



**Министерство образования и науки Республики Казахстан**  
**Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова**  
**Кафедра Теплоэнергетика**

**РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА**

Дисциплины «Теория и техника теплотехнического эксперимента»  
для магистрантов специальности 6М071700 Теплоэнергетика

Павлодар

Кегль 14,  
буквы  
строчные,  
кроме  
первой



**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по УР  
\_\_\_\_\_ Пфейфер Н.Э.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

Составитель: к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Приходько Е.В.

Кафедра теплоэнергетики

### **РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине «Теория и техника теплотехнического эксперимента»

для студентов специальности 6М071700 «Теплоэнергетика»

Рабочая программа разработана на основании рабочих учебных планов и типовой учебной программы

Обсуждена на заседании кафедры « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Никифоров А.С.

Рекомендована учебно-методическим советом ЭФ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Протокол № \_\_\_\_\_  
Председатель УМС \_\_\_\_\_ Кабдуалиева М.М. « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Начальник УМО \_\_\_\_\_ Жуманкулова Е.Н. « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Одобрено учебно-методическим советом университета  
от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_

## 1 Паспорт учебной дисциплины

**Наименование дисциплины** Теория и техника теплотехнического эксперимента

Дисциплина /обязательного компонента

### **Количество кредитов и сроки изучения**

Всего – 3 кредита

Курс: 1

Семестр: 1

Всего аудиторных занятий – 45 часов

Лекции - 30 часов

Практические /семинарские занятия – 15 часов

СРМ – 90 часов

Общая трудоемкость - 135 часов

### **Форма контроля**

Экзамен – 1 семестр

## 2 Предмет, цели и задачи

**Предмет дисциплины** «Теория и техника теплотехнического эксперимента» включается в учебные планы в качестве профильной дисциплины

### **Цель преподавания дисциплины**

изучение основ метрологии и измерительной техники, формирование знаний, умений и навыков в области современных методов и средств проведения научных и промышленных экспериментов в области теплоэнергетики и теплотехники.

### **Задачи изучения дисциплины**

введение в проблематику современных научных исследований теплоэнергетических и теплотехнических процессов; овладение теорией и техникой проведения и обработки результатов измерительных экспериментов; освоение методов планирования и проведения научных исследований; привитие навыков использования методов и средств измерения параметров процессов связанных с производством, распределением и использованием тепловой энергии.

### **3 Требования к знаниям, умениям, навыкам и компетенциям**

В результате изучения данной дисциплины магистранты должны:

#### **иметь представление:**

- о роли технических измерений и экспериментальных исследований в развитии науки и техники;
- о роли экспериментальных исследований в проектировании и создании теплоэнергетических объектов, промышленных испытаниях и диагностики состояния оборудования и систем, совершенствовании оборудования, интенсификации и автоматизации процессов;
- об арсенале методов и средств теплотехнических, физико-химических и

электрических измерений, связанных с изучением: процессов тепло- и массопереноса, параметров термически активируемых физико-химических процессов в теплотехнологии, свойств и характеристик технических материалов и металлов, используемых в теплоэнергетике;

- о современных достижениях в областях: планирования экспериментальных исследований, методах обработки экспериментальных данных, алгоритмическом и программном обеспечении экспериментальных исследований, оптимизации и автоматизации научных и технических исследований;

**знать:**

- методы проведения испытаний и расчетов, используемых в рамках специальности;

**уметь:**

- формулировать цели и выбирать план экспериментальных исследований;

- составлять измерительные схемы в соответствии с задачами исследований и выбирать средства измерений, исходя из анализа требований к точности результатов экспериментов;

**- приобрести практические навыки:**

- самостоятельного ведения научного поиска, формулирования цели исследования и решения конкретных практических задач;

- обработки полученных новых результатов, делать выводы;

- работы с современными средствами вычислительной техники и прикладного программного обеспечения;

**быть компетентным:**

- в использовании математического аппарата для решения исследуемых задач;

- в использовании средств вычислительной техники и программного обеспечения при выполнении научных исследований и обработке материалов.

**Пререквизиты**

Изучение курса базируется на основных положениях таких дисциплин как «Математика», «Физика», «Химия», «Электротехника и электроника», «Теория автоматического управления», «Информатика», «Техническая термодинамика» «Механика жидкости и газа», «Тепломассообмен».

