

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Методические указания**  
к практическим занятиям по дисциплине  
**«Основы научных исследований и проектирования»**  
для направления подготовки 18.03.01 Химическая технология  
направленность (профиль) Химическая технология неорганических веществ

**Невинномысск 2023**

Методические указания составлены в соответствии с программой по дисциплине «Основы научных исследований и проектирования». В методических указаниях приводятся теоретическое обоснование практических работ, указаны методики их выполнения, требования к оформлению отчета, приведены вопросы для защиты работы и примеры выполнения работ.

В приложении приведены статистические таблицы, необходимые для обработки данных и варианты заданий для выполнения работ.

Настоящие указания разработаны для направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Методические указания рассмотрены на заседании кафедры ХТМиАХП и рекомендованы к внутривузовскому изданию.

*Составил доцент Е.Н. Павленко*

*Рецензент доцент А.И. Свидченко*

ВВЕДЕНИЕ.....	5
<b>1 ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КЛАССИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА.....</b>	<b>7</b>
1.1 Основные понятия планирования эксперимента.....	7
1.2 Концепция оптимального использования факторного пространства.....	8
1.3 Планы экстремального эксперимента.....	9
1.4 Классификация методов планирования экстремального эксперимента.....	10
<b>2 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ.....</b>	<b>10</b>
2.1 Выбор переменных состояния.....	11
2.2 Выбор факторов.....	11
2.3 Сбор информации в предварительном эксперименте.....	12
<b>3 ОСНОВНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ, ПЛАНЫ ПЕРВОГО ПОРЯДКА.....</b>	<b>13</b>
3.1 Основные определения.....	13
3.2 Кодированные значения факторов.....	14
3.3 Построение матрицы планирования.....	15
3.4 Реализация матрицы планирования.....	16
3.5 Алгоритм расчета полного факторного эксперимента типа $2^k$ .....	17
3.6 Дробный факторный эксперимент.....	21
<b>4 ОСНОВНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ. ПЛАНЫ ВТОРОГО ПОРЯДКА.....</b>	<b>22</b>
4.1 Построение матрицы планирования.....	22
4.2 Реализация матрицы планирования.....	24
4.3 Алгоритм расчета управления регрессии второго порядка.....	26
<b>5 ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.....</b>	<b>29</b>
5.1 Поиск оптимума.....	29
5.2 Канонический анализ поверхности отклика.....	30
<b>6 СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ.....</b>	<b>32</b>

<u>7 МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ</u>	<u>4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ</u>	
<u>ИССЛЕДОВАНИЙ</u> .....		33
<u>ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА</u> .....		34
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ А</u> .....		35

Цель освоения дисциплины «Основы научных исследований и проектирования» является формирование у обучающихся способности осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.

Задачи освоения дисциплины:

– сформировать способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
<p><b>УК-1</b> Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач</p>	<p><b>ИД-1</b> выделяет проблемную ситуацию, осуществляет ее анализ и диагностику на основе системного подхода</p>	<p><b>Пороговый уровень</b>  <b>понимает</b> сущность и значения информации в развитии современного общества, способностью получать и обрабатывать информацию из различных источников, готовностью интерпретировать, структурировать и оформлять информацию в доступном для других виде</p> <p><b>Повышенный уровень</b>  <b>понимает</b> способы систематического изучения научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки</p>
	<p><b>ИД-2</b> осуществляет поиск, отбор и систематизацию информации для определения альтернативных вариантов стратегических решений в проблемной ситуации</p>	<p><b>Пороговый уровень</b>  <b>применяет</b> возможность получать и обрабатывать информацию из различных источников, готовностью интерпретировать, структурировать и оформлять информацию в доступном для других виде</p> <p><b>Повышенный уровень</b>  <b>принимает</b> участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию и внедрять результаты исследований и разработок в области технологических машин и оборудования</p>
	<p><b>ИД-3</b> определяет и оценивает риски возможных вариантов решений проблемной ситуации, выбирает оптимальный вариант её решения</p>	<p><b>Пороговый уровень</b>  <b>использует</b> понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, способностью получать и обрабатывать информацию из различных источников, готовностью интерпретировать, структурировать и оформлять информацию в доступном для других виде</p> <p><b>Повышенный уровень</b>  <b>участвует</b> в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности</p>



# 1 ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ 7 И КЛАССИКАЦИЯ МЕТОДОВ

## Наименование практических занятий

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов			Из них практическая подготовка, часов		
		офо	зфо	озфо	офо	зфо	озфо
1	<b>Практическое занятие № 1.</b> Основные определения и классификация методов планирования эксперимента. Основные понятия планирования эксперимента. Концепция оптимального использования факторного пространства. Планы экстремального эксперимента. Классификация методов планирования экстремального эксперимента.						
1	<b>Практическое занятие № 2.</b> Предварительный эксперимент. Выбор переменных состояния. Выбор факторов. Сбор информации в предварительном эксперименте.						
1	<b>Практическое занятие № 3.</b> Основной эксперимент, планы первого порядка. Основные определения. Кодированные значения факторов. Построение матрицы планирования. Реализация матрицы планирования. Алгоритм расчета полного факторного эксперимента типа 2 <sup>k</sup> . Дробный факторный эксперимент						
1	<b>Практическое занятие № 4.</b> Основной эксперимент. планы второго порядка. Построение матрицы планирования. Реализация матрицы планирования. Алгоритм расчета управления регрессии второго порядка.		1.5				
2	<b>Практическое занятие № 5.</b> Оптимизация объекта исследования по экспериментально-статической модели. Поиск оптимума. Канонический анализ поверхности отклика		1.5				
2	<b>Практическое занятие № 6.</b> Составление математической модели процесса с использованием ЭВМ.		1.5				
3	<b>Практическое занятие № 7.</b> Методика оптимизации экспериментальных исследований.		1.5				
	Итого за семестр		<b>4.5</b>				
	Итого		<b>4.5</b>				

## ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

### 1.1 Основные понятия планирования эксперимента

Эксперимент всегда служил средством познания окружающего мира, критерием истинности гипотез и теорий. Долгое время считалось, что выбор стратегии эксперимента и его реализации полностью определяются опытом и интуицией исследователя. Математики же принимали участие только в обработке результатов экспериментов.

Однако рост объёмов экспериментальных исследований сделал актуальной постановку вопроса об эффективности эксперимента; появление ЭВМ открыло дорогу для реализации таких схем экспериментирования, которые резко повысили его к.п.д. Возникли математическая теория эксперимента и планирование эксперимента как ее часть.

Современное планирование эксперимента было заложено Боксом и Уилсоном в 1951 г., которые дополнили факторное планирование обоснованным движением в область оптимума и описали его в виде полинома (ортогональные планы). Принципы ротатабельного планирования сформировали Бокс и Хантер в 1957 г.

Методы планирования эксперимента используются и при исследовании объектов химической технологии.

Процессы, протекающие в объектах химической технологии, характеризуются переменными, между которыми существуют определенные причинно-следственные связи. Переменные, играющие роль причин, называются *входными*, а переменные, отражающие последствия причин – *выходными*. Входные переменные контролируются, ими также можно управлять.

$X$  – вектор входных переменных;

$Y$  – вектор выходных  
переменных;

$Z$  – вектор возмущающих переменных.



# 1 ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ 7 И КЛАССИКАЦИЯ МЕТОДОВ

Объект химической технологии, на котором будет осуществляться планируемый эксперимент, характеризуется обязательным условием – все входные переменные должны быть управляемыми.

Обозначим входные управляемые переменные  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и, согласно принятой терминологии назовем их *факторами*: выходные переменные обозначим  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , возмущающую переменную, которая не контролируется и является случайной переменной или помехой, имеющей определенный закон распределения  $Z$ .

Эксперимент планируется по определенному плану – заранее составленному, оптимальному в строгом смысле алгоритма изменения факторов, реализация которого позволит осуществить комплексное влияние на переменные состояния объекта исследования.

Планы эксперимента составляются исходя из заданных целей исследования, которых может быть множество. Разнообразие целей порождает многообразие планов эксперимента.

## 1.2 Концепция оптимального использования факторного пространства

Одной из самых распространенных идей теории эксперимента является концепция оптимального использования факторного пространства, или концепция *многофакторного эксперимента*.

Суть ее заключается в том, что состояние объекта в каждом опыте определяется по результату одновременного варьирования факторов, вызывающих изменение состояния объекта. Такое экспериментирование проводится в противовес поочередному изменению переменных, когда состояние объекта определяется по результатам изменения вначале одной переменной, затем другой и т.д. Оптимальное использование факторного пространства позволяет добиться значительного увеличения точности расчета коэффициентов математической модели (точнее – снижения дисперсии

## 1.4 Классификация методов планирования экстремального

где она реализована, получен значительный положительный эффект.

### 1.3 Планы экстремального эксперимента

Химики-технологи наиболее широко пользуются планами так называемого экстремального эксперимента, разработанными для определения оптимальных условий протекания процессов в объектах исследования. Оптимум определяется по математической модели объекта исследования, которую ищут в виде полиномиального уравнения:

$$y = b_0 + \sum_{j=1, j \neq i}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

которые часто называют *функциями отклика*.

