)**

1. По способу формирования условий - естественный и искусственный.
2. По целям исследования - преобразующие, констатирующие, контролирующие, поисковые, решающие.
3. По организации проведения - лабораторные, натурные, полевые, производственные, поисковый, оптимальный, однофакторный, многофакторный
4. По отношению к объекту исследования – открытый, закрытый.
5. По характеру внешних воздействий на объект исследования - вещественные, энергетические, информационные.
6. По характеру взаимодействия средства измерения на объект исследования - обычный (или классический), модельный.



**Занятие 2. «Методы активизации научного мышления» (деловая игра) (2 час.)**

Тематика докладов (примерная):

1. Метод фокальных объектов.
2. Методы прямого и обратного мозгового штурма.
3. Метод морфологического анализа.
4. Метод контрольных вопросов.
5. Синектика.
6. Прямая аналогия и эмпатия.
7. Инверсия.
8. Решение научных задач методом вепольных полей.

**Занятие 3. Семинар «Определение доверительной вероятности и надежности выборки случайных величин» (2 час.)**

Тематика докладов на семинаре-конференции (примерная):

1. Понятие выборки.
2. Значение среднего арифметического значения (САЗ).
3. Статистическая характеристика выборки - среднее квадратичное отклонение (СКО), его назначение.
4. Проверка нормальности закона распределения измеренных значений.
5. Понятие доверительной вероятности (надежности).
6. Понятие доверительного интервала, его расчет.
7. Назначение критерия Стьюдента.
8. Вид представления результатов измерений, содержащих случайную погрешность.

**Занятие 4. Построение плана полного факторного эксперимента, расчет модели (2 час.)**

1. Полный факторный эксперимент (ПФЭ).
2. Математическая модель или уравнение регрессии.
3. Кодирование факторов.
4. Матрица планирования.
5. Правило чередования знаков, правило перемножения знаков.
6. Расчет коэффициентов регрессии.
7. Раскодировка уравнения регрессии.

### **Занятие 5. Статистический анализ математической модели (2 часа)**

- 1) Проверки однородности дисперсий и воспроизводимости опытов;
- 2) Расчет критерия Кохрена;
- 3) Проверка статистической значимости коэффициентов модели;
- 4) Расчет критерия Стьюдента;
- 5) Проверка модели на адекватность;
- 6) Расчет критерия Фишера.

### **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Проведение экспериментальных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

| №<br>п/п   | Контролируемые модули/<br>разделы/ темы<br>дисциплины                                      | Этапы<br>формирования<br>компетенций | Оценочные средства - наименование |                                 |
|--|--|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
|  |  |                                      | текущий<br>контроль               | Промежуточ<br>ная<br>аттестация |
| <b>Раздел 1. Основы экспериментальных исследований</b>   |  |                                      |                                   |                                 |
| 1  | Тема 1 Введение. Этапы проведения<br>научного исследования                                 | <b>Знает</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7,           | УО-1<br>УО-2<br>ПР-2<br>ПР-7    |
|  |  | <b>Умеет</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7,           |                                 |
|  |  | <b>Владеет</b>                       | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7,           |                                 |
| 2  | Тема 2. Виды хранения научной<br>информации, методы повышения<br>творческой активности     | <b>Знает</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7,           | ПР-2<br>ПР-7                    |
|  |  | <b>Умеет</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7,           |                                 |
|  |  | <b>Владеет</b>                       | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7,           |                                 |
| <b>Раздел 2. Планирование эксперимента</b>               |  |                                      |                                   |                                 |
| 3  | Тема 1. Основные понятия и<br>определения планирования<br>экспериментов                    | <b>Знает</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            | УО-1<br>УО-2<br>ПР-2<br>ПР-7    |
|  |  | <b>Умеет</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            |                                 |
|  |  | <b>Владеет</b>                       | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            |                                 |
| 4  | Тема 2. Характеристика полного<br>многофакторного эксперимента                             | <b>Знает</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            | ПР-7                            |
|  |  | <b>Умеет</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            |                                 |
|  |  | <b>Владеет</b>                       | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            |                                 |
| 5  | Тема 3. Статистический анализ<br>математической модели. Дробный<br>факторный эксперимент   | <b>Знает</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            | ПР-7                            |
|  |  | <b>Умеет</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            |                                 |
|  |  | <b>Владеет</b>                       | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            |                                 |
| <b>Раздел 3. Техника экспериментального исследования</b> |  |                                      |                                   |                                 |
| 6  | Тема 1. Метрологическое<br>обеспечение эксперимента  | <b>Знает</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            | УО-1<br>УО-2<br>ПР-2<br>ПР-7    |
|  |  | <b>Умеет</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            |                                 |
|  |  | <b>Владеет</b>                       | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7,           |                                 |
| 7  | Тема 2. Технические измерения<br>физических величин  | <b>Знает</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            | ПР-2<br>ПР-7                    |
|  |  | <b>Умеет</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            |                                 |
|  |  | <b>Владеет</b>                       | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7,           |                                 |
| 8  | Тема 3. Обработка и оформление<br>результатов научного исследования<br>(проблемная лекция) | <b>Знает</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            | ПР-7                            |
|  |  | <b>Умеет</b>                         | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7            |                                 |
|  |  | <b>Владеет</b>                       | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7,           |                                 |

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования

планируемых результатов освоения программы, представлены в Приложении 2.

#### **IV. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **Основная литература**

1. Сборник заданий по учебной дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» [Электронный ресурс]/ — Электрон. текстовые данные.— Саратов: Вузовское образование, 2016.— 14 с.— Режим доступа:

<http://www.iprbookshop.ru/54497> .— ЭБС «IPRbooks»

2. Обеспечение качества конструкционных материалов и заготовок в машиностроении. Физико-химические и технологические основы [учебное пособие для вузов] / Ю. М. Погосбемян. – Москва: URSS: [Ленанд], [2015]. – 239 с. (2 экз.)

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:790007&theme=FEFU>

3. Радкевич, Я. М. Метрология, стандартизация и сертификация [Электронный ресурс] : учебное пособие / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе, Б. И. Лактионов. — 2-е изд. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Вузовское образование, 2019. — 791 с. — 978-5-4487-0335-5. — Режим доступа:

<http://www.iprbookshop.ru/79771.html>

4. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования. – М.: Либроком. – 280 с. Режим доступа:

<http://www.methodolog.ru/books/mni.pdf>

5. Методология научного познания: учебное пособие для вузов/ Г.И. Руавин. – М.: ЮНИТИ-ДАНА., 2013. – 287 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:725567&theme=FEFU>

## Дополнительная литература

1. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учебное пособие для магистрантов: учебное пособие для аспирантов и аспирантов вузов/ Н.И. Сидяев. –М.: Юрайт., 2012. - 399 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:693527&theme=FEFU>

2. Основы научных исследований: учебное пособие/ Б.И. Герасимов, В.В. Дробышева, Н.В. Злобина [и др.]. – М.: Форум [ИНФРА-М], 2013. -269 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:752201&theme=FEFU>

3. Основы научных исследований: учебное пособие/ М.Ф. Шкляр.- М.: Дашков и Ко., 2013. - 243 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:264778&theme=FEFU>

4. Соснин, В. В. Облачные вычисления в образовании [Электронный ресурс] / В. В. Соснин. — 3-е изд. — Электрон. текстовые данные. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Эр Медиа, 2019. — 109 с. — 978-5-4486-0512-3. — Режим доступа:

<http://www.iprbookshop.ru/79705.html>

5. Белов П.С. Математическое моделирование технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие (конспект лекций)/ Белов П.С.— Электрон. текстовые данные.— Егорьевск: Егорьевский технологический институт (филиал) Московского государственного технологического университета «СТАНКИН», 2016.— 121 с.— Режим доступа:

<http://www.iprbookshop.ru/43395> .— ЭБС «IPRbooks»

6. Гордиенко В.Е. Методы контроля качества сварных конструкций промышленных зданий и строительных машин [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Гордиенко В.Е., Гордиенко Е.Г.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012.— 134 с.— Режим доступа:

<http://www.iprbookshop.ru/19011> .— ЭБС «IPRbooks»

**• Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети  
«Интернет»**

- <http://websvarka.ru> – Форум сварщиков. Справочный сайт.
- <http://autoweld.ru/statyai.php> - информационный портал «Autoweld.ru сварочное оборудование».
- <http://www.shtorm-its.ru> - информационный портал «Шторм», сварочное оборудование.
- <http://www.osvarke.com> - информационный портал «Осварке».
- <http://www.autowelding.ru> - информационный портал «autoWelding.ru».
- <http://www.esab.ru> – компания ESAB, сварочное оборудование.
- <http://www.fips.ru> – ФГБУ Федеральный институт промышленной собственности.
- <http://www.icsti.su/> - Международный центр научной и технической информации (МЦНТИ).
- <http://www.wipo.int/portal/index.html.en> – World intellectual property organization (WIPO).

**Перечень информационных технологий  
и программного обеспечения**

Электронный учебный курс в интегрированной платформе электронного обучения Blackboard ДВФУ. Идентификатор курса:

**[FU50218-150700.62-twp-01: Теория сварочных процессов](#)**

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Время, отведённое на реализацию дисциплины**

Теоретическая часть курса, проводимая в аудиториях/лабораториях ДВФУ (с преподавателем / руководителем) – 8 час.

Практическая часть курса, проводимая в аудиториях/лабораториях ДВФУ (с преподавателем/руководителем) – 10 час., в том числе с использованием интерактивных методов (МАО) – 10 час.

Всего часов аудиторной нагрузки (с преподавателем/руководителем) – 18 часов, в том числе с использованием интерактивных методов (МАО) – 8/4 часов.

Время на самостоятельную работу (без преподавателя/руководителя) как теоретической, так и практической частей курса – 54 часа.

### **Рекомендации по планированию и организации времени, на изучение дисциплины**

Время, отведённое на изучение дисциплины, должно быть использовано обучающимся планомерно. Время на изучение дисциплины указывается на титульном листе рабочей программы учебной дисциплины.

Планирование времени – эффективный вариант организация учебной деятельности. Общие рекомендации составления планирования:

1. Своевременный и полный учет задач, вытекающих из содержания профессиональной деятельности.
2. Регулярное распределение рабочего времени в соответствии с приоритетностью и сложностью задач, выделение части времени в резерв.
3. Документирование результатов планирования и организации рабочего времени (составление текущих и перспективных планов работы).
4. Учет работоспособности в течение периода, отведенного для работы (в течение дня, недели, месяца, года).
5. Концентрация усилий на первоочередном решении задач, от которых, в свою очередь, зависит решение задач второго уровня значимости (срочности, важности).
6. Умелое использование информации в процессе планирования и организации рабочего времени.
7. Способность к самоограничению (умение говорить «нет», когда значимость той или иной задачи и, следовательно, необходимость ее выполнения не являются очевидными).

8. Самоконтроль расходования времени в ходе выполнения задач профессиональной деятельности.

9. Стремление к постоянному совершенствованию системы планирования и организации рабочего времени.

### **Описание последовательности действий обучающихся при изучении дисциплины**

В соответствии с целями и задачами дисциплины обучающийся изучает и готовится к теоретическим и практическим занятиям, проходит контрольные точки текущей и промежуточной аттестации, включающие разные формы проверки усвоения материала (конспекты, отчёты, тесты, экзамен, контрольные мероприятия).

Освоение дисциплины включает несколько составных элементов учебной деятельности:

1. Ознакомление с рабочей программой учебной дисциплины.
2. Выполнение требований, установленных преподавателем (руководителем) в рамках профессиональной деятельности сотрудника ДВФУ.
3. Регулярная подготовка к занятиям и активная работа на них, включающая следующее общее планирование:

| <b>№ п/п</b> | <b>Наименование этапа</b> | <b>Содержание задач этапа</b>  |
|--------------|---------------------------|--|
| 1            | Обработка информации      | Сбор, учет, систематизация, анализ информации, необходимой для надлежащего планирования и организации профессиональной деятельности, а также актуализация и оперативный обмен информацией с руководителем, коллегами и деловыми партнерами.                              |
| 2            | Постановка целей и задач  | Предварительное, а затем окончательное формулирование целей и задач, доклад соответствующих предложений руководителю.  |
| 3            | Планирование              | Разработка (участие в разработке) документов планирования (планов, программ, графиков и т. п.) по направлениям и периодам профессиональной деятельности, их согласование по срокам и методам реализации, определение состава привлекаемых к их реализации сил и средств. |



|   |                             |   |
|---|-----------------------------|---|
| 4 | Подготовка решения          | Представление проектов документов планирования, а также предложений, направленных на выработку оптимального решения, уточнение проектов и доведение принятых решений (утвержденных планов работы по направлениям и периодам) до сведения лиц, ответственных за руководство. |
| 5 | Реализация решения          | Непосредственная реализация решений, участие в их реализации, делегирование полномочий, координация работы ответственных за реализацию, обработка информации о ходе реализации решений, ее передача руководителю.   |
| 6 | Контроль реализации решения | Планирование и организация контрольных мероприятий, учет и сравнение результатов контроля с планируемыми показателями, доклады руководителю.  |
| 7 | Корректировка решений       | Сбор, учет, систематизация, анализ информации, выработка и представление руководителю предложений по корректировке решений (отдельных действий в рамках реализации таких решений)   |
| 8 | Оценка и анализ результатов | Сбор, учет, систематизация, анализ информации, отражающей результаты реализации решений, подведение итогов профессиональной деятельности (за период или по направлению – текущая/промежуточная аттестация)  |

### **Рекомендация по процессу обучения**

Обучение по рабочей программе учебной дисциплины «Проведение экспериментальных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий» предполагает изучение курса на аудиторных занятиях (лекции и практические работы) и самостоятельной работы аспирантов. С целью обеспечения успешного обучения аспирант должен готовиться к лекции, поскольку она является важнейшей формой организации учебного процесса, поскольку:

- знакомит с новым учебным материалом;
- разъясняет учебные элементы, трудные для понимания;
- систематизирует учебный материал;
- ориентирует в учебном процессе.