**Постреквизиты**

Знания, умения и навыки, полученные при изучении данной дисциплины, используются при выполнении магистерской диссертации, научно-исследовательских и инженерных работ.

#### 4 Тематический план изучения дисциплины Распределение академических часов по видам занятий

| № п/п | Наименование тем   | Количество аудиторных часов по видам занятий |                            |  | СРМ       |
|-------|--|--|----------------------------|--|-----------|
|       |  | лекции                                       | практические (семинарские) | лабораторные студийные, индивидуальные |           |
| 1     | <b>Тема 1</b> Введение   | 2  |                            |  | 4         |
| 2     | <b>Тема 2</b> Общие сведения об измерениях   | 2  | 1                          |  | 5         |
| 3     | <b>Тема 3</b> Сведения о средствах измерений   | 2  | 1                          |  | 5         |
| 4     | <b>Тема 4</b> Оценка и учет погрешностей при технических измерениях  | 2  | 1                          |  | 5         |
| 5     | <b>Тема 5</b> Элементы теории вероятностей и математической статистики   | 2  | 1                          |  | 5         |
| 6     | <b>Тема 6</b> Теплотехнические измерения и приборы   | 2  | 1                          |  | 5         |
| 7     | <b>Тема 7</b> Физико-химические измерения  | 2  | 1                          |  | 5         |
| 8     | <b>Тема 8</b> Методы экспериментального изучения процессов тепло- и массообмена  | 2  | 1                          |  | 8         |
| 9     | <b>Тема 9</b> Экспериментальные исследования теплофизических свойств веществ   | 2<br>1                                       |                            | 8                                      |           |
| 10    | <b>Тема 10</b> Контроль качества сырья, топлива и продукции теплотехнологических производств                                     | 2  | 1                          |  | 8         |
| 11    | <b>Тема 11</b> Методы и средства контроля технических материалов и металлов теплоэнергетических и теплотехнологических установок | 2  | 2                          |  | 8         |
| 12    | <b>Тема 12</b> Основы теории планирования эксперимента   | 2  | 2                          |  | 8         |
| 13    | <b>Тема 13</b> Системы автоматизации экспериментальных исследований  | 3  | 1                          |  | 8         |
| 14    | <b>Тема 14</b> Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований  | 3  | 1                          |  | 8         |
|       | <b>Всего: 45 (3 кредита)</b>   | <b>30</b>                                    | <b>15</b>                  |  | <b>90</b> |

## **5 Содержание теоретического курса**

### **Тема 1 Введение**

Цель, содержание и структура курса «Теория и техника теплотехнического эксперимента». Основные понятия и определения.

### **Тема 2 Общие сведения об измерениях**

Сущность и основные характеристики измерений. Классификация измерений. Погрешности измерений.

### **Тема 3 Сведения о средствах измерений**

Классификация средств измерений. Структурные схемы измерительных устройств. Статические и динамические характеристики и параметры измерительных устройств. Погрешности измерительных устройств. Реальные и номинальные функции преобразования. Нормирование метрологических характеристик. Надежность средств измерений. Измерительные системы, структурные схемы и метрологические характеристики систем

### **Тема 4 Оценка и учет погрешностей при технических измерениях**

Измерения с однократным и многократным наблюдениями. Представление результатов измерений. Обнаружение и исключение систематических погрешностей. Оценивание результата и погрешности прямых, косвенных, совокупных и совместных измерений с многократными наблюдениями. Результаты и погрешности измерений с однократными наблюдениями. Методы повышения точности измерений и средств измерений. Использование многократных и многоканальных измерений. Метод параметрической стабилизации. Структурные методы повышения точности средств измерений. Отрицательная обратная связь. Методы инвариантности, вспомогательных измерений, обратного преобразования, метод образцовых сигналов и мер.

### **Тема 5 Элементы теории вероятностей и математической статистики**

Статистическое оценивание. Генеральная совокупность и выборка. Понятия несмещенности, эффективности и состоятельности оценок. Метод максимального правдоподобия. Точечные оценки случайных величин. Интервальные оценки. Выборочные распределения.

Статистические гипотезы. Критерии значимости. Проверка статистических гипотез.

Постановка задачи регрессионного анализа. Предпосылки регрессионного анализа. Вычисление оценок коэффициентов линейной регрессии методом наименьших квадратов. Свойства оценок. Оценка дисперсии воспроизводимости. Статистический анализ результатов.