В математической теории эксперимента разработаны оптимальные планы получения таких математических моделей и использование их для поиска экстремума.

Планы экстремального эксперимента реализуются в соответствии с концепцией последовательного анализа. В последовательности реализации планов можно выделить следующие этапы:

- 1) оценка априорной информации и отсеивание факторов, несущественных для конкретного объекта исследования;
- 2) получение математической модели объекта в виде линейной функции отклика;
- 3) поиск оптимальной области объекта по линейной функции отклика;
- 4) получение математической модели объекта исследования области оптимума в виде нелинейной функций отклика;
- 5) поиск оптимальной координаты факторного пространства области оптимума.

коэффициентов) и хотя осуществление этой идеи дело сложное, в тех задачах, **эксперимента**

Предлагается несколько классификационных признаков методов экстремального эксперимента. Прежде всего, различают объекты исследования *динамические* и *статические*.

По логике методы экстремального эксперимента можно разделить на методы предварительных и основных исследований.

К *предварительным экспериментам* принадлежат те, которые оценивают априорную информацию об объекте (корреляционный анализ, методы ранговой корреляции и др.) или используются для отсеивания факторов и решения вопросов организации основного эксперимента (метод случайного баланса, дисперсионный анализ и т.д.).

Задача *основного эксперимента* – получение математической модели процесса и использование ее для статической оптимизации объекта исследования. Здесь используются *планы факторного эксперимента* для получения линейных моделей и *композиционные планы* для получения нелинейных моделей объекта исследования.

По способу организации различают *пассивное* и *активное* экспериментирование. Более эффективным является целенаправленное изменение процесса и регистрация результатов, т.е. активное экспериментирование. Только активный эксперимент можно планировать. Методы, осуществляющие активное экспериментирование, называются *методами планирования эксперимента*.

## 2 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Обычно еще до опыта об объекте исследования существуют определенные, но разрозненные сведения. Их сбор приводит к появлению так называемой *априорной информации*.

Чтобы иметь представления о том, как изменяются переменные процесса, экспериментатор проводит несколько опытов на лабораторной установке. Опыты могут быть организованы по определенным планам.

1) факторы и переменные состояния должны иметь области выбор факторов и переменных состояния, которые войдут в план основного эксперимента. Все исследования, направленные на решение этой задачи, составляют суть предварительного эксперимента.

## **2.1 Выбор переменных состояния**

Различают экономические и технологические переменные состояния. В качестве экономических переменных используют производительность, себестоимость и другие показатели.

Технологическими переменными служат качество продукта, выход целевого продукта, надежность получаемых изделий и др. Часто технологические переменные состояния тесно связаны с экономическими. При выборе переменной состояния необходимо учитывать следующие требования:

а) переменная состояния должна иметь количественную характеристику, т.е. измеряться;

б) переменная состояния должна однозначно измерять эффективность объекта исследования;

в) переменная состояния должна быть статически эффективной, т.е. обладать возможно меньшей дисперсией при проведении опытов.

Правильный выбор переменной состояния объекта исследования повышает шансы экспериментатора на успех.

## **2.2 Выбор факторов**

При выборе факторов нужно выполнять следующие требования:

а) фактор должен быть регулируемым, т.е. с помощью определенного регулирующего устройства фактор можно изменять от значения  $x_1$  до  $x_n$ .

б) точность измерения и управления факторов должна быть известна и достаточного велика (хотя бы на порядок выше точности измерения выходной переменной).

К факторам и переменным состояниям одновременно также предъявляется ряд требований:

Главной задачей организации подобных исследований является определения, заданные технологическими или принципиальными ограничениями;

2) между факторами и переменными состояния должно существовать однозначное соответствие; оно позволит в основном эксперименте построить математическую модель объектам исследования и решить поставленную задачу эксперимента.

### **2.3 Сбор информации в предварительном эксперименте**

В предварительном эксперименте информацию обычно собирают тремя способами:

1 Априорную информацию получают из литературных источников, оценкой результатов исследования аналогичных объектов, а также на основании опроса специалистов-технологов.

2 Часть информации об объекте исследования определяют из опытов, которые проводит экспериментатор при наладке лабораторной установки.

3. Основную часть информации предварительного эксперимента получают постановкой небольшого числа опытов по определенным планам. Эти эксперименты называют *отсеивающими*, а планы, по которым они ставятся, – *сверхнасыщенными*, поскольку число исследуемых переменных всегда больше числа самих экспериментов.

Методы постановки отсеивающих экспериментов и их обработка приведены в работе [3].

В результате предварительного эксперимента определяются:

- 1) области существования факторов;
- 2) интервалы варьирования факторов;
- 3) предварительное число параллельных опытов;
- 4) число факторов и их взаимодействий, включаемых в план основного эксперимента.

1) факторы и переменные состояния должны иметь области

Сущность факторного эксперимента первого порядка состоит в одновременном варьировании всех факторов при его проведении по определенному плану, представлении математической модели (функции отклика) в виде линейного полинома и исследовании последнего методами математической статистики.

### 3.1 Основные определения

*Уровнем фактора* называют определенное значение фактора, которое будет фиксироваться при проведении эксперимента. Например, экспериментальное изучение процесса паровой конверсии природного газа проводят при температурах на выходе 790 и 830°C, при давлениях 3,8 и 4,2 МПа.

Очевидно, что уровнями фактора «температура на выходе» будут 790 и 830°C, уровнями фактора «давление» – 3,8 и 4,2 МПа.

Различают *верхний уровень фактора* –  $x_{iB}$  (это 830°C, 4,2 МПа) и *нижний уровень фактора* –  $x_{iH}$  (это 790°C и 3,8 МПа). Средние значения рассматриваемых интервалов, т.е. 810°C и 4,0 МПа, называются *нулевыми уровнями* –  $x_{i0}$ , значение фактора в натуральных единицах, прибавление которого к нулевому уровню дает верхний, а вычитание – нижний уровень фактора, называется *интервалом варьирования* – (это 20°C и 0,2 МПа).

Таким образом,

$$x_{iB} = x_{i0} + \Delta x_i,$$

$$x_{jH} = x_{j0} - \Delta x_j.$$

Экспериментальные значения, которые могут принимать факторы, не меняя своих физико-математических свойств и не искажая сути исследуемого процесса, называются *границами существования факторов*, а интервал ( $x_{iMAX} - x_{iMIN}$ ) – *областью определения факторов*. На рисунке 2 это область L.

Рисунок 2 – Геометрическая интерпретация области определения факторов L и области проведения эксперимента

### 3 ОСНОВНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ, ВАРИАНТЫ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

составлять часть области определения факторов, если решается задача оптимизации. На рисунке 2 область проведения эксперимента обозначена буквой М.

#### 3.2 Кодированные значения факторов

Для составления регрессивного уравнения используются не фактические значения факторов, а их кодированные значения. Верхний уровень фактора обозначается символом «+1». Нижний уровень фактора – символом «-1». Переход от фактических значений факторов к кодированным значениям осуществляется по формуле

$$x_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i} \quad (2)$$

Для рассмотренного примера кодированные значения факторов (верхние и нижние уровни) следующие:

$$x_{1B} = \frac{x_{1B} - x_{10}}{x_1} = \frac{830 - 810}{20} = +1 \quad x_{1H} = \frac{x_{1H} - x_{10}}{x_1} = \frac{790 - 810}{20} = -1$$

$$x_{2B} = \frac{x_{2B} - x_{20}}{x_2} = \frac{4,2 - 4,0}{0,2} = +1 \quad x_{2H} = \frac{x_{2H} - x_{20}}{x_2} = \frac{3,8 - 4,0}{0,2} = -1$$

Кодирование факторов, по сути, означает переход от системы координат в натуральных единицах (рисунок 3,а) к системе координат в кодированной форме (рисунок 3,б). Каждая точка факторного пространства – (+1,+1), (-1,+1), (+1,-1), (-1,-1) – это опыт в исследованиях.

а) – в натуральных координатах                      б) – в координатной форме

*Рисунок 3 – Геометрическая интерпретация плана 2 на плоскости*

В общем случае эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется **полным факторным экспериментом** (ПФЭ). Если каждый фактор варьируется на двух уровнях, то получается ПФЭ типа  $2^k$ , где  $k$  – количество факторов.

Полный факторный эксперимент имеет следующие достоинства:

- 1) независимость дисперсии переменной состояния от вращения системы координат в центре плана;
- 2) одинаковую и минимальную дисперсию коэффициентов регрессии;
- 3) независимость определения коэффициентов регрессии друг от друга;
- 4) простоту в вычислениях коэффициентов.

### **3.3 Построение матрицы планирования**

План, содержащий запись всей комбинаций факторов или их части в кодированной форме, называется *матрицей планирования*. Количество опытов –  $N$  зависит от количества изучаемых факторов и определяется по формуле

$$N = 2^k .$$

В таблице 1 проведена матрица планирования для двух факторов на двух уровнях.