Подготовка к лекции заключается в следующем:

- внимательно прочитайте материал предыдущей лекции;

- узнайте тему предстоящей лекции (по тематическому плану, по информации лектора);
- ознакомьтесь с учебным материалом по учебнику и учебным пособиям;
- постарайтесь уяснить место изучаемой темы в своей профессиональной подготовке;
- запишите возможные вопросы, которые вы зададите лектору на лекции.

#### Подготовка к практическим занятиям и работам:

- внимательно прочитайте материал лекций, относящихся к данным практическим занятиям, ознакомьтесь с учебным материалом по учебнику и учебным пособиям;
- выпишите основные термины, принципы, формулы;
- ответьте на контрольные вопросы по практическим занятиям, готовьтесь дать развернутый ответ на каждый из вопросов;
- уясните, какие учебные элементы остались для вас неясными и постарайтесь получить на них ответ заранее (до практического занятия) во время текущих консультаций преподавателя;
- готовиться можно индивидуально, парами или в составе малой группы, последние являются эффективными формами работы;
- рабочая программа дисциплины в части целей, перечню знаний, умений, терминов и учебных вопросов может быть использована вами в качестве ориентира в организации обучения.

#### Подготовка к зачету.

К экзамену необходимо готовится целенаправленно, регулярно, систематически и с первых дней обучения по данной дисциплине.

Попытки освоить дисциплину в период зачётно-экзаменационной сессии, как правило, показывают не слишком удовлетворительные результаты.

В самом начале учебного курса познакомьтесь со следующей учебно-методической документацией:

- программой дисциплины;
- перечнем знаний и умений, которыми аспирант должен владеть;
- тематическими планами лекций, семинарских занятий;
- контрольными мероприятиями;
- учебником, учебными пособиями по дисциплине, а также электронными ресурсами;
- перечнем экзаменационных вопросов.

После этого у вас должно сформироваться чёткое представление об объёме и характере знаний и умений, которыми надо будет овладеть по дисциплине. Систематическое выполнение учебной работы на лекциях и практических занятиях позволит успешно освоить дисциплину и создать хорошую базу для сдачи экзамена.

### **Рекомендации по работе с информационными источниками**

Работа с информацией – процесс нахождения знаний (информации) о причинах возникновения проблем, применённых инженерных решений/идей, современного состояния объекта исследования.

Поиск информации по дисциплине и её дальнейшей обработки следует начинать с:

- проработки тематического плана – теоретическая и практическая части курса;
- классификации информационного материала;
- составления логической схемы основных понятий, категорий, связей между рассматриваемыми темами;
- составления новой библиографии, при неудовлетворении предложенной.

- реферирования – краткое, основное содержание одной и более работ по теме.

- конспектирования – детальное изложение главных положений и концептуальных идей.

- аннотирования (аннотация) – краткое, предельно сжатое изложение основного содержания литературных источников.

- цитирования – дословная запись высказываний, выражений автора, а также приведение в тексте работы фактических и статистических данных, содержащихся в литературных источниках.

Для реализации информации в печатном виде необходимо выполнять общепринятые требования по оформлению - ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

### **Рекомендации по подготовке к текущей/промежуточной аттестации**

Успешное освоение программы курса предполагает:

- усвоение теоретической части курса;
- выполнение требований преподавателя (руководителя), установленных преподавателем (руководителем) в рамках профессиональной деятельности сотрудника ДВФУ;
- выполнение практической части курса.

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для проведения занятий по дисциплине «Проведение экспериментальных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий» используется следующие помещения, оборудование и приборы:

1. Лекционная аудитория (ауд. L346). Она оснащена следующим оборудованием и приборами:

- автомат сварочный в комплекте с источником питания ВДУ-1202 и кабелем управления;
- автомат сварочный АДГ-602 в комплекте с источником ВДУ-601 (аттестован НАКС).

2. Лаборатория специальных методов сварки (L339). Она оснащена следующим оборудованием и приборами:

- персональный компьютер с доступом в сеть интернет;
- принтер (многофункциональное устройство);
- монитор АОС 230LM00003, 23”;
- телевизор плазменный lg 50pt81 16:9, 1366x768, 15000:1, 1500 cd/m2, 160 degrees, xd engineiii, 15wx2, surround;
- весы электронные CAS;
- ноутбук lenovo ideapad s205 bra c50/2g/320gb/int/11/6’;
- ноутбук lenovo thinkpad x121e black 11.6" hd(1366x768) amd e300.2gb ddr3.320gb;
- проектор «ИНФОКУС ИН-24»;
- цифровой микроскоп digimicro Prof с увеличением 20–300х с USB выходом;
- приборы измерения температур: пирометр инфракрасный AR300 диапазон -32°С до 700°С, термометры стеклянные типа ТЛ, термопары типа ТХА и ТХК, термометры сопротивления медные (ТСМ) и платиновые (ТСП) мод. 115...165 с коммутационной головкой;
- учебные стенды:
  - тарировки деформационного манометра;
  - тарировки ротаметра;
  - тарировки расходомерной шайбы;
  - термометра сопротивления;
  - манометрического термометра и др.
- учебные стенды:

- стенд холодной точечной сварки;
- установка точечной ультразвуковой сварки;
- стенд диффузионной сварки;
- стенд сварки стержней трением встык;
- установка сварки пластмассовых труб;
- стенд сварки в защитной камере;
- установка сварки пластмассовых пластин горячим газом.

3. Лаборатория механических испытаний и структурного анализа (ауд L 101). Она оснащена следующим оборудованием и приборами:

- универсальная настольная испытательная машина ags-1kpx (Shimadzu, Япония);
- универсальная настольная испытательная машина AG-100 kxplus (Shimadzu, Япония);
- универсальная электромагнитная система для динамических испытаний MMT (Shimadzu, Япония)
- ультразвуковая система для усталостных испытаний USF-2000 (Shimadzu, Япония).

4. Аудитория для самостоятельной работы аспирантов:

Русский Остров, ул. Аякс, п, д. 10, кор. А (Лит. П), Этаж 10, каб. А1017.

Она оснащена следующим оборудованием и приборами:

- Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт.
- Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт.
- Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ  
ОБУЧАЮЩИХСЯ**  
по дисциплине «Проведение экспериментальных исследований в области сварки,  
родственных процессов и технологий»

2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии (технические науки)

Форма подготовки (очная)

**Владивосток  
2022**

Самостоятельная работа – это педагогически управляемый процесс самостоятельной деятельности, обеспечивающий реализацию целей и задач по овладению необходимым объемом знаний, умений и навыков, опыта творческой работы и развитию профессиональных интеллектуально-волевых, нравственных качеств будущего специалиста. Самостоятельная работа по курсу «Проведение экспериментальных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий» является важной составной частью учебно-воспитательного процесса и имеет целью: закрепить и углубить знания, полученные на теоретических и практических занятиях; выполнить контрольное задание; теоретическую подготовку к практическим занятиям; подготовиться к предстоящему экзамену по дисциплине; формировать самостоятельность и инициативу в поиске и приобретении знаний, а также умения и навыки обработки результатов наблюдений. Основным и преимущественным видом самостоятельной работы является работа с рекомендованной литературой, направленная на освоение программы курса. Самостоятельная работа должна носить систематический и непрерывный характер в течение всего семестра. Время для самостоятельной работы отводится исходя из фактического уровня знаний, умений и навыков по курсу.

#### **План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине**

| <b>№ п/п</b> | <b>Дата/сроки выполнения</b> | <b>Вид самостоятельной работы</b>           | <b>Примерные нормы времени на выполнение, час.</b> | <b>Форма контроля</b>                      |
|--------------|------------------------------|---|--|--|
| 1            | 1 – 18 неделя<br>3 семестра  | Освоение теоретического учебного материала. | 30   | Собеседования                              |
| 2            | 1 – 18 неделя<br>3 семестра  | Подготовка к практическим занятиям          | 20   | Проверка результатов практического занятия |
| 3            | 19 – 20 неделя<br>3 семестра | Подготовка к зачету                         | 4  | зачет                                      |
| <b>Итого</b> |                              |   | <b>54</b>  |  |



## Рекомендации по самостоятельной работе аспирантов

| Вид учебных занятий  | Организация деятельности обучающегося   |
|--|---|
| Занятия лекционного типа   | <p>В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на выполнение самостоятельной работы.</p> <p>В ходе лекций обучающимся рекомендуется:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вести конспектирование учебного материала;</li> <li>- обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации по их применению;</li> <li>- задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.</li> </ul> <p>В рабочих конспектах желательно оставлять поля, на которых во внеаудиторное время можно сделать пометки из учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся, дополняющего материал прослушанной лекции, а также пометки, подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений.</p> <p>Для успешного овладения курсом необходимо посещать все лекции, так как тематический материал взаимосвязан между собой. В случаях пропуска занятия аспиранту необходимо самостоятельно изучить материал и ответить на контрольные вопросы по пропущенной теме во время индивидуальных консультаций.</p> |
| Занятия практические   | <p>Практические занятия – это активная форма учебного процесса. При подготовке к практическим занятиям обучающемуся необходимо изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, учесть рекомендации преподавателя. Темы теоретического содержания предполагают дискуссионный характер обсуждения. Большая часть тем дисциплины носит практический характер, т.е. предполагает выполнение заданий и решение задач, анализ практических ситуаций.</p>  |
| Самостоятельная работа (изучение теоретического курса, подготовка к практическим занятиям) | <p>Важной частью самостоятельной работы является чтение учебной и научной литературы. Основная функция учебников – ориентировать аспиранта в системе знаний, умений и навыков, которые должны быть усвоены будущими специалистами по данной дисциплине.</p>   |
| Подготовка к экзамену  | <p>Подготовка к зачету предполагает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- изучение основной и дополнительной литературы</li> <li>- изучение конспектов лекций</li> <li>- участие в проводимых контрольных опросах</li> </ul>  |



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Проведение экспериментальных исследований в**  
**области сварки, родственных процессов и технологий»**  
**2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии (технические науки)**  
Форма подготовки очная

**Владивосток**

**2022**

## Паспорт фонда оценочных средств

| Формулировка компетенции  | Этапы формирования компетенции |  |
|---|--------------------------------|--|
| Способность научно обоснованно оценивать новые решения в области построения и моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования, а также средств технологического оснащения производства | <b>Знает</b>                   | - методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;<br>- методы моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования; |
|   | <b>Умеет</b>                   | методики альтернативных вариантов решения исследовательских и практических задач, оценки новых решений в области построения и моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем  |
|   | <b>Владет</b>                  | навыками моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования, способностью построения и моделирования средств технологического оснащения производства.  |
| Способность формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники   | <b>Знает</b>                   | методики аналитического решения задач планирования экспериментов при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники   |
|   | <b>Умеет</b>                   | формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники  |
|   | <b>Владет</b>                  | способностью формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники   |
| Способность планировать и проводить экспериментальные исследования с последующим адекватным оцениванием получаемых результатов  | <b>Знает</b>                   | методики планирования и проведения экспериментальных исследований с последующим адекватным оцениванием получаемых результатов  |
|   | <b>Умеет</b>                   | планировать и проводить экспериментальные исследования с последующим адекватным оцениванием получаемых результатов   |
|   | <b>Владет</b>                  | способностью планировать и проводить экспериментальные исследования с последующим адекватным оцениванием получаемых результатов  |
| Способность самостоятельно выполнять научные исследования в области   | <b>Знает</b>                   | методики самостоятельной разработки методик измерения, обработки полученных результатов при выполнении научных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий с использованием  |

|  |                |  |
|--|----------------|--|
| сварки, родственных процессов и технологий, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии, с целью установления математических моделей  |                | компьютерных технологий  |
|  | <b>Умеет</b>   | самостоятельно выполнять научные исследования в области сварки, родственных процессов и технологий, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии, с целью установления математических моделей  |
|  | <b>Владеет</b> | способностью самостоятельно выполнять научные исследования в области сварки, родственных процессов и технологий  |
| Способность овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, в том числе объектов, испытывающих фазовые и структурные превращения при внешних воздействиях; планировать проведение и интерпретировать экспериментальные данные по изучению физико-механических свойств сварных соединений; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов | <b>Знает</b>   | методики средства проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, планирование и проведение экспериментальных исследований по изучению свойств сварных соединений   |
|  | <b>Умеет</b>   | овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, в том числе объектов, испытывающих фазовые и структурные превращения при внешних воздействиях; планировать проведение и интерпретировать экспериментальные данные по изучению физико-механических свойств сварных соединений; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов |
|  | <b>Владеет</b> | современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций; планировать проведение и интерпретировать экспериментальные данные; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов  |

| № п/п  | Контролируемые модули/ разделы/ темы дисциплины         | Этапы формирования компетенций | Оценочные средства - наименование |                          |
|--|---|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
|  |   |                                | текущий контроль                  | промежуточная аттестация |
| <b>Раздел 1. Основы экспериментальных исследований</b> |   |                                |                                   |                          |
| 1  | Тема 1 Введение. Этапы проведения научного исследования | <b>Знает</b>                   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7,           | УО-1                     |
|  |   | <b>Умеет</b>                   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7,           | УО-2                     |
|  |   | <b>Владеет</b>                 | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7,           | ПР-7                     |