### **Тема 6 Теплотехнические измерения и приборы**

Измерение температуры. Основные сведения о температуре и температурных шкалах. Передача размера единицы температуры от эталонов к образцовым и рабочим средствам измерений. Классификация методов измерения.

Механические термометры. Термоэлектрический метод измерения температур. Вторичные приборы для измерения термо-э.д.с. Термометры сопротивления, лабораторные и автоматические мосты для измерения сопротивления термометров сопротивления. Методика измерения температуры контактными методами.

Методические погрешности измерения температур контактными методами и способы их снижения. Лазерные, акустические и лазерно-акустические термометры. Измерение температуры на поверхности и внутри твердых тел, измерение температурных полей в потоках и внутри твердых тел. Измерение температуры частиц и несущего газа в дисперсных потоках. Измерение температуры тел по их тепловому излучению. Пирометры излучения. Методика применения пирометров излучения.

Измерение давления и перепада давления. Жидкостные приборы давления. Приборы давления с упругими чувствительными элементами. Электрические приборы давления. Дифференциальные манометры. Методы и средства измерения вакуумметрических давлений, малых избыточных и перепадов давления, быстроменяющихся давлений.

Измерение расхода и количества жидкостей, газа, пара и тепла. Расходомеры переменного перепада давления. Стандартные сужающие устройства. Измерение расхода при малых числах Рейнольдса. Измерение скорости и расхода напорными трубками. Расходомеры постоянного перепада давления. Ротаметры, тахометрические расходомеры и счетчики количества. Тахометрический и терморезисторный анемометры. Индукционные расходомеры. Ультразвуковые и вихревые расходомеры. Измерение количества и расхода тепла. Специфика измерения расхода влажного пара. Измерение скорости частиц и несущего газа в дисперсных потоках.

Измерение уровня жидкостей и сыпучих тел. Механические уровнемеры. Измерение уровня с помощью дифференциальных манометров. Емкостные, акустические и ультразвуковые уровнемеры. Методика измерения уровня в сосудах, работающих под давлением. Методы и средства измерения уровня сыпучих тел.

Контроль влажности газов, твердых и сыпучих материалов. Основные разновидности психрометров. Высокочастотные, нейтронные, инфракрасные и ЯМР влагомеры. Тепловые и термовакуумные методы измерения влажности. Пробоотборные и пробоформующие устройства периодического и непрерывного действия.

Электрические методы измерения некоторых неэлектрических величин. Измерительные тензопреобразователи, датчики Холла и Виганда. Оптические датчики. Измерение скоростей и ускорений. Измерение деформаций, напряжений и усилий. Измерение крутящих моментов. Измерение механической мощности и работы. Измерение вибрации и шума.

Измерительные преобразователи и схемы дистанционной передачи измерительной информации. Реостатные, дифференциально трансформаторные, механоэлектрические измерительные преобразователи и схемы дистанционной передачи. Пневмосиловые преобразователи и пневматические системы дистанционной передачи. Электропневматические и пневмоэлектрические преобразователи. Нормирующие преобразователи. Принципы аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования измерительной информации.

## **Тема 7 Физико-химические измерения**

Теоретические основы анализа состава бинарных и псевдобинарных смесей жидкостей и газов. Термохимические и термокондуктометрические, магнитные,

сорбционные и оптические газоанализаторы. Испарительные и конденсационные анализаторы.

Электрокондуктометрические и потенциометрические анализаторы.

Пламенные ионизационные и фотометрические газоанализаторы. Методика подготовки газовых проб для анализа. Специфика анализа состава газообразных продуктов сгорания органического топлива.

Анализ состава многокомпонентных жидкостей и газов. Многопараметрические методы и приборы анализа состава. Хроматографические методы и средства анализа состава.

Средства измерения фракционного состава нефтепродуктов и жидких топлив.

Методы и технические средства контроля качества воды, пара, конденсата и концентрации растворов. Кондуктометры, ионометры, фотоколориметры. Анализаторы для определения растворенных в воде газов.

Термический анализ. Термогравиметрический, дифференциально-термический, дифференциальный термогравиметрический анализы. Дериватографы.

### **Тема 8 Методы экспериментального изучения процессов тепло - и массообмена**

Экспериментальное исследование полей температуры, давления, скорости. Зондовые и бесконтактные методы измерения. Методы исследования полей плотности и концентрации в потоках жидкости и газа и структуры двухфазных потоков.