*Таблица 1 – Матрица планирования ПФЭ  $2^2$*

Опыты	$x_0$	Планирование		Переменная состояния $Y$
		$x_1$	$x_2$	
1	+1	+1	+1	$y_1$
2	+1	-1	+1	$y_2$
3	+1	+1	-1	$y_3$
4	+1	-1	-1	$y_4$



Во второй графе таблицы 156 приведены значения фиктивной переменной  $x_0$  (тождественно равной +1), которая понадобится при вычислении свободного члена полинома. В первой строке спланирован первый опыт, когда факторами  $x_1$  и  $x_2$  придают максимальные значения; во второй строке – когда фактору  $x_1$  придают минимальное значение, а фактору  $x_2$  – максимальное и т.д.

Для построения матрицы планирования с большим числом факторов используют ряд приемов. Чаще используют прием чередования знаков: в первом столбце знаки не меняются, в третьем они чередуются через два, в четвертом – через 4 и т.д. (см. таблицу 2).

### 3.4 Реализация матрицы планирования

После построения матрицы планирования приступают непосредственно к эксперименту. Обычно матрицу планирования представляют в виде, удобном для реализации опытов – все кодированные значения факторов заменяют натуральными. Такую матрицу планирования называют *рабочей*.

План либо реализует несколько раз, получая  $m$  параллельных значений переменной состояния, либо параллельные опыты проводят только в одной точке, как правило, в центре плана. Последний метод используют, когда известна заранее хорошая воспроизводимость опытов на объекте исследования.

Ошибку опытов  $S_0^2$  рассчитывают по формуле

$$S_0^2 = \frac{1}{N_0 - 1} \sum_{n=1}^{N_0} (y_{0n} - \bar{y}_0)^2, \quad (3)$$

где:  $y_{0n}$  – значения переменной состояния в центре плана;

$\bar{y}_0$  – среднее

значение переменной состояния в центре плана;  $N_0$  – число опытов в центре плана.

### 3.5 Алгоритм расчета полного $17$ факторного эксперимента типа $2^k$

Алгоритм расчета и анализа математической модели экспериментально-статистическими методами приведен на рисунке 4.

Таблица 2 – Организация матриц планирования ПФЭ от  $2^2$  до  $2^5$

Номера опытов					Факторы					
					X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
1	Полный факторный эксперимент ПФЭ $2^5$	ПФЭ $2^2$	ПФЭ	ПФЭ	+1	+1	+1	+1	+1	+1
2					+1	-1	+1	+1	+1	+1
3					+1	+1	-1	+1	+1	+1
4					+1	-1	-1	+1	+1	+1
5			ПФЭ $2^3$	+1	+1	+1	-1	+1	+1	
6				+1	-1	+1	-1	+1	+1	
7				+1	+1	-1	-1	+1	+1	
8				+1	-1	-1	-1	+1	+1	
9		ПФЭ $2^4$		+1	+1	+1	+1	-1	+1	
10				+1	-1	+1	+1	-1	+1	
11				+1	+1	-1	+1	-1	+1	
12				+1	-1	-1	+1	-1	+1	
13				+1	+1	+1	-1	-1	+1	
14				+1	-1	+1	-1	-1	+1	
15				+1	+1	-1	-1	-1	+1	
16				+1	-1	-1	-1	-1	+1	
17				+1	+1	+1	+1	+1	-1	
18				+1	-1	+1	+1	+1	-1	
19				+1	+1	-1	+1	+1	-1	
20				+1	-1	-1	+1	+1	-1	
21				+1	+1	+1	-1	+1	-1	
22				+1	-1	+1	-1	+1	-1	

23		+1	+1	-1	-1	+1	-1
24		+1	-1	-1	-1	+1	-1
25		+1	+1	+1	+1	-1	-1
26		+1	-1	+1	+1	-1	-1
27		+1	+1	-1	+1	-1	-1
28		+1	-1	-1	+1	-1	-1
29		+1	+1	+1	-1	-1	-1
30		+1	-1	+1	-1	-1	-1
31		+1	+1	-1	-1	-1	-1
32		+1	-1	-1	-1	-1	-1

*Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма расчета и анализа математической модели экспериментально-статистическими методами*

Для линейной формы уравнения:

$$\hat{y}_i = \sum_{i=0}^k b_i x_i \quad (i = 0, 1, \dots, k), \quad (4)$$

где  $k$  – переменная состояния расчетная.

На основании результатов реализации матрицы планирования коэффициенты уравнения регрессии рассчитываются по формуле

$$b_i = \frac{1}{y_{iu}} \sum_{u=1}^N x_{iu} \quad (i = 0, 1, \dots, k). \quad (5)$$

После вычисления 20 коэффициентов регрессии переходят к статическому анализу уравнения регрессии, который состоит из трех этапов:

- оценка ошибки опыта (по уравнению (3));
- оценка значимости коэффициентов уравнения регрессии;
- оценка адекватности модели.

Оценку значимости коэффициентов регрессии осуществляют по формуле

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{S_{bi}} \quad (6)$$

и условию  $t_{ip} > t_T$ , (7)

где  $|b_i|$  – абсолютное значение коэффициента регрессии;  $t_T$  – табличное значение критерия Стьюдента, которое находят по числу степеней свободы  $f_0 = N_0 - 1$  и уровню значимости  $q$  (смотри таблицу А1 приложения А.);  $S_{bi}$  – среднеквадратичное отклонение.

Дисперсию коэффициентов регрессии находят по формуле

$$S_{bi}^2 = \frac{S_0^2}{N}, \quad (8)$$

т.е. дисперсии всех коэффициентов равны, поскольку зависят только от ошибки опыта  $S_0^2$  и числа строк матрицы планирования  $N$  (числа опытов).

Если для какого-то коэффициента условия (6) и (7) не выполняются, то соответствующий фактор можно признать незначимым и исключить его из уравнения регрессии.

Проверка адекватности линейного уравнения регрессии осуществляется путем сравнения двух дисперсий – одна показывает рассеяние опытных данных переменной состояния  $y_u$  относительно тех значений переменной состояния  $\hat{y}_u$ , которые предсказаны полученным линейным уравнением регрессии.

Эта дисперсия называется дисперсией адекватности и рассчитывается по формуле

$$S_{ad}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{u=1}^N (y_u - \hat{y}_u)^2, \quad (9)$$

где  $m$  – число параллельных опытов;  $l$  – число членов в уравнении регрессии, оставшихся после оценки значимости.

Вторая дисперсия – это ошибка опыта. Адекватность проверяют, оценивая отношение

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_0^2} \quad (10)$$

и сравнивая расчетное ( $F_p$ ) и табличное ( $F_T$ ) значение критерия Фишера. Критерий Фишера  $F_T$  определяется для степеней свободы  $f_{ad} = N - l$  и  $f_0 = N(m - 1)$  и заданного уровня значимости  $q$  по таблице А2 приложения.

$$\begin{array}{l} \text{Если выполняется} \\ \text{условие} \end{array} \quad F_p < F_T, \quad (11)$$

то линейное уравнение признается *адекватным*.

Полученный линейный полином можно использовать для поиска области оптимума объекта исследования. Если условие (11) не выполняется, то линейное уравнение признается *неадекватным*. При неадекватной линейной модели наиболее часто принимают решение об уменьшении интервалов варьирования факторов и повторении эксперимента.

### 3.6 Дробный факторный эксперимент

Полный факторный эксперимент является весьма эффективным для получения математической модели исследуемого объекта особенно при числе факторов  $k > 3$ . Однако увеличение числа факторов приводит к резкому увеличению числа опытов. Так, ПФЭ  $2^6$  требует постановки 64 опытов, а  $2^7$  уже 128.

Практика показывает, что для получения достаточно точных оценок коэффициентов регрессии можно обойтись небольшим количеством опытов,

введя понятие дробного факторного эксперимента (или дробных реплик), который представляют собой некоторую часть

$\left( \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8} \right)$  от полного факторного эксперимента.

#### 4 ОСНОВНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ. ПЛАНЫ ВТОРОГО ПОРЯДКА

После достижения области оптимума перед исследователем встает задача детального изучения поверхности отклика. Описать область оптимума линейным уравнением регрессии не удастся из-за крутизны гиперплоскостей факторов и квадратичных эффектов. Поэтому область оптимума описывается полиномами более высоких порядков, среди которых самые распространенные уравнения второго порядка:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{\substack{j \\ j>i}}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 \quad (12)$$

Для получения математической модели области оптимума в виде уравнения (12) используются специальные планы.

##### 4.1 Построение матрицы планирования

Бокс и Уилсон показали, что, дополнив двухуровневый план ПФЭ определенными точками факторного пространства, можно получить необходимые планы, которые называются *центральными* и *композиционными*. Общее число опытов при таком планировании определяется формулой:

$$N = n_1 + n_{3B} + n_0 \quad (13)$$

где  $n_1$  – число опытов в ядре плана;  $n_{3B}$  – число опытов в «звездных» точках;  $n_0$  – число опытов в центре плана.