|  |  |                |                         |                      |
|--|--|----------------|-------------------------|----------------------|
| 2  | Тема 2. Виды хранения научной информации, ее поиск и обработка                       | <b>Знает</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7, |                      |
|  |  | <b>Умеет</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7, |                      |
|  |  | <b>Владеет</b> | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7, |                      |
| <b>Раздел 2. Планирование эксперимента</b>               |  |                |                         |                      |
| 3  | Тема 1. Основные понятия и определения планирования экспериментов                    | <b>Знает</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  | УО-1<br>УО-2<br>ПР-7 |
|  |  | <b>Умеет</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  |                      |
|  |  | <b>Владеет</b> | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  |                      |
| 4  | Тема 2. Характеристика полного многофакторного эксперимента                          | <b>Знает</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  |                      |
|  |  | <b>Умеет</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  |                      |
|  |  | <b>Владеет</b> | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  |                      |
| 5  | Тема 3. Статистический анализ математической модели. Дробный факторный эксперимент   | <b>Знает</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  |                      |
|  |  | <b>Умеет</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  |                      |
|  |  | <b>Владеет</b> | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  |                      |
| <b>Раздел 3. Техника экспериментального исследования</b> |  |                |                         |                      |
| 6  | Тема 1. Метрологическое обеспечение эксперимента                                     | <b>Знает</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  | УО-1<br>УО-2<br>ПР-7 |
|  |  | <b>Умеет</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  |                      |
|  |  | <b>Владеет</b> | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7, |                      |
| 7  | Тема 2. Изучение сварочных процессов   | <b>Знает</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  |                      |
|  |  | <b>Умеет</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  |                      |
|  |  | <b>Владеет</b> | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7, |                      |
| 8  | Тема 3. Обработка и оформление результатов научного исследования (проблемная лекция) | <b>Знает</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  |                      |
|  |  | <b>Умеет</b>   | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7  |                      |
|  |  | <b>Владеет</b> | УО-1, УО-2, ПР-2, ПР-7, |                      |

| <b>Расшифровка кодировок оценочных средств (ОС)</b> |               |   |  |  |
|---|---------------|---|--|--|
| <b>№ п/п</b>  | <b>Код ОС</b> | <b>Наименование оценочного средства</b> | <b>Краткая характеристика оценочного средства</b>  | <b>Представление оценочного средства в фонде</b> |
| 1   | УО-1          | Собеседование                           | Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимися на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объёма знаний обучающегося по определённому разделу, теме, проблеме и т.п. | Вопросы по темам/разделам дисциплины             |
| 2   | УО-2          | Коллоквиум                              | Средство контроля усвоения учебного материала темы, раздела или разделов дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования преподавателя с обучающимися.   | Вопросы по темам/разделам дисциплины             |
| 4   | ПР-2          | Контрольная работа                      | Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определённого типа по теме или разделу  | Комплект контрольных заданий по вариантам        |
| 5   | ПР-7          | Конспект                                | Продукт самостоятельной работы обучающегося, отражающий основные идеи заслушанной лекции, сообщения и т.д.   | Темы/разделы дисциплины                          |

## Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

| Код и формулировка компетенции  | Этапы формирования компетенции | критерии   | показатели   |
|---|--------------------------------|--|--|
| Способность научно обоснованно оценивать новые решения в области построения и моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования, а также средств технологического оснащения производства | Знает (пороговый уровень)      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;</li> <li>- методы моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования;</li> </ul> | знание методики критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач     |
|   | Умеет (продвинутый)            | методики альтернативных вариантов решения исследовательских и практических задач, оценки новых решений в области построения и моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем  | умеет формулировать методики альтернативных вариантов решения исследовательских и практических задач, оценки новых решений и средств технологического оснащения производства |
|   | Владеет (высокий)              | навыками моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования, способностью построения и моделирования средств технологического оснащения производства.  | владение способностью моделирования машин, приводов, оборудования, технологических систем и специализированного машиностроительного оборудования                             |
| Способность формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического,   | знает (пороговый уровень)      | методики аналитического решения задач планирования экспериментов при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники   | знание методики генерирования идеи в научной и профессиональной деятельности   |

|  |                           |  |   |  |
|--|---------------------------|--|---|--|
| электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники                                  | умеет (продвинутой)       | формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники              | умение формулировать нетиповые задачи математического, технологического, характера при проектировании новой техники                         | способность формулировать нетиповые задачи математического, технологического, характера при проектировании новой техники           |
|  | владеет (высокий)         | способностью формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники | владение способностью формулировать и решать нетиповые задачи математического, технологического, характера при проектировании новой техники | способностью формулировать и решать нетиповые задачи математического, технологического, характера при проектировании новой техники |
| Способность планировать и проводить экспериментальные исследования с последующим адекватным оценением получаемых результатов | знает (пороговый уровень) | методики планирования и проведения экспериментальных исследований с последующим адекватным оценением получаемых результатов  | знание методики планирования и проведения экспериментальных исследований с последующим  | способность планировать и проводить экспериментальные исследования с последующим оценением получаемых результатов                  |
|  | умеет (продвинутой)       | формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники              | умение планировать и проводить экспериментальные исследования с последующим оценением получаемых результатов                                | способностью планировать и проводить экспериментальные исследования с последующим адекватным оценением получаемых результатов      |
|  | владеет (высокий)         | способностью формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники | владение способностью планировать и проводить экспериментальные исследования с последующим адекватным оценением получаемых результатов      | способностью планировать и проводить экспериментальные исследования с последующим адекватным оценением получаемых результатов      |
| Способность самостоятельно   | знает (порог-вый)         | методики разработки измерения,   | знание современных  | способность самостоятельно   |

|  |                           |  |  |   |
|--|---------------------------|--|--|---|
| выполнять научные исследования в области сварки, родственных процессов и технологий, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии, с целью установления математических моделей   | уровень)                  | обработки полученных результатов при выполнении научных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий с использованием компьютерных технологий   | методов исследования в области сварки, родственных процессов и технологий  | выполнять научные исследования в области сварки, родственных процессов и технологий   |
|  | умеет (продвинутый)       | самостоятельно выполнять научные исследования в области сварки, родственных процессов и технологий, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии, с целью установления математических моделей                | умение самостоятельно выполнять научные исследования в области сварки, родственных процессов и технологий, используя соответствующий физико-математический аппарат с целью установления математических моделей | способность самостоятельно выполнять научные исследования в области сварки, родственных процессов и технологий, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии, с целью установления математических моделей |
|  | владеет (высокий)         | способностью самостоятельно выполнять научные исследования в области сварки, родственных процессов и технологий, используя соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии, с целью установления математических моделей   | умение самостоятельно выполнять научные исследования в области сварки, родственных процессов и технологий, используя соответствующий физико-математический аппарат с целью установления математических моделей | способностью самостоятельно выполнять научные исследования в области сварки, родственных процессов и технологий, используя соответствующий физико-математический аппарат с целью установления математических моделей  |
| Способность овладеть современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, планирование и проведение экспериментальных исследований по изучению свойств сварных соединений | знает (пороговый уровень) | методики средства проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, планирование и проведение экспериментальных исследований по изучению свойств сварных соединений | знание современных методов и средств проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций                     | способность овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций   |
|  | умеет (продвинутый)       | овладевать современными методами и средствами проведения   | умение овладевать современными методами и  | способность овладевать современными   |



|   |                          |  |  |   |
|---|--------------------------|--|--|---|
| <p>экспериментальные данные по изучению физико-механических свойств сварных соединений; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов</p> |                          | <p>экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, в том числе объектов, испытывающих фазовые и структурные превращения при внешних воздействиях; планировать проведение и интерпретировать экспериментальные данные по изучению физико-механических свойств сварных соединений; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов</p>   | <p>средствами проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, в том числе объектов, испытывающих фазовые и структурные превращения при внешних воздействиях;</p>  | <p>методами и средствами проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, в том числе объектов, испытывающих фазовые и структурные превращения при внешних воздействиях</p>   |
|   | <p>владеет (высокий)</p> | <p>способностью овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, в том числе объектов, испытывающих фазовые и структурные превращения при внешних воздействиях; планировать проведение и интерпретировать экспериментальные данные по изучению физико-механических свойств сварных соединений; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов</p> | <p>владение способностью овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, планировать проведение и интерпретировать экспериментальные данные по изучению физико-механических свойств сварных соединений; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов</p> | <p>способностью овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по исследованию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов деталей и сварных конструкций, планировать проведение и интерпретировать экспериментальные данные по изучению физико-механических свойств сварных соединений; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов</p> |

## **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

**Промежуточная аттестация аспирантов.** Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

**Текущая аттестация аспирантов.** Текущая аттестация аспирантов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Проведение экспериментальных исследований в области сварки, родственных процессов и технологий» проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения аспирантов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

**Вопросы по темам/разделам дисциплины (текущая аттестация аспирантов)**

Раздел 1. Основы экспериментальных исследований

1. Дать понятие эксперимента.
2. Виды исследований, их достоинства и недостатки.
3. Дать виды эмпирических исследований и их характеристику.
4. Дать классификацию экспериментальных исследований.

5. Дать понятие поисковому, контролирующему, натурному, оптимальному и другим видам экспериментов.

6. Дать понятие методики экспериментов.

7. Дать основные этапы разработки методики экспериментов.

8. В каком виде обычно представляются результаты экспериментов?

9. Почему графическое представление результатов более предпочтительно, чем другие виды?

10. Документальные источники информации.

11. Электронные формы информационных ресурсов.

12. Обработка научной информации, ее фиксация и хранение.

Раздел 2. Планирование эксперимента

13. Дать понятие планирования экспериментов.

14. Дать задачи планирования эксперимента.

15. Дать основные требования к планированию эксперимента.

16. Дать понятие объекту исследования, параметрам оптимизации, факторам, уровням варьирования.

17. Как графически представляется объект исследования?

18. Дать понятие параметру оптимизации.

19. Что значит произвести ранжирование параметра оптимизации?

20. Дать основные требования к параметру оптимизации.

21. Что значит однозначность и универсальность параметра оптимизации?

22. Когда применяют обобщенный параметр оптимизации?

23. Дать виды и характеристику обобщенного параметра оптимизации.

24. Дать понятие фактору и интервалу варьирования.

25. Дать требования к факторам.

26. Что значит однозначность и совместимость факторов?

27. Отчего зависит количество экспериментов, как выражается зависимость?

28. Как задается интервал варьирования?

29. Для чего факторы кодируются, как это выражается?
30. Дать понятие полного факторного эксперимента.
31. Как рассчитывается количество экспериментов в ПФЭ?
32. Рассчитать количество экспериментов в ПФЭ с двумя уровнями и двумя (и тремя) факторами?
33. Что такое матрица планирования?
34. Как графически представляется матрица планирования?
35. Дать правило чередования знаков для составления матрицы планирования.
36. Дать понятие рандомизации, для чего она используется?
37. Что является математической моделью результата экспериментов?
38. Когда применяют полином более высокой степени?
39. В чем достоинство полинома 1-й степени, когда он применяется?
40. Что такое коэффициенты регрессии?
41. Почему производится статистический анализ модели?
42. Дать понятие однородности дисперсий и воспроизводимости опытов.
43. Дать понятие статистической значимости коэффициентов модели.
44. Дать понятие адекватности модели.
45. Как производится проверка однородности дисперсий?
46. Как производится проверка статистической значимости коэффициентов модели?
47. Как производится проверка адекватности модели?
48. Что такое дисперсия каждой серии опытов?
49. Как рассчитывается степень свободы?
50. Что такое линейные коэффициенты и коэффициенты взаимодействия в уравнении регрессии?
51. Что такое уравнение регрессии?
52. Какими коэффициентами в уравнении регрессии можно пренебречь?

53. Как находятся знаки в расчете эффектов взаимодействия?

54. Какой вид уравнения регрессии обычно используется в дробном факторном эксперименте?

55. Какой план называется дробным факторным экспериментом?

Раздел 3. Техника экспериментального исследования

56. Указать причины погрешностей измерений.

57. Что такое погрешность и точность измерения?

58. Дать классификацию погрешностей измерений.

59. Дать понятия абсолютной, относительной и приведенной погрешностей.

60. Дать понятия систематической, случайной и грубой погрешностей.

61. Для какой погрешности можно ввести поправку?

62. Что необходимо производить с грубой погрешностью?

63. Почему невозможно ввести поправку на случайную погрешность?

64. Что такое нормальный закон распределения?

65. Как представляются результаты измерений случайных величин?

66. Что такое классы точности средств измерений?

67. Дать понятия средств измерений линейных размеров.

68. Дать понятия средств измерений температур.

69. Дать понятия средств измерений давлений.

70. Дать понятия средств измерений расходов сред.

71. Как представляются результаты научного исследования.

72. Как представляются обработка и графические результаты исследований.

73. Как проводится формализация графических результатов исследований.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

---

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по дисциплине «Проведение экспериментальных исследований в области  
сварки, родственных процессов и технологий»

**2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии (технические науки)**

**Форма подготовки очная**

Владивосток

2022

## **Практическое занятие-семинар №1 «Виды экспериментов»**

*Цель работы* – ознакомление характеристиками видов экспериментов.

Содержание занятия: заранее (за 2-3 недели) аспиранты выбирают следующие темы для оформления реферата и подготовки доклада на 10-15 мин:

1. По способу формирования условий - естественный и искусственный.
2. По целям исследования - преобразующие, констатирующие, контролирующие, поисковые, решающие.
3. По организации проведения - лабораторные, натурные, полевые, производственные, поисковый, оптимальный, однофакторный, многофакторный
4. По отношению к объекту исследования – открытый, закрытый.
5. По характеру внешних воздействий на объект исследования - вещественные, энергетические, информационные.
6. По характеру взаимодействия средства измерения на объект исследования - обычный (или классический), модельный.

