

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



по образовательной деятельности

А.А. Панфилов

« 02 » 09 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ  
ИССЛЕДОВАНИЯ В ХИМИИ**

**Направление подготовки** – 18.04.01 – Химическая технология

**Профиль/программа подготовки** – Химическая технология переработки пластических масс и композиционных материалов

**Уровень высшего образования:** магистратура

**Форма обучения** – очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
1	4/144	18		18	72	Экзамен (36)
Итого	4/144	18		18	72	Экзамен (36)

Владимир, 2019

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины** «Теоретические и экспериментальные методы»: освоение магистрантами современных теоретических представлений о температуре, теоретических основ её измерения и практических вопросов контроля, измерения, и поддержания температуры; знакомство с теоретическими представлениями о вакууме и освоение важнейших аспектов вакуумной техники и устройства наиболее распространённых датчиков и агрегатов.

**Задачи:** понимание магистрантами основ современных теоретических представлений о температуре, метрологического обоснования её измерения; знакомство с первичной и вторичной термометрией; современной температурной шкалой МПТШ-68; изучение устройства газовых термометров, металлических и полупроводниковых термометров сопротивления, термопар, оптических термометров излучения; знакомство с измерительными схемами приборов для измерения температуры, такими, как компенсационные и мостовые. В тематике вакуумной техники задачами являются формирование представлений о степенях вакуума и физических основах создания, поддержания и измерения вакуума в различных областях пониженных давлений; ознакомление с устройством вакуумных насосов и вакуумметров. Финальной задачей является использование полученных знаний для решения конкретных задач химии и химической технологии.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Теоретические и экспериментальные методы» изучается в вариативной части учебного плана.

Пререквизиты дисциплины «Теоретические и экспериментальные методы»:

1. Общая и неорганическая химия.
2. Физическая химия.
3. Физика.
4. Метрология, стандартизация, сертификация.
5. Общая химическая технология.
6. Процессы и аппараты химической технологии.
7. Электротехника и промышленная электроника.
8. Системы управления химико-технологическими процессами.

### 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции <sup>1</sup>	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ОПК-3, ПК-3	частичное	<p><i>Знать:</i> основы современных представлений о температуре и метрологических основах её измерения, устройство и принципы работы датчиков температуры, основы вакуумной техники, устройство агрегатов для создания вакуума и датчиков его измерения;</p> <p><i>Уметь:</i> подобрать датчик температуры для конкретной технологической или научно-исследовательской задачи и обеспечить его работу, выбрать соответствующие технологическим задачам вакуумный насос и вакуумметр;</p> <p><i>Владеть:</i> основными технологическими схемами работы приборов контроля и измерения температуры и агрегатов для создания и измерения вакуума в химико-технологических процессах.</p>

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоёмкость дисциплины составляет 4 зачётных единиц, 144 часов.

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Вид учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах).				Объем учебной работы с применением интерактивных методов (в часах/%)	Формы текущего контроля, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы.	СРС		
1	Температура. Нулевой закон термодинамики. Газовые законы. Абсолютная температура.	1	1-2	1		1	4	1/50	
2	К вопросу об «отрицательных» температурах.	1	1-2	1		1	4		
3	Историческая справка. Шкалы Фаренгейта, Реомюра, Цельсия, Кельвина.	1	3-4	1		1	4	2/100	
4	Первичная и вторичная термометрия. Международные практические шкалы	1	3-4	2		2	8	4/100	
5	Первичная термометрия. Газовые термометры. Нормальные приборы МПТШ-68.	1	5	1		1	4	2/100	Рейтинг-контроль № 1
6	Платиновые термометры сопротивления. Измерительные схемы.	1	5-7	2		2	8	2/50	
7	Термопары. Измерительные схемы.	1	8-9	2		2	8	2/50	
8	Оптические пирометры. Принцип действия.	1	10-11	2		2	8	1/25	Рейтинг-контроль. № 2