Рассмотрение композиционных планов можно провести на примере  $k = 2$  (рисунок 4). Точки 1, 2, 3, 4 образуют полный факторный эксперимент  $2^2$ , точки, обозначенные звездочками (5, 6, 7, 8) образуют «звездные» точки с

координатами  $(\pm\alpha, 0)$  и  $(0, \pm\alpha)$  В<sup>23</sup> центре плана проводятся нулевые опыты с координатами  $(0, 0)$ .

*Рисунок 4 – Расположение точек факторного пространства в композиционных планах второго порядка*

Наиболее часто используют два типа центрального композиционного планирования (ЦКП) – *ортогональное* и *ротатабельное*. Более надежным способом получения полинома второй степени является ротатабельное планирование, основанное на постоянстве дисперсий в опытах, равно удаленных от центрального опыта, которое и рассмотрено в настоящей работе.

Общее число опытов, число «звездных» и нулевых точек, величина звездного плеча  $\alpha$  зависят от числа факторов  $k$  (см. табл. 3).

*Таблица 3 – Показатели ротатабельных планов второго порядка*

Наименование	Полный факторный эксперимент типа $2^k$				Дробный ФЭ типа $2^{k-P}$ $k=5$
	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	
Число опытов ядра матрицы – $n_1$	$2^2=4$	$2^3=8$	$2^4=16$	$2^5=32$	$2^{5-1}=16$
Число «звездных» точек – $n_{зв}$	4	6	8	10	10
Число нулевых точек – $n_0$	5	6	7	10	6
Общее число опытов – $N$	13	20	31	52	32
Величина $\alpha$	1,414	1,682	2,000	2,378	2,000

Из структуры ЦКП следует, что каждый фактор варьируется на пяти уровнях:

Ядро планов ЦКП составляет полный факторный эксперимент  $2^k$  при  $k < 5$  или полуреплика от него при  $k \geq 5$ . Возможность использования в качестве ядра плана полуреплики при  $k \geq 5$  обусловлена тем, что уже полуреплика обеспечивает получение несмешанных оценок для линейных эффектов и эффектов парного взаимодействия.



В качестве примера в таблице 4<sup>24</sup> представлена матрица пятифакторного композиционного плана второго порядка. Ядро плана представляет собой полуреплику  $2^{5-1}$  с генерирующим переменных  $x$  (различных факторов) к безразмерным  $x_i$  проводится по формуле (2). Например, см. таблицу 2.

#### 4.2 Реализация матрицы планирования

На основе матрицы планирования, представленную в таблицу 4, составляют рабочую матрицу планирования, в которой кодированные значения факторов ( $\pm 1, 0, \pm \alpha$ ) заменяют натуральными. Так, например, при изучении процесса паровой конверсии природного газа, переменными факторами являются:

$x_1$  – температура на выходе, °С;

$x_2$  – температура на входе, °С;

$x_3$  – общее давление в реакторе, МПа;

$x_4$  – мольное отношение  $H_2O$ /природный газ, моль/моль;

$x_5$  – объемная скорость,  $ч^{-1}$ .

Таблица 4 – Рототабельный план второго порядка для пяти факторов ( $\alpha=2,000$ )

Номер опыта	Фрагмент плана	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$y$
1	ЯДРО	+1	+1	+1	+1	+1	$y_1$
2		-1	+1	+1	+1	-1	$y_2$
3		+1	-1	+1	+1	-1	$y_3$
4		-1	-1	+1	+1	+1	$y_4$
5		+1	+1	-1	+1	-1	$y_5$
6		-1	+1	-1	+1	+1	$y_6$

7		+1	-1	-1	+1	+1	y <sub>7</sub>
8		-1	-1	-1	+1	-1	y <sub>8</sub>
9		+1	+1	+1	-1	-1	y <sub>9</sub>
10		-1	+1	+1	-1	+1	y <sub>10</sub>
11		+1	-1	+1	-1	+1	y <sub>11</sub>
12		-1	-1	+1	-1	-1	y <sub>12</sub>
13		+1	+1	-1	-1	+1	y <sub>13</sub>
14		-1	+1	-1	-1	-1	y <sub>14</sub>
15		+1	-1	-1	-1	-1	y <sub>15</sub>
16		-1	-1	-1	-1	+1	y <sub>16</sub>
17	ЗВЕЗДНЫЕ	+	0	0	0	0	y <sub>17</sub>
18	ТОЧКИ	-	0	0	0	0	y <sub>18</sub>
19		0	+	0	0	0	y <sub>19</sub>
20		0	-	0	0	0	y <sub>20</sub>
21		0	0	+	0	0	y <sub>21</sub>
22		0	0	-	0	0	y <sub>22</sub>
23		0	0	0	+	0	y <sub>23</sub>
24		0	0	0	-	0	y <sub>24</sub>
25		0	0	0	0	+	y <sub>25</sub>
26		0	0	0	0	-	y <sub>26</sub>
27	ЦЕНТР	0	0	0	0	0	y <sub>27</sub>
28		0	0	0	0	0	y <sub>28</sub>
29		0	0	0	0	0	y <sub>29</sub>
30		0	0	0	0	0	y <sub>30</sub>
31		0	0	0	0	0	y <sub>31</sub>
32		0	0	0	0	0	y <sub>32</sub>

Натуральные значения факторов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения факторов

Наименование	Факторы				
	$x_1, \text{ }^\circ\text{C}$	$x_2, \text{ }^\circ\text{C}$	$x_3, \text{ МПа}$	$x_4, \text{ МОЛЬ/МОЛЬ}$	$x_5, \text{ Ч}^{-1}$
Нулевой уровень $x_{i0}$	810	520	4,0	3,6	2500
Интервал варьирования, $\Delta x_i$	20	10	0,2	0,4	500
Верхний уровень, $x_{iB}$	830	530	4,2	4,0	3000
Нижний уровень, $x_{iH}$	790	510	3,8	3,2	2000
Уровень «+2.0»	850	540	4,4	4,4	3500
Уровень «-2.0»	770	500	3,8	2,8	1500

После этого проводятся экспериментальные исследования и определяются значения  $y_i$ .

### 4.3 Алгоритм расчета управления регрессии второго порядка

Результаты реализации планов лучше всего обрабатывать на ЭВМ. Расчет и статистический анализ уравнения регрессии по плану второго порядка проводится в соответствии с алгоритмом рисунок 3, только изменяются расчетные формулы.

Коэффициенты уравнения регрессии (12) рассчитываются по данным таблицы 4 по следующим формулам:

$$b_0 = D \sum_{i=1}^N y_i + L \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^N x_{ji}^2 y_i ;$$

$$b_j = l^{-1} \sum_{i=1}^N x_{ji} \cdot y_i , \quad j = 1, 2, \dots, k ;$$

$$b_{ij} = m \bar{l}^{-1} \sum_{i=1}^N x_{ui} \cdot x_{ji} \cdot y_i \quad u \neq j, \quad j = 1, 2, \dots, k ;$$

$$b_{jj} = (F - G) \sum_{i=1}^N x_{ji}^2 y_i + G \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k y_i +$$

$$\sum_{i=1}^N 2\alpha^4 \left[ f + (K - 1) \cdot \frac{2}{j^i} \cdot y_i + L \sum_{i=1}^N y_i \right], \quad 27 \quad \Sigma$$

$$D = \frac{\quad}{H};$$

$$H = 2\alpha^4 [N \cdot f + (K - 1) \cdot N \cdot n_1 - K \cdot l_0^2];$$

$$F = \frac{N \cdot f + (K - 2) \cdot N \cdot n_1 - (K - 1) \cdot l_0^2}{H};$$

$$L = -2\alpha^4 \cdot l_0 / H; \quad G = (l_0^2 - N \cdot n_1) / H;$$

$$l_0 = m_1 + 2 \cdot \alpha^2; \quad f = m_1 + 2 \cdot \alpha^4$$

Дисперсии коэффициентов рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} S_{b_0}^2 &= D \cdot S^2 & S_{b_{ij}}^2 &= m^{-1} \cdot S^2 \\ b_0 & 0; & b_{ij} & 1 \quad 0; \\ S_{b_i}^2 &= l^{-1} \cdot S^2 & S_{b_{jj}}^2 &= F \cdot S^2 \\ b_i & 0 \quad 0; & b_{jj} & 0, \end{aligned}$$

где  $S_0^2$  – дисперсия воспроизводимости.

Значимость рассчитанных коэффициентов регрессии проверяют по критерию Стьюдента:

$$t_{bi} > t_T(q, f_0)$$

где  $t_T$  – табличное значение критерия Стьюдента, соответствующее  $q, f_0$  (см. таблицу 1, приложения);

$f_0 = n_0 - 1$  – число степеней свободы дисперсии воспроизводимости;

$q$  – уровень значимости.

Расчетные значения критерия Стьюдента равны:

$$t_{b_0} = \frac{|b_0|}{S_{b_0}}; \quad t_{b_{ij}} = \frac{|b_{ij}|}{S_{b_{ij}}}; \quad t_{b_i} = \frac{|b_i|}{S_{b_i}}; \quad t_{b_{jj}} = \frac{|b_{jj}|}{S_{b_{jj}}}.$$

Незначимые коэффициенты принимаются равные нулю. Если незначимым оказался один из квадратичных эффектов, то после его

распоряжении экспериментатора29имеется математическая модель, заново.