Экспериментальное исследование конвективного тепло - и массообмена, тепломеры и датчики тепловых потоков. Измерение нестационарных тепловых потоков. Методы определения коэффициентов теплоотдачи. Определение коэффициентов теплоотдачи методами стационарного и регулярного режимов. Альфакалориметры. Определение коэффициентов сопротивления трения при внешнем обтекании тел и внутри каналов. Методы определения характеристик массообмена.

### **Тема 9 Экспериментальные исследования теплофизических свойств веществ**

Теоретические основы методов определения тепловых свойств различных материалов.

Измерение коэффициентов теплопроводности технических материалов и металлов методами стационарного теплового потока. Измерения коэффициентов температуропроводности, теплопроводности и удельной теплоемкости материалов, основанные на нестационарном, гармоническом и аperiодическом тепловом режиме. Учет нелинейных факторов при теплофизических измерениях.

Определение плотности твердых тел, жидкостей и газов.

Определение калорических свойств твердых тел, жидкостей, газов и паров.

Определение теплоты сгорания твердого, жидкого и газообразного органического топлив.

Определение вязкости. Вискозиметры. Определение термодинамических свойств фазового равновесия: давления насыщенных паров, температур, теплоты плавления и парообразования.



Изучение оптических свойств веществ. Определение коэффициентов теплового излучения.

**Тема 10** Контроль качества сырья, топлива и продукции теплотехнологических производств

Характеристики, определяющие качество сырья, топлива и продукции.

Методы и средства автоматического контроля качества. Структурные схемы и сигналы автоматических анализаторов качества. Способы подключения автоматических анализаторов к технологическим потокам. Агрегатный комплекс средств аналитической техники.

Анализ газового топлива. Определение плотности, содержание влаги и компонентного состава.

Анализ жидкого топлива. Определение плотности, содержания воды, зольности, вязкости, температур вспышки и воспламенения.

Экспериментальное определение технологических характеристик твердого топлива. Определение действительной и кажущейся плотности, пористости, насыпной плотности, порозности, сыпучести и гранулометрического состава. Определение гранулометрического состава топливной пыли.

**Тема 11** Методы и средства контроля технических материалов и металлов теплоэнергетических и теплотехнологических установок

Методы и средства контроля качества и состояния металлов, конструкционных материалов, теплоизоляционных и электроизоляционных материалов. Дефектоскопия. Методы неразрушающего контроля. Контроль сварных соединений

**Тема 12** Основы теории планирования эксперимента

Основные понятия теории планирования эксперимента. Постановка задачи планирования эксперимента. Критерии оптимальности планов регрессионного анализа.

Планы I порядка. Однофакторный эксперимент, полный факторный эксперимент, дробный факторный эксперимент. Генерирующее соотношение. Выяснение системы смешивания.

Планы II порядка. Оценивание параметров нелинейных регрессионных моделей.

Задача оптимизации в экстремальных экспериментах. Методы одномерного поиска. Многомерный поиск. Принципиальные отличия от задач одномерного поиска. Градиентные методы поиска. Неградиентные методы. Поиск экстремума при наличии ограничений.

**Тема 13** Системы автоматизации экспериментальных исследований

Общие принципы построения систем автоматизации экспериментальных исследований. Измерительно-вычислительные комплексы. Ввод измерительной информации в устройства цифровой вычислительной техники. Требования к устройствам сопряжения. Алгоритмизация задач сбора и обработки измерительной информации.

**Тема 14** Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований

Передачи размера единиц от эталона к образцовым рабочим средствам измерений. Градуировка и поверка средств измерений. Метрологическое обеспечение средств измерения температуры, давления, расхода, уровня, физико-

химических свойств веществ, анализаторов качества и средств измерений состава и концентрации веществ. Метрологическая аттестация средств измерений.

## **7 Список литературы**

### **Основная:**

1. Дуброва Т. А. Статистические методы прогнозирования. - М.: ЮНИТИ 2003.
2. Степнов, М. Н., Шабрин, А. В. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. - М.: Машиностроение, 2005
3. Годин, А. М., Русин, В. Н., Соколин, В. П. Статистические средние и другие величины и их применение в различных отраслях деятельности. - М.: Дашков и К, 2008.
4. Вадзинский Р. Статистические вычисления в среде EXCEL. - СПб.: Питер, 2008.

### **Дополнительная:**

5. Пашинкин А.С., Касенов Б.К. Экспериментальные методы химической термодинамики. - Алматы: Гылым, 2003.