9	Основы вакуумной техники. Теоретические основания вакуума. Степени вакуума.	1	12-13	1		1	4		
10	Получение вакуума. Вакуумные насосы.	1	13-14	2		2	8	2/50	
11	Измерение вакуума. Вакуумметры. Измерительные схемы.	1	15-16	2		2	8	3/75	
12	Элементы вакуумных систем. Вакуумные материалы. Понятие о течеискании.	1	17	1		1	4	1/50	Рейтинг-контроль № 3
Всего за 1 семестр:				18		18	72	20/56	Экзамен (27)
Наличие в дисциплине КП/КР									
Итого по дисциплине				18		18	72	20/569	Экзамен (27)

## Содержание лекционных занятий по дисциплине

### Раздел I. Температура

#### Тема 1. Теоретические основания температуры

Содержание темы. Температура. Нулевой закон термодинамики. Газовые законы. Абсолютная температура. К вопросу об «отрицательных» температурах. Историческая справка. Шкалы Фаренгейта, Реомюра, Цельсия, Кельвина.

#### Тема 2. Термометрия

Содержание темы. Термодинамическая температура. Первичная и вторичная термометрия. Международные практические шкалы МТШ-27, МПТШ-48 и МПТШ-68, редакция 1975 г.

#### Тема 3. Практическая термометрия

Содержание темы. Первичная термометрия. Газовые термометры. Нормальные приборы МПТШ-68. Платиновые термометры сопротивления. Измерительные схемы. Термопары. Измерительные схемы. Оптические пирометры. Принцип действия.

### Раздел II. Вакуумная техника

#### Тема 4. Получение вакуума

Содержание темы. Основы вакуумной техники. Теоретические основания вакуума. Степени вакуума: низкий, средний, высокий и сверхвысокий вакуум. Получение вакуума. Вакуумные насосы. Механические форвакуумные насосы: пластинчато-роторные и ротационные. Высоковакуумные насосы: диффузионные паромасляные, адсорбционные, геттерные, магниторазрядные. Турбомолекулярные насосы.

#### Тема 5. Измерение вакуума

Содержание темы. Измерение вакуума. Вакуумметры: жидкостные, типа Бурдона, компрессионные, термопарные, вакуумметры сопротивления, ионизационные, мембранно-ёмкостные (типа баратрона). Измерительные схемы вакуумметров.

Элементы вакуумных систем. Вакуумные материалы. Понятие о течеискании.

## Содержание лабораторных занятий по дисциплине

Тема 1. Газовые законы. Абсолютная температура. Шкалы Фаренгейта, Реомюра, Цельсия, Кельвина.

Тема 2. Международные практическая шкала МПТШ-68.

Тема 3. Газовые термометры.

Тема 4. Нормальные приборы МПТШ-68. Платиновые термометры сопротивления.

- Тема 5. Нормальные приборы МПТШ-68. Термопары.
- Тема 6. Нормальные приборы МПТШ-68. Оптические пирометры.
- Тема 7. Вакуумные насосы. Механические форвакуумные насосы.
- Тема 8. Вакуумные насосы. Высоковакуумные насосы.
- Тема 9. Вакуумметры для низкого и среднего вакуума.
- Тема 10. Вакуумметры для высокого вакуума.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Теоретические и экспериментальные методы» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- *Интерактивная лекция (тема № 3, 4, 5);*
- *Групповая дискуссия (тема № 1, 3);*
- *Применение имитационных моделей (тема № 3, 4, 5);*
- *Разбор конкретных ситуаций (тема № 3, 4).*

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.

Текущий контроль успеваемости приводится по результатам рейтинг-контроля по следующим контрольным вопросам:

### Рейтинг-контроль №1

1. Международная система единиц СИ. 7 основных величин. Теория теплорода.
2. Нулевой закон термодинамики. Абстрактный термометр.
3. Уравнение состояния идеального газа. Законы Гей-Люссака.
4. Коэффициент объёмного расширения газов при нулевом давлении.
5. Зависимость объёма газа от температуры при различных давлениях.
6. Понятие об абсолютной температуре. Мольная кинетическая энергия идеального газа.
7. Принцип построения шкалы абсолютных температур.

8. К вопросу об отрицательных температурах.
9. История термометрии. Жидкостные термометры. Шкалы Фаренгейта, Реомюра, Цельсия, Кельвина.