Дисперсию воспроизводимости определяют по опытам в центре плана:

$$S_0 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_u^0 - \bar{y}^0)^2}{n_0 - 1} \quad ; \quad \bar{y}^0 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} y_u^0}{n_0} ,$$

а остаточную дисперсию по формуле

$$S_{ост}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{f_{ост}} ,$$

где  $\hat{y}_i$  – значение переменной состояния, рассчитанное по уравнению

регрессии;  $f_{ост} = (N - l)$  – число степеней свободы остаточной дисперсии;  $l$  – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии.

Адекватность уравнения регрессии эксперименту проверяется по критерию Фишера

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_0^2} ,$$

где  $S_{ад}^2$  – дисперсия адекватности, которую определяют по формуле

$$S_{ад}^2 = \frac{S_{ост}^2 \cdot f_{ост} - S_0^2 \cdot f_0}{f_{ад}} ,$$

где  $f_{ад} = (f_{ост} - f_0)$  – число степеней свободы дисперсии адекватности.

Уравнение адекватно, если

$$F_p < F_T(q, f_{ад}, f_0),$$

где  $F_T$  – табличное значение критерия Фишера (см. таблицу А2).

исключения коэффициенты уравнения регрессии необходимо пересчитать  
Если обработка экспериментальных данных планов второго порядка дает  
адекватную модель, то задача исследования на этом этапе выполнена: в

распоряжении экспериментатора<sup>29</sup> имеется математическая модель, описывающая область оптимума. Дальнейшее исследование зависит от поставленной задачи.

## 5 ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

### 5.1 Поиск оптимума

В экстремальном эксперименте ставится задача поиска координатора оптимума по имеющейся математической модели.

Задачи статической оптимизации очень часто решают поисковыми методами, которые отличаются большим разнообразием. Вместе с различными модификациями их насчитывают несколько десятков. К основным методам поиска можно отнести следующие:

- метод градиента;
- метод наискорейшего спуска или метод крупного восхождения;
- метод Гаусса-Зейделя;
- метод симплексов;
- метод случайного поиска.

Многомерная оптимизация заключается в поиске экстремумом функции многих переменных  $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Метод координатного спуска заключается в поочередном поиске минимума по координате  $x_1$ , затем  $x_2$  и т.д. После нахождения точки минимума по координате  $x_1$  переходим к нахождению точки минимума по координате  $x_2$  и т.д. Поиск ведется с одинаковым шагом, который уменьшается после нахождения всех значений  $\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_{nm}$ . Таким образом, алгоритм

реализации этого метода подобен алгоритму метода поразрядного приближения и лишь дополняется циклом задания переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$  внутри которого оценивается погрешность нахождения  $x_{im}$  для каждой переменной.



## 5.2 Канонический анализ 30поверхности отклика

Для оптимизации исследуемого объекта, который описывается уравнением второго порядка, существует преобразование, позволяющее получить графическую и аналитическую интерпретацию области оптимума. Это преобразование называют *каноническим*.

Каноническое преобразование исходного уравнения регрессии второго порядка

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^r b_i x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i < j}}^r b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^r b_{ii} x_i^2$$

представляет собой переход к стандартному уравнению

$$y - y_S = \sum_{i=1}^r B_{ii} X_i^2,$$

где  $y_S$  – значение выходной переменной в центре поверхности отклика;  $X_i^2$  – канонические переменные;  $B_{ii}$  – коэффициенты канонического уравнения.

Переход к новому уравнению осуществляют переносом начала координат в точку центра поверхности отклика и поворотом осей на определенный угол. Перенос начала координат устраняет линейные члены и свободный член в уравнении: поворот осей исключает взаимодействие факторов.

При числе факторов  $r > 3$  дать наглядное представление о геометрии функции отклика невозможно, однако и в этом случае каноническое преобразование дает хорошие результаты, если последовательно рассматривать изменение двух факторов при остальных застabilизированных. Такой прием позволяет получить серию контурных на плоскости.

При каноническом преобразовании уравнения регрессии второго порядка для двух факторов ( $r = 2$ ) получают уравнение:

$$\hat{y} - \hat{y}_S = B_1 x_1^2 + B_2 x_2^2.$$

Для уравнения (27) в зависимости от знака и величины  $B_{11}$  и  $B_{22}$  возможны четыре вида контурных кривых с равными значениями параметра оптимизации (рисунок 5).

**5.2.1 Коэффициенты  $B_{11}$  и  $B_{22}$  имеют одинаковые знаки**

Контурные кривые в этом случае являются эллипсами.

При  $B_i < 0$  центр эллипса будет максимумом, при  $B_i > 0$  – минимумом.

Если  $|B_{11}| < |B_{22}|$ , то эллипс вытянут по оси  $x_2$ , то и наоборот (рисунок 5,а).

**5.2.2 Коэффициенты  $B_{11}$  и  $B_{22}$  имеют разные знаки**

Контурные кривые в этом случае являются гиперболами. Центр фигуры называется «седлом» или «минимаксом». В зависимости от соотношения абсолютных величин коэффициентов  $B_{11}$  и  $B_{22}$  изменение выходной

переменной по осям  $x_1, x_2$  будет различным (рис. 5,б).

*Рисунок 5 – Контурные кривые функции отклика области оптимума, описываемой уравнением второго порядка*

**5.2.3 Один из коэффициентов близок или равен нулю**

Если  $B_{22} = 0$  – центр находится на бесконечности. Поверхность отклика представляет собой возрастающее возвышение "гребень". Иногда  $B_{22} \approx 0$  и центр фигуры находится в любом месте оси  $x_2$ . Поверхность отклика представляет собой "стационарное возвышение". На практике этот случай встречается редко.

**Алгоритм канонического преобразования следующий:**

а) Для переноса начала координат в новую точку факторного пространства  $S$  уравнение регрессии второго порядка (25) дифференцируют по каждому фактору и приравнивают нулю. Решая систему уравнений, находят координаты нового центра, подставляют их в уравнение регрессии и получают значение выходной переменной  $\hat{y}_S$

## 5.2 Канонический анализ поверхности отклика

в центре  $S$ . В уравнении регрессии

исчезают члены первой степени и изменяется свободный член:

4. Поиск оптимальных значений факторов на основе уравнения

$$\hat{y}_s = \sum_{j,i,j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^2 b_{ii} x_i^2 ;$$

б) Оси в новом центре поворачивают до совмещения с главными осями поверхности функции отклика. Эта операция осуществляется по известным правилам аналитической геометрии.

Например, для  $r = 2$  характеристический детерминант имеет вид:

$$\begin{vmatrix} b_{11} - B & 0,5 \cdot b_{12} \\ 0,5 \cdot b_{12} & b_{22} - B \end{vmatrix}.$$

Решение (29) записывают в виде уравнения

$$B^2 - a_1 B + a_2 = 0 ,$$

где  $a_1 = (b_{11} + b_{22})$  ,  $a_2 = (b_{11} b_{22} - 0,25 b_{12}^2)$

Два корня этого уравнения дают искомые значения коэффициентов уравнение в канонической форме.

в) Проверяют правильность расчетов по формуле

$$\sum_{i=1}^n B_i = \sum_{i=1}^n b_{ii} .$$

## 6 СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Для составления математической модели исследуемого объекта на основе экспериментальных данных, полученных в соответствии с рабочей матрицей планирования, анализа этой модели и ее оптимизации разработана программа на ЭВМ «ММОД», которая включает несколько подпрограмм и позволяет производить следующие расчеты:

1. Определение ошибки опыта для расчета линейного регрессионного уравнения;
2. Расчет линейного регрессионного уравнения;
3. Расчет уравнения регрессии;

регрессии второго порядка;

5. Канонический анализ поверхности отклика уравнения второго порядка для двух переменных;

6. Построение таблиц на основе регрессионного уравнения.

## **7 МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ**

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Ниже приведен алгоритм организации экспериментальных исследований, позволяющий при минимальном количестве экспериментальных опытов получить достоверную математическую модель исследуемого процесса и провести анализ модели:

1. Выбрать факторы, интервалы их варьирования и переменные состояния

2. Построить матрицу планирования полного или дробного (при  $K > 5$ ) факторного эксперимента первого порядка для выбранного числа факторов.

3. Составить рабочую матрицу планирования и провести по ней экспериментальные исследования, а также несколько параллельных опытов в центре плана для определения ошибки опыта.

4. Рассчитать линейное регрессионное уравнение и проверить его адекватность экспериментальным данным. Если уравнение адекватно экспериментальным данным, то необходимо провести его анализ. Если уравнение неадекватно экспериментальным данным, то перейти к пункту 5.

5. Построить матрицу ротатабельного композиционного планирования второго порядка.

6. Составить рабочую матрицу планирования и провести дополнительные экспериментальные исследования (в звездных точках).

7. Рассчитать регрессионные уравнения второго порядка и определить его, адекватность экспериментальным данным.

оптимальные значения факторов, позволяющие получить максимальные значения откликов.

