Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 02.09.2023 15:24:12
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

УТВЕРЖДЕНО
Декан Факультета урбанистики и городского хозяйства
К.И. Лушин
«__» _____ 2022г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Тепломассообмен»

Направление подготовки
13.03.03 Энергетическое машиностроение

Профиль
Автоматизированные энергетические установки

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Москва
2022

1. Цели освоения дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Тепломассообмен» следует отнести:

– формирование знаний о современных законах переноса энергии и массы, об основных теплотехнологических и теплофизических параметрах тепломассообменных аппаратов и установок;

– изучение способов повышения эффективности процессов переноса энергии и массы, выработка навыков у студентов самостоятельно формулировать и решать задачи расчета и проектирования тепломассообменных аппаратов и установок;

– подготовка студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра по направлению, в том числе формирование умений по выявлению необходимых усовершенствований и разработке новых, более эффективных методов расчета и проектирования тепломассообменных аппаратов и установок.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Тепломассообмен» следует отнести:

– выработать навыки у студентов самостоятельно формулировать задачи определения и оценки теплотехнических и теплофизических параметров тепломассообменных аппаратов и установок;

– научить мыслить системно на примерах повышения энергетической эффективности тепломассообменных аппаратов и установок с учетом теплофизических и теплотехнических характеристик;

– научить анализировать существующие методы расчета тепломассообменных аппаратов и установок, разрабатывать и внедрять необходимые изменения в их структуре с позиций повышения эффективности и энергосбережения;

– дать информацию о новых методах расчета тепломассообменных аппаратов и установок в отечественной и зарубежной практике, развивать способности объективно оценивать преимущества и недостатки таких методов, как отечественных, так и зарубежных;

– научить анализировать результаты расчета тепломассообменных аппаратов и установок, производить поиск оптимизационного решения с помощью всевозможных методов фундаментальной и прикладной науки.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Тепломассообмен» относится к числу профессиональных учебных дисциплин базовой части основной образовательной программы бакалавриата.

«Тепломассообмен» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

– Общие вопросы энергетики;

– Гидрогазодинамика;
– Физика;
– Термодинамика.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

Код компетенции	**В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать**	**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине**
ОПК-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	**знать:** • основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования **уметь:** • использовать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности **владеть:** • методами математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **5** зачетных единиц, т.е. **180** академических часа (из них 36 часа – лекции, 36 часа – практические и лабораторных занятий, 108 часа – самостоятельная работа студентов).

Разделы дисциплины «Тепломассообмен» изучаются на четвертом и пятом семестрах.

Третий семестр: лекции – 36 часов, семинарские занятия – 18 часов, лабораторные – 18 часов, форма контроля – экзамен.

Структура и содержание дисциплины «Тепломассообмен» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

Содержание разделов дисциплины

Третий семестр:

Тема 1. **Принципы тепломассообмена**

Законы переноса теплоты, вещества, импульса. Теплообмен. Температурное поле. Изотермы. Градиент температуры. Плотность теплового потока. Закон теплопроводности Фурье. Конвективный перенос энергии. Массообмен. Концентрация компонентов смеси. Плотность потока массы. Закон диффузии Фика. Энтальпия смеси. Кондуктивный поток энергии при наличии диффузии. Законы сохранения. Дифференциальные уравнения тепломассообмена. Общая форма балансового уравнения. Закон сохранения массы, уравнение неразрывности. Закон сохранения 1-компонента, уравнение конвективной диффузии. Закон сохранения энергии, уравнение энергии. Закон сохранения импульса, уравнение движения. Система дифференциальных уравнений конвективного тепломассообмена. Термодинамические соотношения и свойства теплоносителей.

Тема 2. **Теплопроводность**

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Краевые условия. Типы граничных условий. Одномерные стационарные задачи теплопроводности. Плоская стенка. Цилиндрическая стенка. Сферическая стенка. Теплопередача. Критический диаметр изоляции. Принципы интенсификации теплопередачи. Интенсификация посредством оребрения. Теплопроводность вдоль стержня. Теплопроводность тел с внутренними источниками теплоты. Плоское тело. Цилиндрическое тело. Нестационарная теплопроводность. Дифференциальные уравнения и краевые условия. Пластина. Цилиндр. Нестационарная теплопроводность тел, образованных пересечением пластин и цилиндров. Численные методы теплопроводности. Метод контрольного объема для получения конечно-разностных аппроксимаций уравнения теплопроводности. Явные и неявные численные методы. Метод прогонки. Обзор математических пакетов для численного анализа.