### **Рейтинг-контроль №2**

1. Первичная и вторичная термометрия. Абсолютная температура. Тройная точка воды.
2. Определение величин  $R$ ,  $N_A$ ,  $k$ .
3. Уравнение состояния реального газа с вириальными коэффициентами.
4. Вторичные термометры.
5. Международные температурные шкалы МТШ-27, МПТШ-48, МПТШ-68.
6. Нормальные приборы МПТШ-68.
7. Газовые термометры.
8. Термометры сопротивления. Измерительные схемы.
9. Термопары. Измерительные схемы.
10. Оптические пирометры.

### **Рейтинг-контроль №3**

1. Понятие вакуума. Закон распределения газа по скоростям. Число молекул, ударяющихся в единицу поверхности стенки в единицу времени. Средняя длина свободного пробега. Степени вакуума.
2. Классификация вакуумных насосов. Пластинчато-роторные форвакуумные насосы.
3. Классификация вакуумных насосов. Высоковакуумные пароструйные насосы.
4. Классификация вакуумных насосов. Высоковакуумные адсорбционные, геттерные и магниторазрядные насосы.
5. Классификация вакуумных насосов. Турбомолекулярные насосы.
6. Жидкостные U-образные манометры.
7. Мембранно-ёмкостные манометры.
8. Теплоэлектрические манометры.
9. Ионизационные манометры.



## **Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины. Вопросы к экзамену**

1. Международная система единиц СИ. 7 основных величин. Теория теплорода. Нулевой закон термодинамики. Абстрактный термометр. Уравнение состояния идеального газа. Законы Гей-Люссака. Коэффициент объёмного расширения газов при нулевом давлении. Зависимость объёма газа от температуры при различных давлениях. Понятие об абсолютной температуре. Мольная кинетическая энергия идеального газа. Принцип построения шкалы абсолютных температур.
2. К вопросу об отрицательных температурах.
3. История термометрии. Жидкостные термометры. Шкалы Фаренгейта, Реомюра, Цельсия, Кельвина.
4. Первичная и вторичная термометрия. Абсолютная температура. Тройная точка воды. Определение величин  $R$ ,  $N_A$ ,  $k$ . Уравнение состояния реального газа с вириальными коэффициентами. Вторичные термометры.
5. Международные температурные шкалы МТШ-27, МПТШ-48, МПТШ-68.
6. Нормальные приборы МПТШ-68.
7. Газовые термометры.
8. Термометры сопротивления. Измерительные схемы.
9. Термопары. Измерительные схемы.
10. Понятие вакуума. Закон распределения газа по скоростям. Число молекул, ударяющихся в единицу поверхности стенки в единицу времени. Средняя длина свободного пробега. Степени вакуума.
11. Классификация вакуумных насосов. Пластинчато-роторные форвакуумные насосы.
12. Классификация вакуумных насосов. Высоковакуумные пароструйные насосы.
13. Классификация вакуумных насосов. Высоковакуумные адсорбционные, геттерные и магниторазрядные насосы.
14. Классификация вакуумных насосов. Турбомолекулярные насосы.
15. Жидкостные U-образные манометры.
16. Мембранно-ёмкостные манометры.
17. Теплоэлектрические манометры.
18. Ионизационные манометры.

## **Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов**

### ***1 раздел. Примеры выбора средств измерений температуры***

**Пример 1.** Необходимо выбрать средство измерений температуры жидкости в прокачной установке. Температурный режим:  $(80+10) \text{ }^\circ\text{C}$ . Определяем: наибольшее предельное значение температуры:  $(80 + 10) \text{ }^\circ\text{C} = 90^\circ\text{C}$ ; наименьшее предельное значение температуры:  $(80 - 0) \text{ }^\circ\text{C} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ; допуск:  $(90-80)^\circ\text{C}=10^\circ\text{C}$ .