В материалах занятия представляется рассматриваемая проблема, создана проблемная ситуация, это значительно активизирует подготовку обучающихся к занятию. По заданным темам занятия представляется рекомендованная литература, выявляются материалы конспекта, необходимые для ознакомления с заданной темой. Для иллюстрации материала доклада аспиранты представляют презентацию с различными слайдами и видеофильмами. В ходе семинара педагог-руководитель использует вопросы уточняющие, встречающие, наводящие и проблемные. Вопросы, возникающие в ходе семинара, разрешаются самими аспирантами.

Заключительное слово преподавателя содержит:

- оценку выступления каждого аспиранта и группы в целом;
- оценку уровня обсуждения вопросов в целом;

- ответы на вопросы, которые не получили должного освещения в ходе семинара;
- пожелания по подготовке к очередному семинару.

## **Практическое занятие-семинар №2 «Методы активизации научного мышления»**

*Цель работы* – освоение методов активизации научного мышления и получения новых идей.

*Содержание занятия:* заранее (за 2-3 недели) аспиранты выбирают следующие темы для оформления реферата и подготовки доклада на 10-15 мин.

### **Тема 2.1. Метод фокальных объектов**

#### *1. Краткие теоретические сведения*

Метод фокальных объектов (МФО) создал в 1923г. Э. Кунце - профессор Берлинского университета, в 50-е г.г. метод усовершенствовал Ч. Вайтинг в США. Метод отличается простотой и большими (неограниченными) возможностями поиска новых точек зрения на решаемую проблему. В методе используются ассоциативный поиск и эвристические свойства случайности.

Суть - активизация ассоциативного мышления человека. Сущность состоит в перенесении признаков случайно выбранных объектов на совершенствуемый объект, который лежит как бы в фокусе переноса и поэтому называется фокальным.

#### ***Область применения:***

- поиск новых возможностей выпуска товара народного потребления;
- решение задач рекламы, получение новых конструкторских решений;
- упражнение по развитию творческого воображения (РТВ).

#### ***Преимущества:***

- простота изучения метода;



- некоторая вероятность неожиданных комбинаций, идей;
- хорошо развивает фантазию.

***Недостаток:***

- не годится для решения сложных задач;
- нет критериев для отбора идей.

Техника применения метода следующая:

1. Выбираем совершенствуемый объект или явление (прототип, помещаемый в фокус" - фокальный объект) и цель изменения;
2. Выбираем несколько случайных объектов (можно взять их из книг, словаря, газеты, из квартирной мебели и т. д.), числом 3. . . 5.
3. Составляем для каждого случайного объекта перечень возможных признаков и свойств.
4. Генерируем идеи путем присоединения к фокальному объекту признаков случайных объектов.
5. Развиваем полученные сочетания путем свободных ассоциаций.
6. Оцениваем полученные идеи и отбираем полезные решения.

Пример.

1) Объект - кастрюля (фокальный объект). Цель - расширение ассортимента выпускаемых на предприятиях кастрюль, повышение спроса на эту продукцию.

2) Случайные объекты: дерево, лампа, кошка, сигарета.

3) Признаки случайных объектов:

Дерево - высокое, зеленое, голое, срубленное, чахлое, железное, хлебное, пробковое, с толстой корой, с корнями, раскидистое, колючее.

Лампа - электрическая, светящаяся, настольная, электронная, разбитая, паяльная, керосиновая, газовая, волшебная, матовая, цветная.

Кошка - живая, игривая, пушистая, сибирская, царапающаяся, голодная, злая, полосатая, нюхающая, мяукающая, дикая, домашняя.

Сигарета - дымящаяся, вредная, с фильтром, с опиумом, смятая, брошенная, отсыревшая, горящая.

4) Присоединяем к кастрюле признаки:

а) дерева: высокая кастрюля, хлебная кастрюля, кастрюля с корнями, кастрюля с колючками;

б) лампы: электрическая кастрюля, разбитая кастрюля, волшебная кастрюля, светящаяся кастрюля;

в) кошки: нюхающая кастрюля, мяукающая кастрюля;

г) сигареты: дымящаяся кастрюля, кастрюля с фильтром.

5) Развиваем полученные идеи:

кастрюля с корнями - кастрюля с вделанной в нее теплоизолирующей прокладкой; разбитая кастрюля – кастрюля, разбитая на секции, в которой можно одновременно готовить несколько блюд; нюхающая кастрюля - кастрюля с индикатором, определяющим подгорание пищи; мяукающая кастрюля - подающая сигнал об окончании варки и т.д.

## 2. Задание

Найти новые решения для заданных совершенствующих объектов (табл. 1.1).

Таблица 1.1

### Объекты, предназначенные для совершенствования

| № варианта | Объект            | Цель совершенствования | Примечание |
|------------|-------------------|------------------------|------------|
| 1          | Огнетушитель      | Увеличение функций     |            |
| 2          | Пылесос           | Улучшение              |            |
| 3          | Стул              | Увеличение функций     |            |
| 4          | Телефон           | Улучшение              |            |
| 5          | Утюг              | Увеличение функций     |            |
| 6          | Фотоаппарат       | Улучшение              |            |
| 7          | Диван             | Увеличение функций     |            |
| 8          | Весы              | Улучшение              |            |
| 9          | Кресло            | Улучшение              |            |
| 10         | Самолет           | Улучшение              |            |
| 11         | Аккумулятор       | Увеличение функций     |            |
| 12         | Холодильник       | Улучшение              |            |
| 13         | Телевизор         | Увеличение функций     |            |
| 14         | Велосипед         | Увеличение функций     |            |
| 15         | Стиральная машина | Улучшение              |            |

|    |                    |                    |  |
|----|--------------------|--------------------|--|
| 16 | Часы               | Улучшение          |  |
| 17 | Кухня              | Улучшение          |  |
| 18 | Вешалка для одежды | Увеличение функций |  |
| 19 | Тумбочка для обуви | Увеличение функций |  |
| 20 | Светильник         | Улучшение          |  |

### 3. Порядок выполнения.

Порядок выполнения – см. технику применения метода (п.2.1-2.6).

## Тема 2.2. Мозговой штурм

### 1. Краткие теоретические сведения

Основатель: Алекс Осборн (США), 40 гг. XX столетия.

*Метод основан на следующем психологическом эффекте:* в небольшой группе людей (5—8 человек) можно создать условия, при которых количество идей высказанных коллективно, значительно превышает сумму идей, высказанных, при других условиях, каждым индивидуально. Эффект цепной реакции идей, приводящей к интеллектуальному взрыву (озарению).

*Цель метода:* стимулировать всех участников обсуждения к быстрому генерированию большого числа идей.

*Прием:* разделение процесса решения на две части: генерации идей и обсуждения идей.

*Условия:* отсутствие всякой критики во время генерации идей. Доброжелательность, взаимная поддержка.

#### *Правила:*

1. Выбирается группа «генераторов идей» (5-7 чел.). Среди них обязательно должны быть дилетанты по отношению к данной сфере деятельности.

2. В обстановке полного комфорта для работы раскрепощенной творческой мысли идет генерация идей (20-40 мин.). Все предложения фиксируются (запись на бумаге или на магнитофон) без малейшего признака критики и отбора. Ведущий (наиболее опытный в использовании метода человек) стимулирует творческую активность, поддерживает участников.

3. По завершении генерации к работе приступает группа аналитиков. Каждая идея обсуждается. В каждой идее ищется хоть что-нибудь полезное. Выбираются наиболее интересные решения.

4. Доработка отобранных решений, консультации со специалистами и пр.

### **Обратный мозговой штурм**

*Основной принцип:* поиск недостатков ТС — ключ к ее совершенству.

*Основа метода:* выявление всевозможных недостатков рассматриваемого объекта, на который обрушивается ничем не ограниченная критика.

Используется при выполнении следующих процедур:

- разработка технического задания или технического предложения;
- уточнение изобретательских и рационализаторских задач;
- экспертиза проектно-конструкторской документации на любой стадии разработки (техническое задание, техническое предложение, технический или рабочий проект, экспериментальный или опытный образец);
- оценка эффективности закупаемых изделий и пр.

*Примеры:* американские группы противодействия при создании новой военной техники; «диверсионный анализ» готового изделия, на которое было много рекламаций;

*Цель:* поиск и устранение возможных недостатков ТС.

*Достоинства:* помогает преодолевать психологическую инерцию - привычный ход мышления, опирающийся на прошлое знание об объекте; помогает сдвинуть мысль с «мертвой точки».

*Недостатки:* не имеет способов управления поиском.

### *2. Задание*

Найти новые решения для заданных совершенствующих объектов (табл. 2.1).

## Объекты, предназначенные для совершенствования

| № варианта | Объект                           | Цель совершенствования | Примечание |
|------------|----------------------------------|------------------------|------------|
| 1          | Проезд в общественном транспорте |                        |            |
| 2          | Обслуживание в кафе              |                        |            |
| 3          | Концерт на площади               |                        |            |
| 4          | Отдых на дискотеке               |                        |            |
| 5          | Отдых на пляже                   |                        |            |
| 6          |                                  |                        |            |
| 7          |                                  |                        |            |
| 8          |                                  |                        |            |

*3. Порядок выполнения.*

Порядок выполнения – см. технику применения метода (п.1.1).

**Тема 2.3. Метод морфологического анализа**

*Цель* – освоение метода морфологического анализа.

*1.Краткие теоретические сведения*

Метод морфологического анализа (ММА) — метод систематизации перебора вариантов решения, увеличения их количества, исключает повторы. Всем известны преимущества классификации: она позволяет быстрее и точнее ориентироваться в многообразии понятий и фактов.

Морфоанализ (*morphe* греч. форма) основан на классификации и комбинировании элементов и свойств объекта.

Суть метода — выявление нескольких морфологических (типовых, видовых, отличительных) признаков (параметров), значимых для решаемой задачи, и составление всех возможных сочетаний этих признаков. В результате направленного и системного анализа генерируется новая информация, которая при простом переборе вариантов ускользает от внимания.

Впервые ММА был применен для решения технических задач в 1942 г. - швейцарским разработчиком ракетных двигателей и астрофизиком. Ф. Цвикки. Он же, благодаря методу, предсказал

Этапы работы по ММА:

1. Создается список всех возможных свойств, характеристик и параметров объекта или идеи, над которыми вы работаете.

2. Для создания нового объекта или идеи — начинают менять по одному или по нескольку свойств.

3. Начинают комбинировать свойства, характеристики и параметры.

Общее количество возможных вариантов равно произведению количества элементов в каждой строке.

Ниже приведен пример построения матрицы для поиска идей при исследовании транспортных средств.

Для построения матрицы сначала составляется перечень изучаемых параметров: транспортные средства, источники энергии и трансмиссия (*устройство для преобразования вида движения*). Затем, используя источники информации, приведем характеристику параметров. Например, транспортное средство может быть в виде автомобиля А1, локомотива А2, самолета А3, корабля А4.

В качестве источника энергии может быть паровой котел Б1, двигатель внутреннего сгорания Б2, газовая турбина Б3, реактивный двигатель Б4, атомный реактор Б5, солнечная батарея Б6.

Трансмиссия может быть механическая В1, гидравлическая В2, электрическая В3.

Полученные данные занесены в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

|                       |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|
| Транспортное средство | А1 | А2 | А3 | А4 | -  | -  |
| Источник энергии      | Б1 | Б2 | Б3 | Б4 | Б5 | Б6 |
| Трансмиссия           | В1 | В2 | В3 | -  | -  | -  |

Составленная матрица позволяет получить 72 возможных комбинаций. Среди них известные в отечественной и мировой практике и принципиально возможные в перспективе варианты:

- А1Б2В3 - автомобиль с двигателем внутреннего сгорания и механической трансмиссией;
- А1Б2В2 - автомобиль с двигателем внутреннего сгорания и гидравлической трансмиссией;
- А1Б6В3 - автомобиль с солнечными батареями и электрической трансмиссией;
- А2Б1В1 - локомотив с паровым котлом и механической передачей (паровоз);
- А2Б2В2 - локомотив с двигателем внутреннего сгорания и гидравлической передачей трансмиссией (тепловоз);
- А3Б2В1 - самолет с двигателем внутреннего сгорания и механической передачей энергии к винту;
- А3Б4В1 - реактивный самолет и др.

Многие идеи, образованные аналогичным образом, могут быть неприемлемы вообще. Их следует исключить из рассмотрения.

Построив матрицу, производят оценку вариантов и выбирают наилучший.

*Достоинства:* ММА облегчает получение сотен и тысяч новых сочетаний, дает возможность окинуть их единым взором и систематически исследовать.

*Недостатки:* «Оборотная сторона медали» — громоздкость метода.

## 2. Задание

Найти новые решения для заданных объектов (табл. 3.2).

## Объекты, предназначенные для совершенствования

| № варианта | Объект            | Цель совершенствования | Примечание |
|------------|-------------------|------------------------|------------|
| 1          | Огнетушитель      |                        |            |
| 2          | Пылесос           |                        |            |
| 3          | Ноутбук           |                        |            |
| 4          | Телефон           |                        |            |
| 5          | Велосипед         |                        |            |
| 6          | Микроволновка     |                        |            |
| 7          | Весы              |                        |            |
| 8          | Принтер           |                        |            |
| 9          | Кухонный комбайн  |                        |            |
| 10         | Холодильник       |                        |            |
| 11         | Телевизор         |                        |            |
| 12         | Кофеварка         |                        |            |
| 13         | Стиральная машина |                        |            |
| 14         | Соковыжималка     |                        |            |
| 15         | Велотренажер      |                        |            |
| 16         | Часы              |                        |            |
| 17         | Термометр         |                        |            |
| 18         | Музыкальный центр |                        |            |
| 19         | Светильник        |                        |            |
| 20         | Чайник            |                        |            |

*3. Порядок выполнения.*

Порядок выполнения – см. технику применения метода (п.1).