Тема 3. **Инженерные методы расчёта тепломассообмена в энергетических установках**

Расчёт теплоотдачи в элементах теплообменных устройств. Методы подобия и размерностей. Теплоотдача при продольном обтекании пластины. Теплоотдача в поперечно-обтекаемых пучках труб. Теплоотдача в трубах. Теплообмен и сопротивление при течении в кольцевых каналах. Теплообмен и сопротивление при продольном обтекании пучков труб. Теплоотдача при свободной конвекции. Интенсификация теплообмена. Аналогия процессов тепло- и массообмена. Основные соотношения для расчёта теплообменников. Типы теплообменников и схемы движения теплоносителей. Изменение температур теплоносителей и средний температурный напор для прямотока, противотока и перекрестного тока. Эффективность теплообменника. Тепловой и гидравлический расчёт теплообменников. Методы

интенсификации теплопередачи. Методы оценки энергетической эффективности теплообменников.

Шестой семестр:

Тема 4. **Конвективный тепломассообмен**

Теория пограничного слоя. Оценка порядка величин в дифференциальных уравнениях конвективного теплообмена для течений с большими числами Рейнольдса. Уравнения пограничного слоя. Преобразование подобия. Автомодельные переменные. Интегрирование уравнения Фолкнера - Скэн для пограничных слоев. Интегрирование уравнения теплового пограничного слоя. Интегрирование уравнений свободноконвективных пограничных слоев. Интегральный метод решения задач пограничного слоя. Законы трения, теплообмена, массообмена. Стандартные законы. Условия ламинарно-турбулентного перехода. Расчёт теплоотдачи при различных тепловых граничных условиях на обтекаемой поверхности. Расчётные модели турбулентности в задачах конвективного теплообмена. Модели пути смешения. Дифференциальное уравнение переноса турбулентной энергии. Модель турбулентности k-eps. Численное моделирование конвективного тепломассообмена и универсальные программные пакеты.

Тема 5. **Двухфазный теплообмен**

Условия динамического и теплового взаимодействия на поверхности раздела фаз. Структуры, режимы и количественные характеристики двухфазных потоков. Теплообмен при кипении. Кривые кипения. Физика кипения. Модели теплообмена при пузырьковом кипении. Плотность центров парообразования. Рост пузырька пара в перегретой жидкости. Коэффициент теплоотдачи при пузырьковом кипении. Расчетные соотношения для кипения в большом объеме. Кризис кипения. Пленочное кипение. Кипение в трубах. Структура потока и режимы кипения. Диагностика кризисов кипения в зависимости от давления, массовой скорости и паросодержания. Теплообмен при конденсации. Пленочные течения. Теплообмен при конденсации на гравитационных ламинарных пленках жидкости. Гравитационные турбулентные пленки. Сдвиговые ламинарные пленки. Сдвиговые турбулентные пленки. Расчет трения на межфазной границе. Универсальные аппроксимации для расчета теплообмена при конденсации. Конденсация на трубных пучках. Конденсация в трубах. Влияние примесей неконденсирующихся газов. Конденсация при непосредственном контакте на сплошных и диспергированных струях жидкости. Расчёт тепломассообмена при конденсации парогазовой смеси.

Тема 6. **Теплообмен излучением**

Основные понятия и законы. Количественные характеристики излучения. Классификация потоков излучения. Закон Кирхгофа. Законы

излучения абсолютно чёрного тела. Излучение и поглощение нечёрных тел. Теплообмен излучением в прозрачной среде. Понятие углового коэффициента излучения. Расчет угловых коэффициентов. Замкнутая система поверхностей. Аналитические решения для простых систем. Примеры, приложения. Радиационные и конвективные тепловые потоки. Граничные условия. Задача о радиационных заморозках. Задача об экранных поверхностях нагрева. Компьютерное моделирование. Теплообмен излучением в системе с излучающим и поглощающим газом. Расчет излучения и поглощения газов. Уравнение переноса излучения. Замкнутая система поверхностей. Радиационно-конвективный теплообмен в камере сгорания. Компьютерное моделирование.