Расчетный способ: Определяем основную абсолютную погрешность измерений  $0,33 \times 10^\circ\text{C}=|3,3| \text{ }^\circ\text{C}$ ; нижний предел рабочей части шкалы:  $\text{Нди} < 80 \text{ }^\circ\text{C} - 3,3 \text{ }^\circ\text{C} = 76,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ; верхний предел рабочей части шкалы:  $\text{Вди} > 90 \text{ }^\circ\text{C} + 3,3 \text{ }^\circ\text{C} = 93,3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В соответствии с найденными значениями  $\text{Д}$ ,  $\text{Нди}$ ,  $\text{Вди}$  по таблице выбираем манометрический термометр с диапазоном измерений от (0 до 100)  $^\circ\text{C}$ . Определяем основную приведенную погрешность выбранного манометрического термометра. По найденному значению основной приведенной погрешности выбираем манометрический термометр класса точности 2,5 не более.

Вывод - для измерений температуры жидкости в прокачной установке выбираем термометр манометрический не грубее класса точности 2,5 с диапазоном измерений (0...100)  $^\circ\text{C}$ .

**Пример 2.** Выбрать составляющие измерительную систему датчик и вторичный измерительный прибор для измерений температуры  $(860 \pm 15) \text{ }^\circ\text{C}$ . Режим работы длительный. Определяем: наибольшее предельное значение температуры:  $860^\circ\text{C} + 15^\circ\text{C}=875^\circ\text{C}$ ; наименьшее предельное значение температуры:  $860^\circ\text{C}-15^\circ\text{C}=845^\circ\text{C}$ , допуск:  $875 \text{ }^\circ\text{C} - 845 \text{ }^\circ\text{C} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В качестве датчика наиболее приемлема термопара из неблагородных металлов. В измеряемом диапазоне температур целесообразно использовать термопару хромель-алюмель со стандартной градуировочной характеристикой К. В комплекте с термопарой в качестве вторичного показывающего прибора могут применяться милливольтметр или автоматический потенциометр.

Расчетный способ. Определяем погрешность датчика градуировки К класса допуска 2 согласно табл.10.5 в диапазоне 900  $^\circ\text{C}$ :  $\pm 6,75^\circ\text{C}$ ; погрешность вторичного измерительного прибора, тогда  $< 7,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ; основную приведенную погрешность вторичного прибора; найденному значению соответствует класс точности 0,5.

Вывод - для измерений температуры  $(860 \pm 15) \text{ }^\circ\text{C}$  выбираем автоматический потенциометр класса точности 0,5 с диапазоном измерений от 600 до 1100  $^\circ\text{C}$ , термопару никельхром-никельалюмель со стандартной градуировочной характеристикой «К» класса допуска 2.

Примечание - На практике часто приходится измерять температуру с жёстким допуском, например  $(860 +10) \text{ }^\circ\text{C}$ . В данном случае, согласно приведенных выше расчётов, необходима термопара градуировки «5», что экономически нецелесообразно.

В подобных случаях назначают термопару градуировки «К», но при настройке (снятии показаний) измерительного прибора должна учитываться поправка на термопару, взятая из паспорта термопары, входящей в данную измерительную систему. Либо подбирают измерительный прибор с

меньшим диапазоном измерений (смещают начальную точку диапазона измерений ближе к контролируемому параметру).

Если печь работает на нескольких технологических режимах (ступенчатый нагрев) для обеспечения которых необходим прибор с диапазоном измерений, охватывающим все технологические режимы печи, например, (0...1300) °С, то при настройке измерительного прибора должна учитываться поправка на термопару, взятая из паспорта термопары, входящей в данную измерительную систему. В подобных случаях погрешность измерения измерительной системы равна погрешности измерительного прибора (без учета погрешности датчика).

## ***2 раздел. Самостоятельно проработайте темы:***

1. Откачные средства
2. Пластинчато-роторные насосы
3. Пароструйные насосы
4. Магниторазрядные насосы
5. Турбомолекулярные насосы
6. Криогенные насосы
7. Измерение вакуума
8. Манометрические преобразователи
9. Вакуумметры
10. Течеискание
11. Физико-технические процессы в вакууме
12. Вакуумные технологии
13. Конструирование вакуумных систем
14. Автоматизированный расчет, проектирование и моделирование вакуумных систем

## ***Ответьте на вопросы.***

1. Чем обусловлено деление вакуума на низкий, средний, высокий и сверхвысокий?
2. Почему необходима предварительная откачка до фор-вакуума при получении высокого вакуума?
3. В чём состоят недостатки масляной откачки?
4. Методы устранения загрязнения вакуумной установки парами масла.
5. Какие недостатки имеют геттерные и адсорбционные насосы?
6. Преимущества турбомолекулярных насосов?
7. Наиболее уязвимое звено в механике турбомолекулярных насосов?
8. Недостатки компрессионных манометров?