9. Провести каноническое преобразование исходного уравнения регрессии второго порядка и осуществить его анализ.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Рогов В.А., Позняк Г.Г. Методика и практика технических экспериментов : Учебное пособие. – М. : Академия, 2012.

2. Фаддеев М.А. Элементарная обработка результатов эксперимента: Учебное пособие. – СПб. : Лань, 2009.

3. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии: Учеб. пособие для химико-технологических вузов. – М.: Высш.школа, 1978. – 319 с.

4. Рузинов Л.П., Слободчикова Р.И. Планирование эксперимента в химии и химической технологии.– М.,: Химия, 1980. – (серия «Химическая кибернетика») – 280с.

8. На основе полученного <sup>34</sup>регрессионного уравнения определить

Таблица А1 – Значения критерия Стьюдента

Число степеней свободы, $f$	Уровни значимости $q$ , %			Число степеней свободы, $f$	Уровни значимости $q$ , %		
	10	5	2		10	5	2
1	6,31	12,72	31,82	11	1,8	2,20	2,72
2	2,92	4,30	6,96	12	1,78	2,18	2,68
3	2,35	3,18	4,54	13	1,77	2,16	2,65
4	2,13	2,78	3,75	14	1,76	2,14	2,62
5	2,02	2,57	4,03	15	1,75	2,13	2,60
6	1,94	2,45	3,14	16	1,75	2,12	2,58
7	1,89	2,36	3,00	17	1,74	2,11	2,57
8	1,86	2,31	2,90	18	1,73	2,10	2,55
9	1,83	2,26	2,82	19	1,73	2,09	2,54
10	1,81	2,23	2,76	20	1,72	2,09	2,53

Таблица АПРИЛОЖЕНИЕ 1 Критерия Фишера для уровня значимости  $q=5\%$

Число степеней свободы (для знаменателя) – $f_2$	Число степеней свободы (для числителя – $f_1$ )									
	1	2	3	4	5	6	8	12	24	$\infty$
1	161,40	199,50	215,70	224,60	230,20	234,00	238,90	234,90	249,00	254,30
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,37	19,41	19,45	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,84	8,74	8,64	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,77	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,68	4,53	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,84	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,57	3,41	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,12	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,23	3,07	2,90	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,74	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	2,95	2,79	2,61	2,40
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,50	2,30
13	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,77	2,60	2,42	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,35	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,64	2,48	2,29	2,07



16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,24	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,55	2,38	2,19	1,86
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,51	2,34	2,15	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,48	2,31	2,11	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,08	1,84
	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,75	1,52	1,00

# **Основы научных исследований и проектирования**

## **Методические указания**

к практическим занятиям по дисциплине «Основы научных исследований  
и проектирования» для студентов направления

18.03.01 Химическая технология

*Составил доцент Е.Н. Павленко*

*Рецензент доцент А.И. Свидченко*

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## **Методические указания**

по выполнению самостоятельной работы

по дисциплине «Системы управления химико-технологическими процессами»  
для студентов направления подготовки 18.03.01 Химическая технология  
Химическая технология неорганических веществ

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины.....	5
2 План-график выполнения самостоятельной работы.....	6
3 Контрольные точки и виды отчетности по ним.....	7
4 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания.....	7
5 Тематический план дисциплины.....	8
6 Вопросы для собеседования.....	9
7 Методические рекомендации по изучению теоретического материала.....	11
8 Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов	12
9 Методические рекомендации при работе над конспектом во время проведения лекции.....	12
10 Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям.....	13

## Введение

Настоящее пособие разработано на основе:

- Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (далее ФГОС ВО);
- нормативно-методических документов Минобрнауки России;
- Устава ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»;
- Приказом Минобрнауки России от 06.04.2021 N 245 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры» (Зарегистрировано в Минюсте России 13.08.2021 N 64644);
- локальных нормативных актов ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».

На современном рынке труда конкурентоспособным может стать только квалифицированный работник соответствующего уровня и профиля, компетентный, свободно владеющей своей профессией и ориентированный в смежных областях деятельности, способный к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов и готовый к постоянному профессиональному росту.

Самостоятельная работа студента направлена на достижение целей подготовки специалистов-профессионалов, активное включение обучаемых в сознательное освоение содержания образования, обеспечение мотивации, творческое овладение основными способами будущей профессиональной деятельности. Чтобы подготовить и обучить такого профессионала, высшим учебным заведениям необходимо скорректировать свой подход к планированию и организации учебно-воспитательной работы. Это в равной степени относится к изменению содержания и характера учебного процесса. В современных реалиях задача преподавателя высшей школы заключается в организации и направлении познавательной деятельности студентов, эффективность которой во многом зависит от их самостоятельной работы. В свою очередь, самостоятельная работа студентов должна представлять собой не просто самоцель, а средство достижения прочных и глубоких знаний, инструмент формирования активности и самостоятельности студентов.

В связи с введением в образовательный процесс новых образовательных стандартов, с уменьшением количества аудиторных занятий по дисциплинам возрастает роль самостоятельной работы студентов. Возникает необходимость оптимизации самостоятельной работы студентов (далее - СРС). Появляется необходимость модернизации технологий обучения, что существенно меняет подходы к учебно-методическому и организационно-техническому обеспечению учебного процесса.

Данная методическая разработка содержит рекомендации по организации, управлению и обеспечению эффективности самостоятельной работы студентов в процессе обучения в целях формирования необходимых компетенций.

Самостоятельная работа студентов является обязательным компонентом учебного процесса для каждого студента и определяется учебным планом. Виды самостоятельной работы студентов определяются при разработке рабочих программ и учебных методических комплексов дисциплин содержанием учебной дисциплины. При определении содержания самостоятельной работы студентов следует учитывать их уровень самостоятельности и требования к уровню самостоятельности выпускников для того, чтобы за период обучения искомый уровень был достигнут. Так, удельный вес самостоятельной работы при обучении в очной форме составляет до 50% от количества аудиторных часов, отведённых на изучение дисциплины, в заочной форме - количество часов, отведённых на освоение дисциплины, увеличивается до 90%.

Самостоятельная работа определяется как индивидуальная или коллективная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства педагога, но по его заданиям и под его контролем.

Самостоятельная работа – это познавательная учебная деятельность, когда последовательность мышления студента, его умственных и практических операций и действий зависит и определяется самим студентом. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня, что в итоге приводит к развитию навыка самостоятельного планирования и реализации деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение необходимыми компетенциями по своему направлению подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности.

На основании компетентностного подхода к реализации профессиональных образовательных программ, видами заданий для самостоятельной работы являются:

- *для овладения знаниями*: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы), составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами, учебно-исследовательская работа, использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и информационно- телекоммуникационной сети Интернет и др.

- *для закрепления и систематизации знаний*: работа с конспектом лекции, обработка текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей), повторная работа над учебным материалом, составление плана, составление таблиц для систематизации учебного материала, ответ на контрольные вопросы, заполнение рабочей тетради, аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект-анализ и др.), завершение аудиторных практических работ и оформление отчётов по ним, подготовка мультимедиа сообщений/ докладов к выступлению на семинаре (конференции), материалов-презентаций, подготовка реферата, составление библиографии, тематических кроссвордов, тестирование и др.

- *для формирования умений*: решение задач и упражнений по образцу, решение вариативных задач, выполнение чертежей, схем, выполнение расчетов (графических работ), решение ситуационных (профессиональных) задач, подготовка к деловым играм, проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности, рефлексивный анализ профессиональных умений с использованием аудио- и видеотехники и др.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

Контроль результатов самостоятельной работы студентов может осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

Самостоятельная работа проводится в виде упражнений при изучении нового материала, упражнений в процессе закрепления и повторения, упражнений проверочных и контрольных работ, а также для самоконтроля.

Для организации самостоятельной работы необходимы следующие условия:

1. готовность студентов к самостоятельному труду;
2. наличие и доступность необходимого учебно-методического и справочного материала;
3. консультационная помощь.

Самостоятельная работа может проходить в лекционном кабинете, компьютерном зале, библиотеке, дома. Самостоятельная работа способствует формированию компетенций, тренирует волю, воспитывает работоспособность, внимание, дисциплину и ответственность.

## **1 Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины**

Дисциплина «Системы управления химико-технологическими процессами» относится к дисциплине базовой части. Она направлена на формирование профессиональных компетенций обучающихся в процессе выполнения работ, определенных ФГОС ВО.