5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Тепломассообмен» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий *в* сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

– подготовка к выполнению практических работ в аудиториях вуза и на мощностях предприятий-партнеров;

– защита и индивидуальное обсуждение выполняемых этапов расчетного задания;

– обсуждение и защита рефератов по дисциплине;

– подготовка, представление и обсуждение презентаций на семинарских занятиях;

– использование интерактивных форм текущего контроля в форме аудиторного и внеаудиторного интернет-тестирования;

– проведение мастер-классов экспертов и специалистов по методам проектирования и расчета тепломассообменного оборудования, а также эффективных методов его оптимизации.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «**Тепломассообмен**».

Проведение занятий предусматривается также на сайте http://online.mospolytech.ru на основе разработанных кафедрой «Промышленная теплоэнергетика» электронных образовательных ресурсов (ЭОР) по всем темам дисциплины:

Дисциплина	Ссылка
Тепломассообмен	https://online.mospolytech.ru/local/crw/course.php?id=536
Тепломассообмен часть 2	https://online.mospolytech.ru/local/crw/course.php?id=3652

Разработанные ЭОР включают промежуточные и итоговые тесты.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

- подготовка и выступление на семинарском занятии с докладом на тему «Методы интенсификации теплообмена» (индивидуально для каждого обучающегося);
- выполнение курсового проекта «Конструирование и расчет рекуперативного теплообменника» (индивидуально для каждого обучающегося).

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового и (или) компьютерного тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины, защита отчетов по практическим заданиям.

Образцы тестовых заданий, заданий расчетных работ, контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, приведены в приложении 2.

6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать
ОПК-3	Способен применять соответствующий физико- математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

ОПК-3 – Способен применять соответствующий физико- математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач				
Показатель	**Критерии оценивания**			
	Оценка «неудовлетворительно» (не зачтено) или отсутствие сформированности компетенции	**Оценка «удовлетворительно» (зачтено) или низкой уровень освоения компетенции**	**Оценка «хорошо» (зачтено) или повышенный уровень освоения компетенции**	**Оценка «отлично» (зачтено) или высокий уровень освоения компетенции**
знать: Методы выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: методы выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: методы выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: методы выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: методы выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, свободно оперирует приобретенными знаниями.
уметь: Обеспечивать применение	Обучающийся не умеет или в недостаточной	Обучающийся демонстрирует неполное	Обучающийся демонстрирует частичное	Обучающийся демонстрирует полное

для решения естественнонаучных проблем основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	степени умеет обеспечивать применение для решения естественнонаучных проблем основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	соответствие следующих умений: обеспечивать применение для решения естественнонаучных проблем основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	соответствие следующих умений: обеспечивать применение для решения естественнонаучных проблем основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	соответствие следующих умений: обеспечивать применение для решения естественнонаучных проблем основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: Методами математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Обучающийся владеет методами математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется	Обучающийся частично владеет методами математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования, навыки освоены, но	Обучающийся в полном объеме владеет методами математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования, свободно применяет

		недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма аттестации: экзамен в третьем семестре.

Форма промежуточной аттестации: экзамен (3 семестр).

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Тепломассообмен» (прошли промежуточный контроль, выполнили весь объем заданий на семинарских занятиях, выступили с докладом на семинарском занятии)

Шкала оценивания	**Описание**
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Хорошо	Студент показывает достаточный уровень теоретических и практических знаний, свободно оперирует категориальным аппаратом. Умеет анализировать практические ситуации, но допускает некоторые погрешности. Ответ построен логично,

	материал излагается грамотно.
Удовлетворительно	Студент показывает знание основного лекционного и практического материала. В ответе не всегда присутствует логика изложения. Студент испытывает затруднения при приведении практических примеров.
Неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Фонды оценочных средств представлены в приложениях к рабочей программе.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Григорьев Б.А., Тепломассообмен: учебник для вузов [Электронный ресурс]: учеб. / Григорьев Б.А., Цветков Ф.Ф. — Электрон. дан. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2011. — 562 с.

2. Афанасьев Ю.О. Техническая термодинамика и теплотехника: сборник задач. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Ю.О. Афанасьев, И.И. Дворовенко. — Электрон. дан. — Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2011. — 96 с.

3. Козлов В.Г. Тепломассообмен [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие — Электрон. дан. — Москва: ТУСУР, 2012. — 15 с.