9. Дайте сравнительную характеристику термопарных и вакуумметров сопротивления.
10. Каковы недостатки ионизационных манометров?
11. Преимущества и недостатки баратронов.

Для успешного выполнения самостоятельной работы студентам рекомендуется следующая литература:

Куинн Т. Температура. Москва. Мир. 1985.

Розанов Л.Н. Вакуумная техника. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. Москва. Высшая школа. 1990.

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
Основная литература*			
1. Основы метрологического обеспечения температурного контроля реакторных установок: учебное пособие для вузов / М.Н. Арнольдов, В.А. Каржавин, А.И. Трофимов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2012. - 248 с.: ил.	2012		<a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>
2. Измерение температуры по тепловому излучению тела. Фетисов И.Н. Издательство: МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана) 24 стр. Учебное пособие	2012		<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=52254">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=52254</a>
3. Вакуумная техника. Попов А.Н. Издательство: Новое знание 1-е изд. 167 стр. Учебное пособие.	2012	2	<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3729">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3729</a>

4. Вакуумная техника. Оборудование, проектирование, технологии, эксплуатация. Ч.1. Инженерно-физические основы: учебное пособие. Хаблянян М.Х., Саксаганский Г.Л. Бурмистров А.В. Издательство: КНИТУ (Казанский национальный исследовательский технологический университет). 232 стр. Учебное пособие	2013		<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=73226">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=73226</a>
<i>Дополнительная литература</i>			
1. Монтаж и наладка систем измерения температуры. Лаврищев И.Б., Кириков А.Ю., Тросницкий М.В. Издательство: НИУ ИТМО (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики) 27 стр..	2011	1	<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=40717">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=40717</a>
2. Вакуумная техника: лабораторный практикум. Шатохин В.Л. Шестак В.П. Издательство: НИЯУ МИФИ (Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт»). 84 стр..	2010	1	<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=75757">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=75757</a>

## 7.2. Периодические издания:

1. Приборы и техника эксперимента.
2. Вакуумная техника и технология

## 7.3. Интернет-ресурсы.

1. <http://www.referatfr...tch/8295/1.html>
2. <http://window.edu.ru/>
3. <http://www.econlib.ru/>
4. <http://www.bookshunt.ru/> <http://www.scirus.com/>
5. <http://www.ihtik.lib.ru/>
6. <http://www.y10k.ru/books/>
7. <http://www.abc.chemistry.bsu.by/current/fulltext.htm>
8. <http://www.sciencedirect.com>
9. <http://chemteq.ru/lib/book>
10. <http://www.chem.msu.su/rus>
11. <http://djvu-inf.narod.ru/nclib.htm>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ


Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий лабораторного типа, групповых и индивидуальных

консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Лабораторные работы проводятся в лаборатории 331-1, 425-1, 433-1, 422-2.

При чтении лекционного курса используются мультимедийные средства обучения в виде набора слайдов с демонстрацией через проектор.

На лабораторных занятиях и лекциях используются наглядные пособия в виде моделей.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: Windows 7, Microsoft Office 2010, Power Point, Adobe Reader,

Рабочую программу составил доцент Лобко В.Н. 

Рецензент  
(представитель работодателя)

АО «РМ НАНОТЕХ», начальник аналитического отдела центральной заводской лаборатории

к.х.н.



А.В. Третьяков

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры химии

Протокол № 1 от 12.09 2019 г.

Заведующий кафедрой



Б.А.Кухтин

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 18.04.01 – «Химическая технология»

Протокол № 01 от 02.09 2019 г.

Председатель комиссии



Ю.Т. Панов