**Тема 2.4. Метод контрольных вопросов**

*Цель* – освоение метода контрольных вопросов.

*1. Краткие теоретические сведения*

Сократ в диалоге мог так искусно задавать вопросы, что его собеседнику ничего не оставалось, как, отвечая на них, придти к истине. Видимо, это побудило методологов изобрести метод контрольных вопросов, который позволяет более целеустремленно вести поиск решения задачи.

Суть метода состоит в использовании при поиске решений творческих задач списка специально подготовленных вопросов. Изобретатель, отвечая на эти вопросы, анализирует свою задачу. Благодаря методу осознание проблемы идет более целенаправленно, системно.



В практике изобретательской деятельности широкое распространение получили универсальные вопросники, составленные А. Осборном, Т. Эйлоартом, Д. Пирсоном, А. Пойа, Г. Я. Бушем и др. Это своего рода шпаргалки изобретателю, путеводные нити для его мысли.

*Список контрольных вопросов А. Осборна:*

1. Какое новое применение технического объекта можно предложить? Возможны ли новые способы применения? Как модифицировать известные способы применения?

2. Возможно ли решение изобретательской задачи приспособления, упрощения, сокращения? Что напоминает данный технический объект? Вызывает ли аналогия новую идею? Имелись ли в прошлом аналогичные проблемные ситуации, которые можно использовать? Что можно копировать? Какой технический объект нужно опережать?

3. Какие модификации технического объекта возможны? Приемлема ли модификация путем вращения, сгиба, скручивания, поворота? Какие изменения назначения (функции), движения, цвета, запаха, формы, очертаний можно применить? Другие возможные изменения?

4. Что можно увеличить в техническом объекте? Что можно присоединить? Возможно ли увеличение срока службы, воздействия? Имеет ли смысл увеличить размеры, частоту, прочность, повысить качество? Можно ли присоединить новый градиент, продублировать? Возможны ли мультипликации рабочих органов, позиций или других элементов? Целесообразно ли преувеличение, гиперболизация элементов или всего объекта? (пояснение: градиент — показатель какого-то свойства, обладающего возможностью возрастания или убывания, изменения).

5. Что можно в техническом объекте уменьшить или заменить? Можно ли что-нибудь уплотнить, сжать, сгустить, сконденсировать, применить способ миниатюризации, укоротить, сузить, отделить, раздробить, приумножить?

6. Что в техническом объекте можно заменить? Что и сколько можно замещать в нем: использовать другой ингредиент, другой материал, другой процесс, другой источник энергии, другое расположение, другие цвет, звук, освещение?

7. Что можно преобразовать в техническом объекте? Какие компоненты допустимо заменить? Можно ли изменить модель, разбивку, разметку, последовательность операций? Можно ли поменять причину и эффект, изменить скорость или темп, режим?

8. Что можно в техническом объекте сделать наоборот? Нельзя ли поменять местами противоположно размещенные элементы или повернуть их задом наперед, низом вверх? Нельзя ли поменять полярность, перевернуть зажимы?

9. Какие новые комбинации элементов технического объекта возможны? Можно ли создать смесь, сплав, новый ассортимент, состав? Можно ли комбинировать секции, узлы, блоки, агрегаты, цепи? Можно ли комбинировать признаки, идеи?

## 2. Задание

Найти новые решения для заданных объектов (табл. 4.1).

Таблица 4.1

### Объекты, предназначенные для совершенствования

| № варианта | Объект                 | Цель совершенствования | Примечание |
|------------|------------------------|------------------------|------------|
| 1          | Автокран               |                        |            |
| 2          | Автомойка улиц         |                        |            |
| 3          | Строительный кран      |                        |            |
| 4          | Холодильник            |                        |            |
| 5          | Автоэвакуатор          |                        |            |
| 6          | Бетоновоз              |                        |            |
| 7          | Человекоподобный робот |                        |            |
| 8          | Снегоуборщик           |                        |            |
| 9          | Паром                  |                        |            |
| 10         | Автосамосвал           |                        |            |
| 11         | Автоконтейнеровоз      |                        |            |
| 12         | Автомат продажи банок  |                        |            |

|    |                                    |  |  |
|----|------------------------------------|--|--|
|    | «Пепси»                            |  |  |
| 13 | Автомат продажи горячего кофе      |  |  |
| 14 | Автомат продажи билетов            |  |  |
| 15 | Автоматический шлакбаум            |  |  |
| 16 | Бензовоз                           |  |  |
| 17 | Автоматические двери               |  |  |
| 18 | Спутник ретрансляции радиосигналов |  |  |
| 19 | Грузовой самолет                   |  |  |
| 20 | Трактор с плугом                   |  |  |

### 3. Порядок выполнения.

Порядок выполнения – см. технику применения метода (п.1).

## Тема 2.6. Изучение научно-справочного аппарата книги

*Цель* – освоение научно-справочного аппарата книги.

### 1. Краткие теоретические сведения

Научно-справочный аппарат книги – это дополнительные материалы по общим данным книги.

1.1. Информационная часть – предварительная информация об источнике и его особенностях (библиографическое описание):

- а) сведения о названии;
- б) сведения об авторе (авторах);
- в) функциональное назначение источника;
- г) сведения об издателях;
- д) краткая характеристика (аннотация);
- е) выходные данные – условный печатный лист.

Эти сведения – на титульном листе и на обороте.

Международный стандартизованный книжный номер (паспорт)

ISBN 978 - 5 - - - - (13 цифр) – это как ИНН книги

РФ код № контр.

изд-ва книги цифра

© - копирайт – охрана авторских прав.

C78 – знак для библиотеки (для поиска).

Условный печатный лист – это лист с 38-42 строками, в строке около 65 знаков с пробелами, 16 таких листов – 1 условный печатный лист (базовый лист с форматом 60x90 см). Форматы листов разные (60x70, 60x108, 70x100 см и др.).

Расчет любого печатного издания в условных печатных листах (усл.п.л.).

1. Рассчитывается количество листов, которые надо перевести в усл.п.л. (например, 6 стр.).

2. В выходных данных находится формат, например: 70x100/16, где 16 – доля усл.п.л.

3. Рассчитывается грубое количество усл.п.л. – кол-во стр./доля усл.п.л.,

например:

$$N_1 = \frac{6 \text{ стр}}{16} = 0,38 \text{ п.л.}$$

4. Уточняется значение усл.п.л. с учетом формата. Для нашего формата 70x100 коэффициент  $k = 1,3$  (см табл.6.1). Рассчитывается поправка

$$N = N_1 \cdot k = 0,38 \cdot 1,3 = 0,48 \text{ п.л.}$$

Таблица 6.1

|                  |       |        |        |        |        |       |        |        |
|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Формат листа, см | 60x70 | 60x84  | 60x90  | 60x100 | 60x108 | 60x86 | 60x75  | 60x84  |
| Коэффициент      | 0,78  | 0,93   | 1      | 1,11   | 1,12   | 0,97  | 0,96   | 1,09   |
| Формат листа, см | 70x90 | 70x100 | 70x108 | 75x90  | 80x100 | 84x90 | 84x100 | 80x108 |
| Коэффициент      | 1,17  | 1,3    | 1,4    | 1,25   | 1,48   | 1,4   | 1,56   | 1,68   |

1.2. Пояснительная часть – разъясняет и дополняет авторский текст источника:

а) предисловие (от автора, от редактора, от переводчика, от редакции) – представлены мотивы написания, особенности содержания, степень полноты освещения проблемы, круг читателей;

б) аннотация – краткие сведения о содержании, назначении книги, значении книги для читателей, без представления результатов (объем 6-10 строк);

в) послесловие – заключение с краткими результатами и постановкой новых задач.

1.3. Поисковая часть – облегчает поиск и отбор информации:

а) содержание (в конце), оглавление (в начале);

б) указатели – имен, географических названий (на картах), иллюстраций;

в) принятые сокращения.

## *2. Задание*

Составить аннотацию и реферат по теме лекции, указанной преподавателем, а также резюме на себя.

## *3. Порядок выполнения.*

Порядок выполнения – в соответствии с заданием.

## **Практическое занятие-семинар №3 «Определение доверительной вероятности и надежности выборки случайных величин»**

*Цель работы:* Определение «наилучшего» результата выборки и его основных статистических характеристик.

### *1. Теоретическая часть*

При многократных измерениях одного и того же параметра обычно результаты отличаются друг от друга на какую-либо величину, которая может изменяться по величине (по модулю), а также по знаку, т.е. меняться

от среднего значения в большую или меньшую сторону. Такие измерения имеют случайную ошибку и обрабатываются методами статистики, ввести поправку на такие измерения невозможно. Примером такого измерения может быть измерение размера деталей, выпускаемых станком-автоматом.

Для определения статистических характеристик этого измерения используют определенное количество отобранных деталей, которые называют *выборкой*. Чем больше выборка, тем более надежна обработка.

1.1. Одним из основных показателей этой выборки является истинное (или действительное) измеренное значение. Обычно оно неизвестно, по заданию его надо найти.

Из теории статистической обработки для нормального закона распределения результатов измерений известно, что наиболее близким к истинному значению является *среднее арифметическое значение (САЗ)*

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.1)$$

где  $x_i$  – измеренные значения;  $n$  – количество измеренных значений.

1.2. Важной статистической характеристикой выборки является среднее квадратичное отклонение (СКО), которое указывает на величину разброса измеренных значений относительно среднего арифметического значения. СКО является условной величиной, характеризует диапазон разброса 68,3 % (или примерно 2/3) количества измеренных значений.

СКО определяется по зависимости

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (3.2)$$

Деление на  $(n-1)$  производится для уменьшения погрешности использования среднего арифметического, а не истинного значения. Чем больше выборка, тем меньше эта погрешность.

Результаты измерений представляются в виде

$$x = \bar{X} \pm \sigma \quad (3.3)$$

1.3. Нормальность закона распределения измеренных значений характеризуется тем, что разные отклонения измерений от среднего арифметического отличаются по следующей закономерности: с уменьшением величины отклонения их количество увеличивается (рис. 3.1, а).

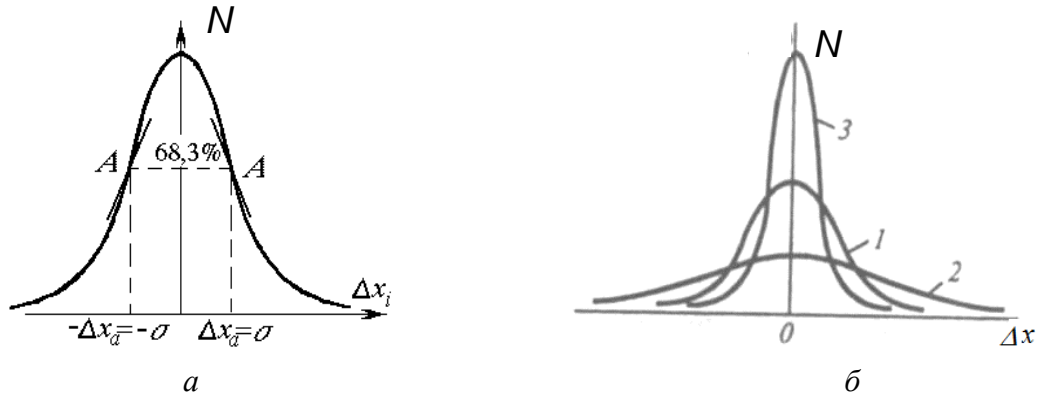


Рис. 3.1. Нормальный закон распределения отклонений от среднего арифметического (а), вид нормального закона для разных СКО (б)  
1 -  $\sigma=1$ ; 2 -  $\sigma=2$ ; 3 -  $\sigma=0,5$ ;

На этом графике случайное отклонение  $\Delta x = x_i - \bar{X}$ , где  $x_i$  – измеренные значения;  $\bar{X}$  - среднее арифметическое;  $N$  - количество (вероятность появления) этих отклонений (в %). Чем больше разброс измеренных значений относительно среднего арифметического, тем шире кривая распределения (рис. 3.1, б).

На практике для ориентировочной оценки распределения измеренных значений по нормальному закону используют следующие правила:

а) если значения отклонений любого измерения в выборке не превышает  $3\sigma$ , то данная выборка распределена по нормальному закону, т.е. если максимальное измеренное отклонение (см. табл. 3.1)

$$\Delta x_{\max} = x_{\max} - \bar{X} < 3\sigma, \quad (3.4)$$

то данная выборка имеет нормальный закон распределения.

б) при  $11 < n < 50$  применяется так называемый составной критерий, который рассчитывается по зависимости

$$d = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}. \quad (3.5)$$

Распределение результатов измерений имеет нормальный закон, если соблюдается условие

$$d_{\min} < d < d_{\max}, \quad (3.6)$$

где  $d_{\min}$  и  $d_{\max}$  – граничные значения составного критерия, зависят от доверительной вероятности  $P$  и количества измерений  $n$  и определяются по таблице 3.1.

При  $n < 11$  гипотеза о том, что результаты измерений подчиняются нормальному закону распределения, не проверяется. Решение принимается на основании анализа априорной информации.