4. Цветков О.Б. Термодинамики и теплопередача: Метод. указания к контрольным работам для студентов. [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие / О.Б. Цветков, Ю.А. Лаптев. — Электрон. дан. — СПб.: НИУ ИТМО, 2008. — 52 с.

5. Дюкова И.Н. Тепломассообмен. Экспериментальное исследование характеристик теплообмена: учебное пособие для студентов направления подготовки 13.03.01 (140100.62) Теплоэнергетика и теплотехника [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2015. — 32 с.

6. Примеры и задачи по тепломассообмену [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.С. Логинов [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 256 с.

б) дополнительная литература:

1. Таранова Л.В. Теплообменные аппараты и методы их расчета: учебное

пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2009. — 152 с.

2. Теплофизика, теплотехника, теплообмен. Механика жидкостей и газов. Лабораторный практикум [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.А. Арутюнов [и др.]. — Электрон. дан. — Москва: МИСИС, 2007. — 85 с.

3. Справочник по теплообменным аппаратам паротурбинных установок [Электронный ресурс]: справ. / Бродов Ю.М. [и др.]. — Электрон. дан. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2017. — 480 с.

4. Дюкова И.Н. Газодинамический и тепловой расчет теплообменного аппарата: методические указания [Электронный ресурс]: метод. указ. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2012. — 24 с.

5. Иванова И.В. Сборник задач по теплообмену: учебное пособие для студентов очной формы обучения [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2012. — 72 с.

6. Бакланова В.Г. Теплообменные аппараты низкотемпературных установок и систем термостатирования. Часть 1. «Аппараты трубчатого и пластинчато- ребристого типов» [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.Г. Бакланова, Ю.А. Шевич. — Электрон. дан. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 68 с.

7. Ягов В.В. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях: учебное пособие для вузов [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2014. — 542 с.

в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:

Программное обеспечение не предусмотрено.

Интернет-ресурсы включают учебно-методические материалы в электронном виде, представленные на сайте (http://lib.mami.ru/ebooks/ в разделе «Библиотека».

Полезные учебно-методические и информационные материалы представлены на сайтах:

http://window.edu.ru/catalog/resources?p_nr=50&p_rubr=2.2.75.27.7&p_page=3

http://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-laboratornoy-ustanovki-po-spetsialnosti-promyshlennaya-teploenergetika

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Специализированная учебная лаборатория кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Ауд. АВ2406, оснащенная лабораторными установками:

- «Определение коэффициента температуропроводности стали методом регулярного режима»;
- «Определение коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе (труба в трубе)»;
- «Определение коэффициента теплопередачи методом регулярного режима»;

- «Определение коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости на цилиндре»;

- «Определение коэффициента теплопроводности твердых тел методом цилиндрического слоя».

Мультимедийная аудитория кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Ауд. АВ2415, оснащенная оргтехникой и мультимедиа средствами (проектор, ПК и др.), экспериментальная котельная на базе ОАО ВТИ (на основании Договора о сотрудничестве) с системой КИП и автоматики.

9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов

1. Марюшин Л.А., Сенникова О.Б., Савельев И.Л. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов. Направление подготовки: 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Теплоэнергетические установки, системы и комплексы». – М.: Изд-во Московского политеха, - 46 с.

10. Методические рекомендации для преподавателя

Преподавание дисциплины «Тепломассообмен» имеет своей целью ознакомить студентов с достижениями в области прикладной физики и естественных наук, добиться уяснения ими основных методов расчета тепломассообменных установок, порядка их применения, привить им практические навыки использования этих знаний к конкретным производственным ситуациям.

Преподавание дисциплины осуществляется в соответствии с ФГОС ВО.

Целью методических рекомендаций является повышение эффективности теоретических и практических занятий вследствие более четкой их организации преподавателем, создания целевых установок по каждой теме, систематизации материала по курсу, взаимосвязи тем курса, полного материального и методического обеспечения образовательного процесса.

Средства обеспечения освоения дисциплины

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие средства:

− рекомендуемую основную и дополнительную литературу;

− методические указания и пособия;

− контрольные задания для закрепления теоретического материала;

− электронные версии федеральных законов, учебников и методических указаний для выполнения практических работ и самостоятельной работы бакалавров.

Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Для максимального усвоения дисциплины рекомендуется изложение лекционного материала с элементами обсуждения.

В качестве методики проведения практических занятий можно предложить

1. Семинар – обсуждение существующих точек зрения на проблему и

пути ее решения.

2. Тематические доклады, позволяющие вырабатывать навыки публичных выступлений.

Для максимального усвоения дисциплины рекомендуется проведение письменного опроса (тестирование) магистров по материалам лекций и практических работ. Подборка вопросов для тестирования осуществляется на основе изученного теоретического материала. Такой подход позволяет повысить мотивацию бакалавров при конспектировании лекционного материала.

Для освоения навыков поисковой и исследовательской деятельности бакалавр пишет контрольную работу или реферат по выбранной (свободной) теме.

Лекции проводятся в основном посредством метода устного изложения с элементами проблемного подхода и беседы.

Семинарские занятия могут иметь разные формы (работа с исследовательской литературой, анализ данных нормативной и справочной литературы, слушание докладов и др.), выбираемые преподавателем в зависимости от интересов бакалавров и конкретной темы.

Самостоятельная работа бакалавра включает в себя элементы реферирования и конспектирования научно-исследовательской литературы, подготовки и написания научных текстов, отработку навыков устных публичных выступлений.

Проверка качества усвоения знаний в течение семестра осуществляется в устной форме, путем обсуждения проблем, выводимых на семинарах и письменной, путем выполнения бакалаврами разных по форме и содержанию работ и заданий, связанных с практическим освоением содержания дисциплины. Бакалавры демонстрируют в ходе проверки умение анализировать значимость и выявлять специфику различных проблем и тем в рамках изучаемой дисциплины и ее компонентов, знание научной и учебно-методической литературы. Текущая проверка знаний и умений бакалавров также осуществляется через проведение ряда промежуточных тестирований. Итоговая аттестация по дисциплине предполагает устный зачет или экзамен, на которых проверяется усвоение материала, усвоение базовых понятий дисциплины.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение и профиль Автоматизированные энергетические установки.

Авторы

Старший преподаватель

кафедры «Промышленная теплоэнергетика» И.Л. Савельев

Программа обсуждена на заседании кафедры «Промышленная теплоэнергетика». Протокол от 26 мая 2022 г. № 11

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»
к.т.н., доцент Л.А. Марюшин

Руководитель ООП И.Л. Савельев

Приложение 1

Структура и содержание дисциплины «Тепломассообмен» по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение

№	Раздел	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах					Виды самостоятельной работы студентов					Формы аттестации	
				Л	П/С	Лаб.	СРС	КСР	К.Р.	К.П.	РГР	Реферат	К/р	Э	З
Тема 1	Лекция. Принципы тепломассообмена.	4	1-6	6			15								
	Практические занятия	4			12										
	Лабораторная работа	4				3									
Тема 2	Лекция. Теплопроводность	4	7-12	6			15								
	Практические занятия	4			12								+		
	Лабораторная работа	4				3									
Тема 3	Лекция. Инженерные методы расчёта тепломассообмена в энергетических установках	4	12-17	6			15								
	Практические занятия	4			12							+			
	Лабораторная работа	4				3									
	Форма аттестации	4	18												З
	Всего часов по дисциплине в четвёртом семестре			18	36	9	45								
Тема 4	Лекция. Конвективный тепломассообмен	5	1-6	6			15								

	Практические занятия (выдача задания на курсовую работу)	5			12					+					
	Лабораторная работа	5				3									
Тема 5	Лекция. Двухфазный теплообмен	5	7-12	6			15								
	Практические занятия	5			12								+		
	Лабораторная работа	5				3									
Тема 6	Лекция. Теплообмен излучением	5	12-17	6			15								
	Практические занятия (защита курсовой работы)	5			12					+					
	Лабораторная работа	5				3									
	Форма аттестации	5	18											Э	
	Всего часов по дисциплине в пятом семестре			18	36	9	45								
	Всего часов по дисциплине			36	72	18	90								

Приложение 2

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Направление подготовки: 13.03.03 Энергетическое машиностроение
ОП (профиль): «Автоматизированные энергетические установки»
Форма обучения: очная

Кафедра: «Промышленная теплоэнергетика»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Тепломассообмен»