Наименование компетенций:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
<p><b>ОПК-4</b> Способен обеспечивать проведение технологического процесса, использовать технические средства для контроля параметров технологического процесса, свойств сырья и готовой продукции, осуществлять изменение параметров технологического процесса при изменении свойств сырья</p>	<p><b>ИД-1</b> знаком с основными методами обеспечения проведения технологического процесса, использования технических средств для контроля параметров технологического процесса, свойств сырья и готовой продукции, основными параметрами технологического процесса при изменении свойств сырья</p>	<p><b>Пороговый уровень</b>  <b>понимает</b> технологический процесс в соответствии с регламентом, основы использования технических средств контроля параметров технологического процесса  <b>Повышенный уровень</b>  <b>понимает</b> основы выявления и устранения отклонений от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса</p>
	<p><b>ИД-2</b> решает стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения методов обеспечения технологического процесса, использования технических средств для контроля параметров технологического процесса</p>	<p><b>Пороговый уровень</b>  <b>осуществляет</b> технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для контроля параметров технологического процесса  <b>Повышенный уровень</b>  <b>выявляет</b> и устраняет отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса</p>
	<p><b>ИД-3</b> обеспечивает технологический процесс, используя технические средства для контроля параметров технологического процесса химических предприятий</p>	<p><b>Пороговый уровень</b>  <b>применяет</b> методы осуществления технологического процесса в соответствии с регламентом и использования технических средств контроля параметров технологического процесса  <b>Повышенный уровень</b>  <b>применяет</b> методы выявления и устранения отклонений от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса</p>

В рамках курса дисциплины «Системы управления химико-технологическими процессами» самостоятельная работа студентов находит активное применение и включает в себя различные виды деятельности:

- подготовка к лабораторным занятиям, в том числе работа с методическими указаниями, средствами массовой информации;
- подготовка к лекциям, в том числе самостоятельное углубленное изучение теоретического курса по рекомендованной литературе;
- подготовка к промежуточной аттестации.

Цель самостоятельной работы студента при подготовке к лекциям заключается в получении новых знаний, приобретенных при более глубоком изучении литературы по дисциплине.

Задачи:

- доработка и повторение конспектов лекции;
- осмысление содержания лекции, логической структуры, выводов.

Цель самостоятельной работы студента при подготовке к лабораторным занятиям заключается в углублении, расширении, детализировании знаний, полученных на лекциях в обобщенной форме.

Задачи:

- развить способность применять полученные знания на практике при решении конкретных задач;
- проверить знания студентов, полученные на лекциях и при самостоятельном изучении литературы.

## 2 План-график выполнения самостоятельной работы

Таблица 1 – Виды самостоятельной работы для заочной формы обучения

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
ИД-1 ОПК-4 ИД-2 ОПК-4 ИД-3 ОПК-4	Подготовка к практическому занятию	Собеседование	0,855	0,045	0,900
ИД-1 ОПК-4 ИД-2 ОПК-4 ИД-3 ОПК-4	Подготовка к лабораторной работе	Собеседование	1,283	0,068	1,350
ИД-1 ОПК-4 ИД-2 ОПК-4 ИД-3 ОПК-4	Самостоятельное изучение литературы	Собеседование	87,638	4,613	92,250
Итого за семестр			89,775	4,725	94,500
Итого			89,775	4,725	94,500

## 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним

В рамках рейтинговой системы успеваемость студентов по каждой дисциплине оценивается в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

## 4 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Уровни сформированности компетенции(ий), индикатора (ов)	Дескрипторы			
	Минимальный уровень не достигнут (Неудовлетворительно) 2 балла	Минимальный уровень (удовлетворительно) 3 балла	Средний уровень (хорошо) 4 балла	Высокий уровень (отлично) 5 баллов
<i>Компетенция: ОПК-4 Способен обеспечивать проведение технологического процесса, использовать технические средства для контроля параметров технологического процесса, свойств сырья и готовой продукции, осуществлять изменение параметров технологического процесса при изменении свойств сырья</i>				
Результаты обучения по дисциплине (моду-	не понимает технологический	не в достаточном объеме понимает	понимает технологический	понимает основы выявления и устра-



лю): <i>Индикатор:</i> ИД-1 ОПК-4 знаком с основными методами обеспечения проведения технологического процесса, использования технических средств для контроля параметров технологического процесса, свойств сырья и готовой продукции, основными параметрами технологического процесса при изменении свойств сырья	процесс в соответствии с регламентом, основы использования технических средств контроля параметров технологического процесса	технологический процесс в соответствии с регламентом, основы использования технических средств контроля параметров технологического процесса	процесс в соответствии с регламентом, основы использования технических средств контроля параметров технологического процесса	нения отклонений от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
ИД-2 ОПК-4 решает стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения методов обеспечения технологического процесса, использования технических средств для контроля параметров технологического процесса	не осуществляет технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для контроля параметров технологического процесса	не в достаточном объеме технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для контроля параметров технологического процесса	технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для контроля параметров технологического процесса	выявляет и устраняет отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
ИД-3 ОПК-4 обеспечивает технологический процесс, используя технические средства для контроля параметров технологического процесса химических предприятий	не применяет методы осуществления технологического процесса в соответствии с регламентом и использования технических средств контроля параметров технологического процесса	не в достаточном объеме применяет методы осуществления технологического процесса в соответствии с регламентом и использования технических средств контроля параметров технологического процесса	применяет методы осуществления технологического процесса в соответствии с регламентом и использования технических средств контроля параметров технологического процесса	применяет методы выявления и устранения отклонений от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса

### 5 Тематический план дисциплины

№	Раздел (тема) дисциплины и краткое содержание	Формируемые	заочная форма
---	---	-------------	---------------

		компетенции, индикаторы	Контактная работа обучающихся с преподавателем /из них в форме практической подготовки, часов			Самостоятельная работа, часов	
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы		
1	1	<b>Основные понятия управления химико-технологическим процессом.</b> Цель управления ХТП. Функциональная структура АСУТП. Задачи анализа и синтеза автоматической системы регулирования.	ИД-1 ОПК-4 ИД-2 ОПК-4 ИД-3 ОПК-4	1,5	1,5	1,5	10
2	2	<b>Основы теории автоматического управления.</b> Моделирование как метод исследования систем автоматического управления (САУ). Декомпозиция САУ. Составление дифференциальных уравнений САУ. Линеаризация уравнений. Динамические характеристики САУ. Типовые динамические звенья. Устойчивость линейных САУ.	ИД-1 ОПК-4 ИД-2 ОПК-4 ИД-3 ОПК-4	1,5	1,5	1,5	10
3	3	<b>Автоматические системы контроля, управления и регулирования.</b> Основные понятия и определения. Системы автоматического контроля. Алгоритм системы автоматического контроля. Системы автоматического управления (САУ). Алгоритм системы автоматического управления. Системы автоматического регулирования (САР). Принципы регулирования. Устойчивость систем автоматического регулирования. Характеристика звеньев САР.	ИД-1 ОПК-4 ИД-2 ОПК-4 ИД-3 ОПК-4				10
4	4	<b>Измерительные преобразователи (датчики).</b> Общие сведения. Первичные механические преобразователи. Датчики линейных и угловых перемещений. Датчики скорости. Датчики деформации. Датчики силы. Датчики температуры. Датчики дискретных параметров.	ИД-1 ОПК-4 ИД-2 ОПК-4 ИД-3 ОПК-4				10

5	5	<b>Измерение и контроль основных технологических параметров.</b> Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Средства измерения температуры. Измерение давления. Измерение расхода и количества вещества. Измерение уровня. Измерение состава и концентрации.	ИД-1 ОПК-4 ИД-2 ОПК-4 ИД-3 ОПК-4				10
6	6	<b>Устройства преобразования сигналов.</b> Назначение. Переходные устройства. Устройства нормализации сигналов. Мостовые измерители цепи. Усилители. Цифровые устройства. Цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи.	ИД-1 ОПК-4 ИД-2 ОПК-4 ИД-3 ОПК-4				10
7	7	<b>Исполнительные механизмы.</b> Виды исполнительных механизмов. Электромеханические исполнительные механизмы. Электропневматические и электрогидравлические исполнительные механизмы.	ИД-1 ОПК-4 ИД-2 ОПК-4 ИД-3 ОПК-4				10
8	8	<b>Основные сведения об автоматизированных системах управления химико-технологических процессов (АСУ ТП).</b> Разновидности АСУ ТП. Децентрализованные, централизованные и распределённые АСУ. Режимы работы АСУ ТП: автоматизированные и автоматические. ЭВМ, применяемые в АСУ ТП. Обеспечение АСУ ТП: техническое, программное, математическое, информационное и т.д. Обеспечение надёжности функционирования АСУ ТП.	ИД-1 ОПК-4 ИД-2 ОПК-4 ИД-3 ОПК-4				10
9	9	<b>Основы проектирования АСУ ТП.</b> Динамические характеристики и особенности управления типовыми процессами и аппаратами химической технологии (теплообменники, массообменная аппаратура, химические реакторы и др.). Регулирование основных технологических параметров: расхода, давления, температуры, уровня, рН. Технические средства систем автоматического управления. Вспомогательное оборудование. Исполнительные устройства. Стадии проектирования систем управления: разработка технического задания, эскизная разработка, разработка технического проекта. Выбор точек измерения, контроля, управляемых параметров и управляющих воздействий. Примеры систем управления в химической промышленности.	ИД-1 ОПК-4 ИД-2 ОПК-4 ИД-3 ОПК-4	1,5	1,5	1,5	14,5
		ИТОГО за семестр		4,5	4,5	4,5	94,5
		Итого		4,5	4,5	4,5	94,5