Таблица 3.1 - Граничные значения составного критерия

| N  | P=0,9      |            | P=0,95     |            | P=0,99     |            |
|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|    | $d_{\min}$ | $d_{\max}$ | $d_{\min}$ | $d_{\max}$ | $d_{\min}$ | $d_{\max}$ |
| 11 | 0,741      | 0,89       | 0,715      | 0,91       | 0,667      | 0,936      |
| 16 | 0,745      | 0,873      | 0,724      | 0,888      | 0,683      | 0,914      |
| 21 | 0,749      | 0,863      | 0,730      | 0,877      | 0,695      | 0,90       |
| 26 | 0,753      | 0,857      | 0,736      | 0,869      | 0,704      | 0,890      |
| 31 | 0,756      | 0,851      | 0,740      | 0,863      | 0,711      | 0,883      |
| 36 | 0,758      | 0,847      | 0,744      | 0,858      | 0,717      | 0,877      |
| 41 | 0,760      | 0,844      | 0,747      | 0,854      | 0,722      | 0,872      |
| 46 | 0,762      | 0,841      | 0,75       | 0,851      | 0,726      | 0,868      |
| 51 | 0,764      | 0,839      | 0,752      | 0,848      | 0,729      | 0,865      |

В инженерной практике размеры деталей, полученные из одного источника, обычно имеют нормальный закон распределения. При большом количестве деталей их размеры имеют также нормальный закон распределения для нескольких источников их получения.

Для более обоснованной проверки нормальности распределения данных используются ряд критериев согласия:

- критерий Шапиро - Уилка;
- критерий К.Пирсона;
- параметрический критерий Романовского.



## 2. Задание

1. Выполнить многократные измерения длин заданной выборки деталей с помощью инструмента - штангенциркуля.
2. Рассчитать САЗ и СКО заданной выборки.
3. Проверить выборку на нормальный закон распределения.
4. Привести результаты измерений.

Таблица 3.1  
Результаты измерений и расчетов

| $i$ | $x_i$ ,<br>мм | Отклонения и квадрат           |                                  |
|-----|---------------|--------------------------------|----------------------------------|
|     |               | $\Delta x_i = (x_i - \bar{X})$ | $(x_i - \bar{X})^2$              |
| 1   |               |                                |                                  |
| 2   |               |                                |                                  |
| 3   |               |                                |                                  |
| ... |               |                                |                                  |
| $n$ |               |                                |                                  |
|     | $\bar{X} =$   | $\sum_{i=1}^n \Delta x_i =$    | $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2$ |

## 3. Порядок проведения работы

- 3.1. Изучить теоретическую часть, ответить на контрольные вопросы.
- 3.2. Измерить длины предоставленных деталей, либо выбрать из табл. 3.3 по заданному варианту, результаты внести в табл. 3.2.
- 3.3. Рассчитать среднее арифметическое значение  $\bar{X}$  по (3.1) и отклонения  $\Delta x_i = (x_i - \bar{X})$ . Результаты внести в табл. 3.2.
- 3.4. Произвести проверку правильности расчета САЗ, при этом сумма отклонений должна быть  $\sum_{i=1}^n \Delta x_i \approx 0$ .
- 3.5. Рассчитать СКО по (3.2). Расчеты производить с применением табл. 3.1.
- 3.6. Представить результаты измерений в виде (3.3).
- 3.7. Определить нормальность распределения заданной выборки деталей по зависимостям (3.4) и (3.5). Сделать вывод.

### 5. Контрольные вопросы

1. Дать понятие выборки.
2. Какое значение для выборки случайных величин является наиболее близким к истинному?
3. Дать определение СКО.
4. Дать понятие нормальности закона распределения.
5. Методы определения нормальности закона распределения.

Таблица 3.3

### ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

| № вар. | Целая часть чисел | Цифры после запятой  |
|--------|-------------------|--|
| 1      | 3                 | 72, 02, 63, 66, 52, 77, 71, 84, 72, 88, 63, 99, 98, 73, 63, 68 |
| 2      | 4                 | 43, 41, 13, 01, 35, 46, 37, 32, 42, 04, 48, 37, 97, 39, 47     |
| 3      | 5                 | 73, 57, 68, 62, 73, 65, 78, 03, 99, 57, 76, 55, 67, 66, 58     |
| 4      | 6                 | 77, 14, 59, 72, 73, 88, 72, 94, 96, 99, 78, 68, 82, 96, 74, 81 |
| 5      | 7                 | 28, 42, 31, 39, 38, 02, 08, 32, 38, 37, 32, 48, 84, 36, 07     |
| 6      | 8                 | 41, 36, 02, 86, 09, 48, 33, 27, 09, 36, 47, 38, 16, 19, 17     |
| 7      | 9                 | 60, 73, 88, 83, 12, 73, 72, 75, 78, 83, 95, 73, 67, 77, 68, 99 |
| 8      | 8                 | 74, 10, 76, 93, 68, 72, 85, 89, 69, 98, 67, 65, 82, 68, 83     |
| 9      | 7                 | 54, 78, 81, 73, 78, 86, 98, 67, 86, 68, 07, 76, 62, 78, 81     |
| 10     | 6                 | 04, 17, 42, 23, 38, 27, 43, 11, 88, 18, 35, 13, 28, 37, 48, 36 |
| 11     | 5                 | 30, 01, 13, 35, 16, 27, 42, 22, 98, 38, 27, 36, 11, 23, 32     |
| 12     | 4                 | 62, 90, 73, 86, 62, 97, 71, 84, 09, 96, 93, 73, 80, 68, 56     |
| 13     | 3                 | 48, 22, 83, 25, 38, 02, 07, 26, 35, 37, 27, 42, 18, 30, 28, 38 |
| 14     | 2                 | 98, 72, 73, 88, 82, 94, 96, 99, 78, 04, 68, 81, 80, 62, 68, 73 |
| 15     | 1                 | 11, 29, 48, 42, 48, 02, 22, 18, 89, 32, 18, 35, 10, 46, 42     |
| 16     | 2                 | 68, 73, 83, 72, 75, 98, 08, 73, 65, 96, 74, 62, 88, 97, 73, 84 |
| 17     | 3                 | 90, 76, 73, 02, 92, 85, 99, 69, 93, 87, 59, 73, 92, 88, 61     |
| 18     | 4                 | 27, 12, 01, 18, 37, 23, 31, 18, 28, 45, 16, 97, 30, 31         |
| 19     | 5                 | 76, 63, 09, 82, 75, 81, 69, 93, 77, 85, 89, 59, 94, 82, 98, 71 |
| 20     | 6                 | 17, 48, 01, 33, 45, 28, 98, 27, 16, 15, 47, 33, 18, 26         |
| 21     | 7                 | 82, 63, 86, 72, 73, 71, 84, 62, 76, 83, 69, 98, 64, 73, 12, 74 |
| 22     | 8                 | 88, 81, 73, 12, 75, 78, 83, 95, 73, 67, 78, 89, 72, 72, 98     |

### Практическое занятие №4 «Построение плана полного факторного эксперимента, расчет модели»

*Цель работы:* освоение методики построения плана полного факторного эксперимента, расчета математической модели.

### 1. Теоретическая часть

Решение большинства проблем в пищевой технологии связано с проведением сложных и дорогостоящих экспериментов. Отсюда понятно значение методов планирования эксперимента, позволяющих в ряде случаев существенно сократить затраты времени и материальных средств на выполнение исследовательских работ.

Первые попытки применить математические методы для планирования эксперимента были сделаны английским математиком Р. Фишером в начале 20-х годов. Особенно быстрыми темпами теория планирования эксперимента стала развиваться после 1951 г. в связи с появлением работ Д. Бокса и К. Уилсона.

Независимые переменные величины, влияющие на протекание процесса, принято называть *факторами*. Так, факторами могут быть температура, давление, продолжительность процесса, состав смеси и т.п. Эти величины обычно обозначаются буквами  $C_1, C_2, \dots, C_n$ .

Величина, которая является функцией нескольких факторов при планировании эксперимента называется *функцией отклика* (или параметром оптимизации) и обозначают буквой  $y$  ( их может быть несколько  $y_1, y_2, \dots, y_n$ ). Функция отклика зависит от влияющих факторов

$$y = f(C_1, C_2, \dots, C_n).$$

Это выражение называется *математической моделью* или *уравнением регрессии*.

Эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется *полным факторным экспериментом* (ПФЭ). Формула для расчета числа опытов в этом случае выглядит

$$N = p^k, \quad (8.1)$$

где  $p$  – количество уровней,  $k$  – количество факторов.

При планировании эксперимента значения факторов кодируются в значения +1 и -1 путем использования соотношения

$$x_i = \frac{C_i - C_{0i}}{I} \quad (4.2)$$

где  $x_i$  – кодированное значение фактора (безразмерная величина +1 или -1);  $C_i$  и  $C_{0i}$  - натуральные значения  $i$ -го фактора (соответственно значение на верхнем или нижнем уровне и на нулевом уровне);  $I$  - натуральное размерное значение интервала варьирования факторов.

В кодированном виде получаются значения факторов, равные +1 (верхний уровень) и -1 (нижний уровень).

Условия эксперимента удобно записывать в виде таблицы, которую называют матрицей планирования эксперимента. Матрица планирования для двух факторов приведена на табл. 4.1.

Таблица 4.1

Матрица планирования эксперимента  $2^2$

| Номер опыта | $x_1$ | $x_2$ | $y$   |
|-------------|-------|-------|-------|
| 1           | +1    | +1    | $y_1$ |
| 2           | -1    | +1    | $y_2$ |
| 3           | +1    | -1    | $y_3$ |
| 4           | -1    | -1    | $y_4$ |

При заполнении матрицы планирования значения уровней факторов, в целях упрощения, обозначают соответствующими знаками, а цифру 1 опускают. С учетом взаимодействия факторов  $x_1$  и  $x_2$  таблицу 4.1 можно переписать следующим образом (табл.4.2).

Таблица 4.2

Матрица планирования эксперимента  $2^2$

| Номер опыта | $x_1$ | $x_2$ | $x_1 x_2$ | $y$   |
|-------------|-------|-------|-----------|-------|
| 1           | +     | +     | +         | $y_1$ |
| 2           | -     | +     | -         | $y_2$ |
| 3           | +     | -     | -         | $y_3$ |
| 4           | -     | -     | +         | $y_4$ |

Каждый столбец в матрице планирования называют вектор-столбцом, а каждую строку – вектор-строкой. Таким образом, в табл. 4.1. мы имеем два вектора-столбца независимых переменных и один вектор-столбец параметра оптимизации.

Если для двух факторов все возможные комбинации уровней легко найти перебором, то с ростом числа факторов возникает необходимость в некотором приеме построения матриц.

Один из таких приемов основан на *правиле чередовании знаков*. В первом столбце знаки меняются поочередно, во втором столбце они чередуются через два раза, в третьем – через четыре, в четвертом – через восемь и т.д. по степеням двойки.

Для определения знаков в колонке взаимодействия факторов  $x_1x_2$  (табл.4.2) используется *правило перемножения знаков*: при перемножении одинаковых знаков получают знак (+), при перемножении разных знаков получают знак (-).

Математическое описание рассматриваемого процесса будем искать в виде уравнения регрессии в закодированных переменных:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1 x_2 \quad (4.3)$$

Построив матрицу планирования, осуществляют эксперимент. Получив экспериментальные данные, рассчитывают значения коэффициентов регрессии.

Значение свободного члена ( $b_0$ ) определяется как среднее арифметическое всех значений параметра оптимизации в матрице

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N y_u \quad (4.4)$$

где  $y_u$  - значения параметра оптимизации в  $u$ -м опыте;  $N$  – число опытов в матрице.

Линейные коэффициенты регрессии рассчитываются по формуле

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} y_u \quad (4.5)$$

где  $x_{iu}$  - кодированное значение фактора  $x_i$  в  $u$ -м опыте;  $i, j$  – номера факторов.

Коэффициенты регрессии, характеризующие парное взаимодействие факторов, находятся по формуле

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^{N,n} x_{iu} x_{ju} y_u \quad (4.6)$$

Математическое описание полного факторного эксперимента лучше изучить на основе примера.

*Пример 4.1.* Рассмотрим процесс, в котором выход продукта  $y$  (%) зависит от температуры  $C_1$  (°C) и концентрации добавки  $C_2$  (%). Требуется с помощью полного факторного эксперимента найти математическое описание этого процесса.

При проведении полного факторного эксперимента задаются значения влияющих факторов, приведенные в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Значения факторов

| Характеристика             | $C_1, ^\circ\text{C}$ | $C_2, \%$ |
|----------------------------|-----------------------|-----------|
| Основной (нулевой) уровень | 50                    | 25        |
| Интервал варьирования      | 5                     | 1         |
| Верхний уровень            | 55                    | 26        |
| Нижний уровень             | 45                    | 24        |

Для формализации процедур и используя (4.2) факторы представляются в закодированном виде (табл. 4.4). При планировании эксперимента используется правило чередования знаков.

Таблица 4.4

Значения факторов

| Номер опыта | $x_1$ | $x_2$ | $C_1, ^\circ\text{C}$ | $C_2, \%$ |
|-------------|-------|-------|-----------------------|-----------|
| 1           | -1    | -1    | 45                    | 24        |
| 2           | +1    | -1    | 55                    | 24        |
| 3           | -1    | +1    | 45                    | 26        |
| 4           | +1    | +1    | 55                    | 26        |

После проведения параллельных опытов результаты представляются в матрице планирования в виде табл. 4.5.