Москва
2022

Таблица 1
к приложению 2

Паспорт фонда оценочных средств

Тепломассообмен					
ФГОС ВО **13.03.03 Энергетическое машиностроение**					
КОМПЕТЕНЦИИ		**Перечень компонентов**	**Технология формирования**	**Форма оценочного средства**	**Степени уровней освоения компетенций**
ИНДЕКС	**ФОРМУЛИРОВКА**				
ОПК-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	**знать:** методы выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности **уметь:** обеспечивать применение для решения естественнонаучных проблем основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования **владеть:** методами математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального	Лекция, семинарские занятия, лабораторные занятия, решение ситуационных задач, СРС	Зачет, экзамен, выполнение расчетной работы по индивидуальному заданию	Базовый уровень: способен демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в стандартных производственных ситуациях Повышенный уровень: способен демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в

Приложение 3

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы в рамках учебной дисциплины

Перечень практических работ по дисциплине

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонд
1	Расчетная работа. «Конструирование и расчет рекуперативного теплообменника»	Практическая работа направлена на формирование умений и навыков по расчету теплообменных аппаратов, термодинамических процессов и циклов, на оценку их энергетической эффективности.	Результатом работы являются вычисления конструктивных, теплофизических и гидравлических параметров рекуперативного теплообменного аппарата и его КПД.

Приложение 4

Темы докладов

1. Методы интенсификации теплообмена.
2. Основные преимущества и недостатки оребрения поверхностей теплообмена.
3. Сферы применения рекуперативных теплообменных аппаратов.
4. Особенности проектирования и эксплуатации кожухотрубных ТА.
5. Особенности проектирования и эксплуатации пластинчатых ТА.
6. Особенности проектирования и эксплуатации испарительных ТА.
7. Особенности проектирования и эксплуатации конденсаторных ТА.
8. Применение ионной имплантации для модернизации поверхностей теплообмена.
9. Методики изменения свойств поверхностей теплообмена.
10. Основные виды теплоносителей на производстве и в сфере ЖКХ.
11. Массопередача между твердой и движущейся жидкой (газовой) фазой.
12. Материальный, тепловой балансы и кинетические закономерности абсорбции
13. Принципы разделения бинарной смеси ректификацией.
14. Ректификация многокомпонентных смесей.
15. Особенности проектирования и эксплуатации ректификационных аппаратов.

Приложение 5

Примеры задач для практических занятий

Задача 1: часть 1.

Определить среднее значение коэффициента теплоотдачи и количество переданной теплоты при течении воды в трубе диаметром d = 40 мм и длиной l = 3 м со скоростью w = 1 м/сек, если средняя температура воды t_f = 80 ℃, а температура стенки t_ω = 65 ℃.

l/d	Значения ε_l для ламинарного режима								
Re_f	1	2	5	10	15	20	30	40	50
$2\cdot10^3$	1,9	1,7	1,44	1,28	1,18	1,13	1,05	1,02	1
$2\cdot10^4$	1,65	1,5	1,34	1,23	1,17	1,13	1,07	1,03	1
$2\cdot10^4$	1,51	1,4	1,27	1,18	1,13	1,1	1,05	1,02	1
$2\cdot10^4$	1,34	1,27	1,18	1,13	1,1	1,08	1,04	1,02	1
$2\cdot10^5$	1,28	1,22	1,15	1,1	1,08	1,06	1,03	1,02	1

Задача 1: часть 2.

Как изменится среднее значение коэффициента теплоотдачи и количество переданной теплоты, если труба изогнута виде змеевика диаметром D = 1000 мм, а все другие условия останутся такие же как в первой части задачи.

Задача 2: Определить среднее значение коэффициента теплоотдачи и количество переданной теплоты при течении воды в трубе диаметром d = 8 мм и длиной l = 360 мм, если расход воды составляет V = 108 л/ч. Средняя температура воды t_f = 50℃, температура стенки трубы t_ω = 30℃.

$Re\cdot10^{-3}$	2,1	2,3	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10
K_0	1,9	3,3	4,4	6	10	12,2	15,5	19,5	24	27	30	33

Задача 3: Определить среднее значение коэффициента теплоотдачи и количество переданной теплоты при течении трансформаторного масла в трубе диаметром d = 10 мм и длиной l = 1,5 м, если средняя скорость w = 0,7 м/сек, средняя температура масла в трубе t_f = 70 ℃ и средняя температура стенки трубы t_ω = 30 ℃.