## 6. Вопросы для собеседования

1. Величина гидростатического давления зависит. Выберите один или несколько ответов.
2. Мембранный исполнительный механизм, принцип действия.
3. Систематическая погрешность средства измерений
4. Формирование управляющих воздействий, обеспечивающих требуемый режим работы объекта управления, это?
5. Устойчивость автоматической системы – это?
6. Приведение границ шкалы первичного непрерывного сигнала к одному из стандартных диапазонов входного сигнала аналого-цифрового преобразователя измерительного канала?
7. Кривая разгона?
8. Распределенная система управления технологическим процессом?
9. Пирометр, основанный на сравнении величины отношения монохроматических яркостей накаливаемого тела в двух областях спектра – это?
10. Пирометр, основанный на сравнении монохроматической яркости излучения?
11. Устройство, требуемый режим работы которого должен поддерживаться извне специально организованными управляющими воздействиями?
12. Укажите уровнемеры, обладающие такими характеристиками: нечувствителен к свойствам среды, может работать где угодно, максимальную точность, высокую надёжность, имеет долгий срок эксплуатации.
13. Передаточная функция объекта регулирования это?
14. Программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации в технологическом объекте мониторинга или управления.
15. У уровнемеры, принцип действия которых основан на измерении разности интенсивности излучения в зависимости от степени поглощения его контролируемой средой.
16. Параметр технологического процесса, который необходимо поддерживать постоянным или изменять по определенному закону.
17. Расходомер электромагнитный
18. Регулятор прерывного действия
19. Регулятор непрерывного действия
20. Регулятор косвенного действия
21. Регулятор прямого действия
22. Качество процесса регулирования
23. Технологический объект управления по типу протекающих процессов
24. Расходомеры, принцип действия которых основан на измерении ЭДС
25. Термометры линейного расширения.
26. Электромагнитные расходомеры
27. Вихревые расходомеры
28. Расходомеры постоянного перепада давления
29. Расходомеры переменного перепада давления
30. Косвенные измерения
31. Свойство твёрдых материалов
32. Обратная связь в автоматической системе регулирования

33. Дроссельные регулирующие органы это?
34. Выходной сигнал звена запаздывания
35. Случайная погрешность средства измерения
36. Систематическая погрешность
37. Динамическая погрешность
38. Приведенная погрешность
39. Технологические объекты управления, характеристики которых зависят не только от времени, но и от пространственных координат, изменяющихся в пределах области
40. Процедурные языки программирования для программируемых логических контроллеров
41. Автоматическая система регулирования, в которой регулирующий параметр изменяется в зависимости от величины возникающих возмущений
42. Классификация исполнительных механизмов
43. Погрешность средства измерений, выраженная в единицах измеряемой физ. величины
44. Преимущества пирометрического метода измерения температуры
45. Набор программных продуктов, при помощи которого проектируется и настраивается среда визуализации технологического процесса.
46. Цифровые измерители – индикаторы:
47. Односедельный регулирующий клапан, принцип действия которого представлен на рисунке
48. Приборы, работающие в комплекте с термометрами сопротивления:
49. Статическая погрешность средства измерений
50. Динамическая характеристика системы
51. Прибор для измерения температуры, принцип действия которого основан на измерении объёма жидкости или линейных размеров твердых тел при изменении температуры среды
- 52.
53. Исполнительный механизм, в котором необходимое усилие для воздействия на рабочий орган создается за счет давления сжатого воздуха
54. Входные сигналы, с помощью которых целенаправленно воздействуют на выходные сигналы
55. Уровнемер, принцип действия которого основан на различии электрических свойств жидкостей и газов
56. Сопло Вентури
57. Преимущества манометрических термометров
58. Достоинствами активных экспериментальных методов определения динамических характеристик объектов управления являются:
59. Приборы, работающие в комплекте с термопарами
60. Цифровые измерители-индикаторы
61. Системы автоматического регулирования по отклонению это?
62. Преимущества термоэлектрических преобразователей?
63. К пневматическим исполнительным механизмам относятся устройства
64. Возмущающие параметры это?

### **Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Приступая к работе, каждый студент должен принимать во внимание следующие положения. Дисциплина (модуль) построена по тематическому принципу, каждая тема представляет

собой логически завершенный раздел.

Лекционный материал посвящен рассмотрению ключевых, базовых положений дисциплины (модуля) и разъяснению учебных заданий, выносимых на самостоятельную работу студентов.

Практические занятия проводятся с целью закрепления усвоенной информации, приобретения навыков ее применения при решении практических задач в соответствующей предметной области.

Самостоятельная работа студентов направлена на самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовку к практическим занятиям, а также выполнения всех видов самостоятельной работы.

Для успешного освоения дисциплины, необходимо выполнить все виды самостоятельной работы, используя рекомендуемые источники информации.

## **7 Методические рекомендации по изучению теоретического материала**

Самостоятельная работа студента в ходе **лекционных занятий** включает изучение вопросов теории, вынесенных на самостоятельное изучение в соответствии с рабочей программой дисциплины, проработку лекционных материалов для подготовки к контролю знаний на лекционных занятиях (опрос) и подготовку вопросов для обсуждения при консультации с преподавателем.

Работа с лекционным материалом не завершается по окончании лекции. На 2 часа лекции необходимо затратить около часа на работу с конспектом. За это время необходимо перечитать записи, пополнить их данными, которые удалось запомнить из речи преподавателя, но не удалось записать. Работая с конспектом, нужно отметить непонятные вопросы, для выяснения, которые у преподавателя на консультации. Отдельно следует выделить связанные с темой лекции вопросы, которые преподаватель поручил проработать самостоятельно.

Активно проработанный в течение семестра конспект лекций в дальнейшем служит основой для подготовки к экзамену.

Вопросы для самостоятельного изучения представлены в п. 5.

Самостоятельная работа в ходе **лабораторных работ** включает выполнение заданий к лабораторным занятиям, в частности решение задач различного уровня сложности. Задачи приведены в методических указаниях к практическим занятиям и фондах оценочных средств.

Зная тему лабораторного занятия, необходимо готовиться к нему заблаговременно. Для эффективной подготовки к лабораторному занятию необходимо иметь методическое руководство к лабораторным работам.

Критерии оценивания лабораторных занятий представлены в фонде оценочных средств.

При проверке лабораторного задания, оцениваются: последовательность и рациональность изложения материала; полнота и достаточный объем ответа; научность в оперировании основными понятиями; использование и изучение дополнительных литературных источников  
Критерии оценивания результатов самостоятельной работы: вопросы для собеседования и экзамена приведены Фонде оценочных средств по дисциплине

## **8 Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа является одним из видов учебной деятельности обучающихся, способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Аудиторная самостоятельная работа по учебной дисциплине осуществляется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя без его непосредственного участия.

Виды заданий для внеаудиторной самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференцированный характер, учитывать специфику изучаемой учебной дисциплины, индивидуальные особенности обучающегося.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуется как единство двух форм:

1. самоконтроль и самооценка обучающегося;
2. контроль и оценка со стороны преподавателя.

## **9 Методические рекомендации при работе над конспектом во время проведения лекции**

В ходе лекционных занятий вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

В ходе подготовки к семинарам изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, новыми публикациями в периодических изданиях: журналах, газетах и т.д. При этом учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы. Дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из литературы, рекомендованной преподавателем и предусмотренной учебной программой. Подготовить тезисы для выступлений по всем учебным вопросам, выносимым на семинар. Готовясь к докладу или реферативному сообщению, обращаться за методической помощью к преподавателю. Составить план-конспект своего выступления. Продумать примеры с целью обеспечения тесной связи изучаемой теории с реальной жизнью. Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы базируется на соблюдении настоящих рекомендаций и изучении рекомендованной литературы. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании работ.

## **10 Методические рекомендации по подготовке к лабораторным занятиям**

Лабораторное занятие – один из самых эффективных видов учебных занятий, на которых студенты учатся творчески работать, аргументировать и отстаивать свою позицию, правильно и доходчиво излагать свои мысли перед аудиторией. Основное в подготовке и проведении практических занятий – это самостоятельная работа студента над изучением темы. Студент обязан точно знать план занятия либо конкретное задание к нему. На занятии обсуждаются узловые вопросы темы, однако там могут быть и такие, которые не были предметом рассмотрения на лекции. Могут быть и специальные задания к той или иной теме.

Готовиться к лабораторной работе следует заранее. Необходимо внимательно ознакомиться с планом и другими материалами, уяснить вопросы, выносимые на обсуждение. Затем нужно подобрать литературу и другой необходимый, в т.ч. рекомендованный, материал (через библиотеку, учебно-методический кабинет кафедры и др.). Но прежде всего, следует обратиться к своим конспектам лекций и соответствующему разделу учебника. Изучение всех источников должно идти под углом зрения поиска ответов на выносимые на практико-ориентированные занятия вопросы.

Завершающий этап подготовки к занятиям состоит в выполнении индивидуальных заданий.

В случае пропуска занятия студент обязан подготовить материал и отчитаться по нему перед преподавателем в обусловленное время. Может быть предложено отдельным бакалаврам, ввиду их слабой подготовки, более глубоко освоить материал и прийти на индивидуальное собеседование.

Студент не допускается к зачету, если у него есть задолженность по лабораторным работам.