Таблица 4.5

Матрица планирования

$\xrightarrow{i}$   $n$

|     |     |         |       |       |           |       |       |       |     |
|-----|-----|---------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-----|
| $u$ | $N$ | № опыта | $x_1$ | $x_2$ | $x_1 x_2$ | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ | $y$ |
|     |     | 1       | -1    | -1    | +1        | 43    | 35    | 48    | 42  |
|     |     | 2       | +1    | -1    | -1        | 90    | 86    | 94    | 90  |
|     |     | 3       | -1    | +1    | -1        | 10    | 16    | 16    | 14  |
|     |     | 4       | +1    | +1    | +1        | 56    | 54    | 58    | 56  |

Математическое описание рассматриваемого процесса определяется в виде уравнения регрессии в закодированных переменных

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1 x_2$$

В нашем примере имеем

$$b_0 = \frac{(+1)42 + (+1)90 + (+1)14 + (+1)56}{4} = 50,5;$$

$$b_1 = \frac{(-1)42 + (+1)90 + (-1)14 + (+1)56}{4} = 22,5;$$

$$b_2 = \frac{(-1)42 + (-1)90 + (+1)14 + (+1)56}{4} = -15,5;$$

$$b_{12} = \frac{(+1)42 + (-1)90 + (-1)14 + (+1)56}{4} = -1,5.$$

Уравнение регрессии в закодированных факторах будет иметь вид

$$y = 50,5 + 22,5x_1 - 15,5x_2 - 1,5x_{12}. \quad (4.7)$$

## 2. Задание

Составить план полного факторного эксперимента вида  $2^3$ , рассчитать уравнение регрессии. Раскодировать факторы в уравнении.

## 3. Порядок выполнения

3.1. Изучить теоретическую часть и ответить на контрольные вопросы, которые даны в конце работы.

3.2. Составить план эксперимента типа  $2^3$  (табл.4.5) по заданным значениям параметров оптимизации (исходным данным), представленным в табл. 5.6.

3.3. Рассчитать коэффициенты уравнения регрессии (4.4-4.6).

3.4. Представить уравнение регрессии в закодированных факторах (4.7).

3.5. Подставить в полученное уравнение вместо кодированных факторов  $x_i$  их значения в виде (4.2), получить уравнение регрессии в натуральных значениях факторов.



Таблица 4.6

## Исходные данные

| <i>u</i> | Вариант 1             |                       |                       | Вариант 2             |                       |                       | Вариант 3             |                       |                       | Вариант 4             |                       |                       | Вариант 5             |                       |                       |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|          | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> |
| 1        | 7.1                   | 5.8                   | 7.0                   | 7.3                   | 6.0                   | 7.2                   | 7.5                   | 6.2                   | 7.4                   | 7.7                   | 6.4                   | 7.6                   | 9.0                   | 7.3                   | 8.9                   |
| 2        | 14.6                  | 15.2                  | 15.8                  | 14.8                  | 15.4                  | 16.0                  | 15.0                  | 15.6                  | 16.2                  | 15.2                  | 15.8                  | 16.4                  | 18.5                  | 19.2                  | 19.9                  |
| 3        | 18.2                  | 18.6                  | 17.3                  | 18.4                  | 18.6                  | 17.5                  | 18.6                  | 19.0                  | 17.7                  | 18.8                  | 19.2                  | 17.9                  | 23.0                  | 23.5                  | 21.8                  |
| 4        | 35.2                  | 36.4                  | 34.5                  | 35.4                  | 36.6                  | 34.7                  | 35.7                  | 36.8                  | 34.9                  | 35.8                  | 37.0                  | 35.1                  | 44.4                  | 46.0                  | 43.6                  |
| 5        | 38.8                  | 38.1                  | 35.9                  | 40.0                  | 39.3                  | 40.6                  | 37.2                  | 38.5                  | 37.7                  | 36.2                  | 36.7                  | 37.5                  | 37.9                  | 39.1                  | 37.5                  |
| 6        | 28.5                  | 30.0                  | 28.1                  | 28.7                  | 30.2                  | 28.3                  | 28.9                  | 30.4                  | 28.5                  | 29.1                  | 30.6                  | 28.7                  | 36.0                  | 37.9                  | 35.5                  |
| 7        | 22.4                  | 23.3                  | 24.4                  | 22.6                  | 23.5                  | 24.6                  | 22.8                  | 23.7                  | 24.8                  | 23.0                  | 23.9                  | 25.0                  | 28.3                  | 29.4                  | 30.8                  |
| 8        | 6.7                   | 8.1                   | 6.9                   | 6.9                   | 8.3                   | 7.1                   | 7.1                   | 8.5                   | 7.3                   | 7.3                   | 8.7                   | 7.5                   | 8.4                   | 10.2                  | 9.6                   |
| <i>u</i> | Вариант 6             |                       |                       | Вариант 7             |                       |                       | Вариант 8             |                       |                       | Вариант 9             |                       |                       | Вариант 10            |                       |                       |
|          | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> |
| 1        | 9.3                   | 7.6                   | 9.2                   | 9.6                   | 7.9                   | 9.5                   | 9.9                   | 8.3                   | 9.9                   | 9.4                   | 7.6                   | 9.3                   | 9.6                   | 7.8                   | 9.5                   |
| 2        | 18.8                  | 19.5                  | 20.3                  | 19.1                  | 19.8                  | 20.6                  | 19.5                  | 20.2                  | 20.9                  | 19.3                  | 20.0                  | 20.8                  | 19.5                  | 20.2                  | 21.0                  |
| 3        | 23.3                  | 23.8                  | 22.1                  | 23.6                  | 24.1                  | 22.4                  | 23.9                  | 24.5                  | 22.8                  | 24.0                  | 24.5                  | 22.8                  | 24.2                  | 24.7                  | 23.1                  |
| 4        | 44.7                  | 46.3                  | 43.9                  | 45.0                  | 46.6                  | 44.2                  | 41.4                  | 47.0                  | 44.6                  | 46.3                  | 47.9                  | 45.4                  | 46.5                  | 48.1                  | 45.6                  |
| 5        | 42.3                  | 43.4                  | 42.8                  | 48.1                  | 49.7                  | 48.1                  | 48.4                  | 50.1                  | 49.5                  | 48.1                  | 49.9                  | 48.3                  | 48.3                  | 50.2                  | 48.5                  |
| 6        | 36.3                  | 38.2                  | 35.8                  | 36.6                  | 38.5                  | 36.2                  | 37.0                  | 38.9                  | 36.5                  | 37.5                  | 39.5                  | 37.0                  | 37.7                  | 39.7                  | 37.2                  |
| 7        | 28.6                  | 29.7                  | 31.1                  | 28.9                  | 30.0                  | 31.4                  | 29.3                  | 30.4                  | 31.8                  | 29.5                  | 30.6                  | 32,1                  | 29.7                  | 30.8                  | 32,3                  |
| 8        | 8.7                   | 10.5                  | 9.1                   | 9.0                   | 10.8                  | 9.5                   | 9.4                   | 11.2                  | 9.8                   | 8.8                   | 10.6                  | 9,1                   | 9.0                   | 10.8                  | 9.3                   |
| <i>u</i> | Вариант 11            |                       |                       | Вариант 12            |                       |                       | Вариант 13            |                       |                       | Вариант 14            |                       |                       | Вариант 15            |                       |                       |
|          | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> |
| 1        | 9.8                   | 7.8                   | 9.5                   | 10.1                  | 8.2                   | 10.0                  | 10.4                  | 8.5                   | 10.0                  | 10.7                  | 8.8                   | 10.6                  | 10.5                  | 8.5                   | 10.4                  |
| 2        | 19.7                  | 20.2                  | 21.8                  | 20.8                  | 21.6                  | 22.4                  | 21.1                  | 21.9                  | 22.7                  | 21.4                  | 22.2                  | 22.4                  | 21.6                  | 22.4                  | 23.2                  |
| 3        | 24.4                  | 24.7                  | 23.0                  | 25.9                  | 26.5                  | 24.6                  | 26.2                  | 26.8                  | 24.9                  | 26.5                  | 27.1                  | 25.2                  | 26.9                  | 27.4                  | 25.5                  |
| 4        | 46.7                  | 48.2                  | 45.6                  | 50.0                  | 51.7                  | 49.0                  | 50.3                  | 52.0                  | 49.3                  | 50.6                  | 52.3                  | 49.6                  | 51.8                  | 53.6                  | 50.8                  |
| 5        | 48.5                  | 51.1                  | 48.9                  | 49.6                  | 51.5                  | 49.9                  | 49.9                  | 51.8                  | 50.0                  | 50.2                  | 52.1                  | 50.8                  | 50.3                  | 52.3                  | 50.8                  |
| 6        | 37.7                  | 39.7                  | 37.2                  | 40.5                  | 42.7                  | 40.0                  | 40.8                  | 43.0                  | 40.3                  | 41.1                  | 43.3                  | 40.6                  | 42.0                  | 44.2                  | 41.4                  |
| 7        | 29.6                  | 30.8                  | 32,3                  | 31.9                  | 33.1                  | 34.7                  | 32.2                  | 33.4                  | 35.1                  | 32.5                  | 33.7                  | 35.3                  | 33.0                  | 43.3                  | 36.0                  |
| 8        | 9.0                   | 10.9                  | 9,4                   | 9.5                   | 11.5                  | 9.9                   | 9.8                   | 11.8                  | 10.2                  | 10.1                  | 12.2                  | 10.5                  | 9.8                   | 11.9                  | 10.2                  |
| <i>u</i> | Вариант 16            |                       |                       | Вариант 17            |                       |                       | Вариант 18            |                       |                       | Вариант 19            |                       |                       | Вариант 20            |                       |                       |
|          | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> | <i>y</i> <sub>1</sub> | <i>y</i> <sub>2</sub> | <i>y</i> <sub>3</sub> |
| 1        | 10.7                  | 8.7                   | 10.6                  | 10.8                  | 10.4                  | 10.7                  | 5.3                   | 4.3                   | 5.2                   | 5.5                   | 4.3                   | 5.4                   | 5.6                   | 4.9                   | 5.8                   |
| 2        | 21.8                  | 22.6                  | 23.4                  | 21.9                  | 22.7                  | 23.5                  | 10.8                  | 11.2                  | 11.6                  | 11.0                  | 11.4                  | 11.8                  | 11.1                  | 11.8                  | 13.2                  |
| 3        | 27.0                  | 27.7                  | 25.7                  | 27.2                  | 27.7                  | 25.8                  | 13.4                  | 13.7                  | 12.7                  | 13.6                  | 13.9                  | 12.9                  | 14.0                  | 14.3                  | 13.3                  |
| 4        | 52.1                  | 53.9                  | 51.0                  | 52.1                  | 53.9                  | 51.1                  | 25.9                  | 26.8                  | 25.4                  | 26.1                  | 27.1                  | 25.6                  | 26.5                  | 28.4                  | 26.0                  |
| 5        | 50.5                  | 52.5                  | 50.9                  | 50.6                  | 51.6                  | 50.1                  | 50.2                  | 51.1                  | 50.8                  | 50.4                  | 51.3                  | 50.8                  | 50.8                  | 51.7                  | 50.2                  |
| 6        | 42.2                  | 44.4                  | 41.6                  | 42.6                  | 44.5                  | 41.8                  | 21.0                  | 22.1                  | 20.7                  | 21.2                  | 22.4                  | 20.9                  | 21.6                  | 22.8                  | 21.3                  |
| 7        | 33.3                  | 33.5                  | 36.2                  | 33.7                  | 43.6                  | 36.3                  | 16.5                  | 17.2                  | 18.0                  | 16.7                  | 17.5                  | 18.2                  | 17.1                  | 17.7                  | 18.6                  |
| 8        | 10.1                  | 12.1                  | 10.4                  | 10.1                  | 12.2                  | 10.5                  | 4.9                   | 6.0                   | 5.1                   | 5.1                   | 6.2                   | 5.3                   | 5.5                   | 6.6                   | 5.7                   |

**Практическое занятие-семинар №5 «Статистический анализ  
математической модели»**

*Цель работы:* освоение методики статистического анализа математической модели.

### *1. Теоретическая часть*

Поскольку математическая модель получена по ограниченному объему статистического материала, то она нуждается в *статистическом* анализе, который состоит:

- 1) проверки однородности дисперсий и воспроизводимости опытов;*
- 2) проверки статистической значимости коэффициентов модели;*
- 3) проверки модели на адекватность.*

Смысл *проверки однородности дисперсий и воспроизводимости опытов* заключается в следующем. Проверка однородности сводится к проверке гипотезы о равенстве дисперсий двух случайных величин по расчетному значению критерия Кохрена, который показывает какую долю в общей сумме дисперсий занимает максимальная из них. Если выполняется условие  $G_p < G_t$ , то все рассчитанные дисперсии признаются *однородными*, а опыты считаются *воспроизводимыми*.

Если выявлена неоднородность дисперсии воспроизводимости, то следует выявить и устранить ее причины. Обычно неоднородность является следствием принятых решений по организации и проведению экспериментов.

Смысл проверки *статистической значимости* коэффициентов модели заключается в следующем.

Поскольку коэффициенты модели  $b_0, b_1, \dots, b_k$  найдены лишь по ограниченному числу опытов (число опытов ограничено и ничтожно мало в сравнении с генеральной совокупностью), то они определены с некоторой *погрешностью* против соответствующих генеральных (*истинных*) коэффициентов и сами являются лишь их *оценками*.

Проверка значимости каждого коэффициента проводится по *t* - критерию *Стьюдента*.

При незначимости коэффициента в уравнении регрессии рекомендуется его исключение из уравнения.

Смысл проверки модели на *адекватность* состоит в следующем.

Оценка адекватности характеризуется величинами отклонения между экспериментальными результатами и значениями, рассчитанными по уравнению регрессии. Проверка производится с помощью  $F_p$  - расчетного критерия Фишера.