Задача 4: По трубе с внутренним диаметром d = 30 мм течёт вода со скоростью w = 1 м/сек, средняя температура воды t_f = 180 ℃, средняя температура внутренней поверхности стенки t_ω = 230 ℃. Определить гидравлический коэффициент сопротивления канала ξ, коэффициент теплоотдачи α и удельный тепловой поток q от стенки к воде.

Приложение 6

Вопросы к экзамену

1. Теплопроводность, теплообмен, массообмен, кипение.
2. Способы тепло- и массопереноса: теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия.
3. Определение основных понятий: температурное поле, градиент температуры, тепловой поток, плотность теплового потока.
4. Закон Фурье.
5. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Коэффициент температуропроводности.
6. Перенос теплоты в плоской стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности.
7. Теплопередача через однослойную и многослойную плоскую стенку. Термические сопротивления. Коэффициент теплопередачи.
8. Перенос теплоты в цилиндрической стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности.
9. Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку. Критический диаметр тепловой изоляции. Выбор эффективной изоляции по её критическому диаметру.
10. Температурное поле при наличии в теле источников теплоты (пластина, цилиндрический стержень).
11. Оребрение поверхности нагрева как способ интенсификации процесса теплопередачи. Теплопередача через оребрённую стенку. Коэффициент эффективности ребра.
12. Нестационарные задачи теплопроводности. Метод разделения переменных решения линейного уравнения теплопроводности (Фурье). Безразмерная форма задачи о нестационарном температурном поле в охлаждаемой пластине. Число Био. Безразмерное время (число Фурье).
13. Температурное поле в процессе охлаждения (нагревания) бесконечно длинного цилиндра и некоторых тел конечных размеров.
14. Задача об охлаждении (нагревании) полуограниченного тела как модель начального периода нестационарной теплопроводности тела произвольной формы.
15. Регулярный режим охлаждения. Определение теплофизических свойств материалов методом регулярного режима.
16. Математическое описание процесса конвективного теплообмена: дифференциальные уравнения энергии, движения, неразрывности. Условия однозначности, уравнение теплоотдачи.
17. Безразмерный вид математического описания конвективного теплообмена. Безразмерные комплексы: число Рейнольдса, число Грасгофа, число Релея, число Нуссельта.
18. Физические свойства жидкостей и газов, существенные для процесса конвективного теплообмена. Классификация теплоносителей по

числу Прандтля.

19. Экспериментальное изучение процессов конвективного теплообмена. Тепловое моделирование. Элементы теории подобия и размерности.

20. Теплообмен и сопротивление при ламинарном и турбулентном пограничном слое на пластине.

21. Теплоотдача при свободном движении жидкости около тел (пластина, труба), находящихся в неограниченном объёме жидкости.

22. Теплообмен при движении теплоносителей в трубах и каналах. Первое начало термодинамики для течения в трубах. Местный и средний коэффициенты теплоотдачи.

23. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении в трубе. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы. Турбулентное движение в трубах. Формулы Михеева и Петухова.

24. Интенсификация конвективного теплообмена при течении теплоносителя в трубах и каналах.

25. Теплообмен при конденсации пара. Плёночная и капельная конденсация.

26. Теплообмен при кипении жидкостей. Кривая кипения. Пузырьковое и плёночное кипение. Критический радиус пузырька. Скорость роста пузырька. Отрывной диаметр пузырька. Частота отрыва пузырьков.

27. Кипение в трубах. Режим течения парожидкостной смеси. Гидродинамика и теплообмен при кипении в трубах.

28. Классификация теплообменных аппаратов.

29. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Среднелогарифмический температурный напор. Прямоток, противоток, сложные схемы движения теплоносителей.

30. Конструкторский и поверочный тепловые расчеты рекуперативного теплообменника. Сравнение прямотока и противотока.

31. Понятие о расчёте смесительных теплообменников и о расчёте регенеративных теплообменных аппаратов.

32. Физическая природа теплового излучения. Классификация потоков излучения.

33. Интегральные и спектральные характеристики энергии излучения: поток, плотность потока и интенсивность излучения. Излучение реальных тел, идеальные тела.

34. Понятие о методах расчёта сложного теплообмена (радиационно-кондуктивного и радиационно-конвективного).