Вычисленное значение  $F_p$  сравнивается с табличным значением критерия Фишера  $F_{\text{табл}}$ . Если вычисленное значение критерия меньше табличного, то полученное уравнение регрессии адекватно.

Причиной неадекватности могут являться: ошибки в организации и проведении опытов, например неконтролируемое изменение неучтенных в модели факторов, погрешности в задании исходных данных и в измерении результатов, большой размах варьирования факторов и другие причины.

Статистический анализ математической модели лучше изучить на основе примера. Числовые значения приняты из примера в лабораторной работе №8 (табл.8.5).

### **1.1. Проверка однородности дисперсий и воспроизводимости опытов по критерию Кохрена.**

Нахождение дисперсии для каждой серии опытов.

Сначала для каждой серии параллельных (повторных) опытов ( $m$  – количество повторных опытов) вычисляется среднее арифметическое значение из  $m$  повторных измерений  $y_i$

$$\bar{y}_u = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \quad (5.1)$$

В нашем примере средние арифметические значения

$$y_1 = \frac{y_{11} + y_{12} + y_{13}}{3} = \frac{43 + 35 + 48}{3} = 42,$$

$$y_2 = \frac{y_{21} + y_{22} + y_{23}}{3} = \frac{90 + 86 + 94}{3} = 90,$$

$$y_3 = \frac{y_{31} + y_{32} + y_{33}}{3} = \frac{10 + 16 + 16}{3} = 14,$$

$$y_4 = \frac{y_{41} + y_{42} + y_{43}}{3} = \frac{56 + 54 + 58}{3} = 56.$$

Затем определяется дисперсия каждой серии повторных  $m$  опытов

$$D_u = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y}_u)^2. \quad (5.2)$$

Для рассматриваемого примера дисперсия каждой серии опытов

$$D_{u1} = \frac{(43 - 42)^2 + (35 - 42)^2 + (48 - 42)^2}{3 - 1} = 43,$$

$$D_{u2} = \frac{(90 - 90)^2 + (86 - 90)^2 + (94 - 90)^2}{3 - 1} = 16,$$

$$D_{u3} = \frac{(10 - 14)^2 + (16 - 14)^2 + (16 - 14)^2}{3 - 1} = 12,$$

$$D_{u4} = \frac{(56 - 56)^2 + (54 - 56)^2 + (58 - 56)^2}{3 - 1} = 4.$$

Для проверки однородности дисперсий и воспроизводимости опытов используется критерий Кохрена.

Среди всей совокупности рассчитанных дисперсий выбирается максимальная  $D_{u \max}$  и выбирается отношение данной дисперсии к сумме всех рассчитанных дисперсий  $D_u$ , т.е. определяется расчетное значение критерия Кохрена

$$G_p = \frac{D_{u \max}}{\sum_{u=1}^N D_u} \quad (5.3)$$

Критерий Кохрена показывает, какую долю в общей сумме дисперсий занимает максимальная из них.

Расчетное значение коэффициента Кохрена сравнивается с табличным значением  $G_T$  (табл. 5.1), которое определяется по значению  $f_1 = m - 1$  ( $m$  – количество параллельных опытов) и значению  $f_2 = N$  ( $N$  – количество экспериментов по плану).

Если расчетное значение критерия Кохрена меньше табличного, т.е. выполняется условие  $G_p < G_{\text{табл}}$ , то все рассчитанные дисперсии признаются однородными, а опыты считаются воспроизводимыми.

По данным нашего примера определим расчетное значение критерия

$$G_p = \frac{D_{u\max}}{D_{u1} + D_{u2} + D_{u3} + D_{u4}} = \frac{43}{43 + 16 + 12 + 4} = 0,573$$

Табличное значение критерия Кохрена при  $f_1 = m-1 = 3-1 = 2$  и  $f_2 = N = 4$  равно 0,768, т.е.  $G_p < G_T$ , т.е. дисперсии однородны, а эксперименты считаются воспроизводимыми.

## 1.2. Проверка значимости коэффициентов уравнения по критерию Стьюдента

Найденные коэффициенты уравнения регрессии необходимо оценить на статистическую значимость.

Генеральная дисперсия воспроизводимости  $S_B^2$  является средней из всех построчных дисперсий

$$D_B = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N D_u \cdot \quad (5.4)$$

Среднее квадратичное отклонение определения значений коэффициентов

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{D_B}{N \cdot m}}, \quad (5.5)$$

где  $N$  – общее количество экспериментов;  $m$  – количество повторных опытов.

Оценка значимости коэффициентов в уравнении регрессии производится по  $t$ -критерию Стьюдента. Для каждого коэффициента  $b_k$  нужно вычислить расчётный коэффициент:

$$t_p = \frac{|b_k|}{\sigma_k}. \quad (5.6)$$

Табличное значение критерия Стьюдента  $t_{\text{табл}}$  при числе степеней свободы  $f=N(m-1)$  выбирается из табл. 5.2. Найденное табличное значение сравнивается с расчётным значением коэффициента  $t_p$ .

Если выполняется неравенство  $t_p < t_{\text{табл}}$ , то считается, что найденный коэффициент  $b_k$  является *статистически незначимым* и его следует исключить из уравнения регрессии.

Для рассматриваемого примера

$$D_B = \frac{43 + 16 + 12 + 4}{4} = 18,75;$$

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{18,75}{4 \cdot 3}} = 1,25.$$

Определяются расчетные значения коэффициентов Стьюдента

$$t_o = \frac{50,5}{1,25} = 40,4$$

$$t_1 = \frac{22,5}{1,25} = 18$$

$$t_2 = \frac{15,5}{1,25} = 12,4$$

$$t_{12} = \frac{1,5}{1,25} = 1,2$$

Табличное значение критерия Стьюдента  $t_{\text{табл}}$  при числе степеней свободы  $f = N(m-1) = 4(3-1)=8$  равно 2,31. Сопоставляются расчетные значения  $t_p$  с табличным  $t_{\text{табл}}$ . Неравенство выполняется для  $t_{12}$ . Следовательно, можно сделать вывод, что коэффициент  $b_{12}$  статистически незначим и его можно исключить из уравнения регрессии.

Уравнение регрессии в закодированных переменных, содержащее статистически значимые коэффициенты, имеет следующий вид

$$y = 50,5 + 22,5x_1 - 15,5x_2. \quad (5.7)$$

### 1.3. Проверка адекватности уравнения по критерию Фишера.

Полученное уравнение регрессии необходимо проверить на адекватность исследуемому объекту. Для этой цели необходимо оценить, насколько отличаются средние значения  $\bar{y}_u$ , полученные экспериментально и значения  $y_u^p$ , полученные расчетом из уравнения регрессии. Для этого используют дисперсию адекватности

$$D_{ad} = \frac{m}{N-L} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - y_u^p)^2 \quad (5.8)$$

где  $L$  – число значимых коэффициентов уравнения регрессии.

Адекватность модели проверяют по  $F$  – критерию Фишера как отношение дисперсии адекватности (5.8) к дисперсии воспроизводимости (5.4)

$$F_p = \frac{D_{ad}}{D_B} \quad (5.9)$$

Найденные расчетным путем  $F_p$  сравнивают с табличным значением  $F_{\text{табл}}$  (табл. 5.3), которое определяется по степеням свободы  $f_{ad} = N - L$  и  $f_{\epsilon} = N(m - 1)$ . Если  $F_p < F_{\text{табл}}$ , то полученная математическая модель адекватна экспериментальным данным.

Для рассматриваемого примера получаем

$$y_1^p = 50,5 + 22,5(-1) - 15,5(-1) = 43,5;$$

$$y_2^p = 50,5 + 22,5(+1) - 15,5(-1) = 88,5;$$

$$y_3^p = 50,5 + 22,5(-1) - 15,5(+1) = 12,5;$$

$$y_4^p = 50,5 + 22,5(+1) - 15,5(+1) = 57,5.$$

Рассчитаем оценку дисперсии адекватности

$$D_{ad} = \frac{3}{4-3} [(42 - 43,5)^2 + (90 - 88,5)^2 + (14 - 12,5)^2 + (56 - 57,5)^2] = 27,$$

$$F_p = \frac{27}{18,75} = 1,44.$$

Табличное значение коэффициента Фишера при числе степеней свободы  $f_{ad} = 4 - 3 = 1$  и  $f_{\epsilon} = 4(3 - 1) = 8$  будет  $F_{\text{табл}} = 5,32$ , т.е.  $F_p < F_{\text{табл}}$ .

Следовательно, полученное уравнение регрессии в закодированных переменных

$$y = 50,5 + 22,5x_1 - 15,5x_2 \quad (5.10)$$

адекватно экспериментальным данным.

## *2. Задание*

Провести статистический анализ математической модели (уравнения регрессии), полученной в лабораторной работе №8 с проверкой однородности дисперсий и воспроизводимости опытов, проверкой значимости коэффициентов и адекватности математической модели.

## *3. Порядок проведения*

Провести поэтапный анализ данных:

- нахождение дисперсии для каждой серии опытов (по 5.1, 5.2);
- проверка однородности дисперсий и воспроизводимости опытов по критерию Кохрена (по 5.3);
- проверка значимости коэффициентов по критерию Стьюдента (по 5.4-5.6);
- проверка адекватности по критерию Фишера (по 5.8-5.9);
- уточнить выражение математической модели (уравнения регрессии) - (5.7).
- раскодировать полученное уравнение регрессии.

## *4. Контрольные вопросы*

1. Дать понятие математической модели.
2. Как называют переменные величины, влияющие на протекание процесса?
3. Как проверяются однородность дисперсий и воспроизводимость опытов?



4. В чем заключается проверка значимости по критерию Стьюдента?
5. Как устанавливается значимость коэффициентов уравнения регрессии?
6. Как проверяется адекватность полученного уравнения регрессии?

Таблица 5.1

Значение критерия Кохрена ( $P = 0,95$ )

| $f_2 = N$ | $f_1 = m - 1$ |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | 1             | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| 2         | 0,999         | 0,975 | 0,939 | 0,906 | 0,877 | 0,853 | 0,833 | 0,816 |
| 3         | 0,967         | 0,871 | 0,798 | 0,746 | 0,707 | 0,677 | 0,653 | 0,633 |
| 4         | 0,907         | 0,768 | 0,684 | 0,629 | 0,590 | 0,560 | 0,637 | 0,518 |
| 5         | 0,841         | 0,684 | 0,598 | 0,544 | 0,507 | 0,478 | 0,456 | 0,439 |
| 6         | 0,781         | 0,616 | 0,532 | 0,480 | 0,445 | 0,418 | 0,398 | 0,382 |
| 7         | 0,727         | 0,561 | 0,480 | 0,431 | 0,397 | 0,373 | 0,354 | 0,338 |
| 8         | 0,680         | 0,516 | 0,438 | 0,391 | 0,360 | 0,336 | 0,319 | 0,304 |
| 9         | 0,639         | 0,478 | 0,403 | 0,358 | 0,329 | 0,307 | 0,290 | 0,277 |
| 10        | 0,602         | 0,415 | 0,373 | 0,331 | 0,303 | 0,282 | 0,267 | 0,254 |
| 12        | 0,541         | 0,392 | 0,326 | 0,288 | 0,262 | 0,244 | 0,230 | 0,210 |

Таблица 5.2

Значения  $t$  – критерия Стьюдента ( $P = 0,95$ )

| Число степеней свободы $f$ | $t$   | Число степеней свободы $f$ | $t$  |
|----------------------------|-------|----------------------------|------|
| 1                          | 12,71 | 11                         | 2,20 |
| 2                          | 4,30  | 12                         | 2,18 |
| 3                          | 3,18  | 13                         | 2,16 |
| 4                          | 2,78  | 14                         | 2,14 |
| 5                          | 2,57  | 15                         | 2,13 |
| 6                          | 2,45  | 16                         | 2,12 |
| 7                          | 2,36  | 17                         | 2,11 |

Таблица 5.3

Значение критерия Фишера ( $P = 0,95$ )

| Число степеней свободы $f_в$ | Число степеней свободы $f_{ад}$ |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                              | 1                               | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
| 1                            | 161,45                          | 199,05 | 215,71 | 224,58 | 230,16 | 233,99 | 236,77 | 238,88 |
| 2                            | 18,51                           | 19,00  | 19,16  | 19,25  | 19,30  | 19,33  | 19,35  | 19,37  |
| 3                            | 10,13                           | 9,55   | 9,28   | 9,12   | 9,01   | 8,94   | 8,89   | 8,85   |
| 4                            | 7,71                            | 6,94   | 6,59   | 6,39   | 6,26   | 6,16   | 6,09   | 6,04   |
| 5                            | 6,61                            | 5,79   | 5,41   | 5,19   | 5,05   | 4,95   | 4,88   | 4,82   |

|    |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6  | 5,99 | 5,14 | 4,76 | 4,53 | 4,39 | 4,28 | 4,21 | 4,15 |
| 7  | 5,59 | 4,74 | 4,35 | 4,12 | 3,97 | 3,87 | 3,79 | 3,73 |
| 8  | 5,32 | 4,46 | 4,07 | 3,84 | 3,69 | 3,58 | 3,50 | 3,44 |
| 9  | 5,12 | 4,26 | 3,86 | 3,63 | 3,48 | 3,37 | 3,29 | 3,24 |
| 10 | 4,97 | 4,10 | 3,71 | 3,48 | 3,33 | 3,22 | 3,14 | 3,07 |
| 11 | 4,84 | 3,98 | 3,59 | 3,36 | 3,20 | 3,10 | 3,01 | 2,95 |
| 12 | 4,75 | 3,89 | 3,49 | 3,26 | 3,11 | 3,00 | 2,91 | 2,85 |