35. Концентрационная диффузия (массы). Вектор плотности потока массы. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Термо и бародиффузия.

36. Дифференциальные уравнения совместных процессов массо- и теплообмена.

37. Массо- и теплообмен при испарении в парогазовую среду. Адиабатное испарение. Массо- и теплообмен при конденсации пара из парогазовой смеси.

38. Закон Бугера. Определение поглощательной способности и степени черноты среды (продуктов сгорания).

39. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Граничные условия

40. Краткие сведения из гидродинамики. Аналогия Прандтля.

41. Нестационарная теплопроводность. Аналитическое описание процесса.

42. Основные положения тепло- и массообмена. Диффузионные процессы. Коэффициент диффузии.

43. Основные виды переноса теплоты

44. Уравнение Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи.

45. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в приближении пограничного слоя.

46. Гидравлическое сопротивление теплообменных аппаратов.

47. Критические тепловые нагрузки при кипении. Теплоотдача при плёночном кипении.

48. Расчёт коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении в большом объёме. Критические тепловые нагрузки при кипении. Теплоотдача при плёночном кипении.

49. Вектор плотности теплового потока.

50. Свободная конвекция в ограниченном объёме (щели, зазоры).

Приложение 7

Примеры тестовых заданий

1) Для нагрева водяным паром используют преимущественно насыщенный и перегретый водяной пар давлением:

1. до 1,4 МПа;
2. до 1,2 МПа;
3. свыше 1,2 МПа;
4. нет правильных ответов;

2) В соответствии с применяемым давлением, нагревание паром ограничено температурой:

1. 120 °С;
2. 195 °С;
3. 180 °С;
4. 190 °С.

3) Нагреву водяным паром соответствует высокая удельная теплота парообразования (конденсации) насыщенного водяного пара:

1. 1990–2160 кДж/кг;
2. 1990–2260 кДж/кг;
3. нет правильных ответов;
4. 1390–2260 кДж/кг.

4) Нагреву водяным паром соответствует высокий коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося водяного пара:

1. 5000–18000 Вт/(м^{2}К);
2. 5100–18000 Вт/(м^{2}К);
3. 5000–18000 кВт/(м^{2}К);
4. 5000–16000 Вт/(м^{2}К).

5) Различают два способа нагревания водяным паром:

1. нет правильных ответов;
2. «влажным» и «сухим»;
3. «перегретым» и «насыщенным»;
4. «острым» и «глухим».

6) Способ нагрева дымовыми газами используется для нагрева сред до температур:

1. 180–1000 °С;
2. 180–1100 °С;
3. нет правильных ответов;
4. 150–800 °С.

7) Особенностью нагрева дымовыми газами являются небольшие коэффициенты теплоотдачи от дымовых газов к стенкам аппаратов:

1. 15–35 Вт/(м^{2}К);
2. 25–35 Вт/(м^{2}К);
3. 15–65 Вт/(м^{2}К);
4. 18–42 Вт/(м^{2}К).

8) Нагрев электрическим током в электропечах, применяют при

необходимости нагрева материалов выше:

1. 1050 °С;
2. нет правильных ответов;
3. 1000 °С;
4. 1100 °С.

9) По способу преобразования электрической энергии в тепловую различают электрические печи:

1. сопротивления, индукционные;
2. сопротивления, индукционные и дуговые;
3. сопротивления и дуговые;
4. индукционные и дуговые;

10) В электрических печах сопротивления косвенного действия нагревание осуществляется до температуры:

1. 1100 °С;
2. 1200 °С;
3. 1000 °С;
4. 1150 °С.

11) В электрических индукционных печах нагревание осуществляется:

1. магнитными полями;
2. нет правильных ответов;
3. индукционными токами;
4. высокочастотными излучателями.

12) В дуговых печах нагревание материалов осуществляется электрической дугой до температур:

1. 1200–1500 °С;
2. 1300–1450 °С;
3. 1100–1600 °С;
4. 1300–1500 °С.

13) Электрическая дуга в дуговых печах возникает в:

1. инертной среде;
2. кислой среде;
3. газообразной среде;
4. пылевой среде.

14) В зависимости от времени года и климатических условий охлаждение водой и воздухом осуществляется:

1. нет правильных ответов;
2. до 20–30 °С;
3. свыше 20–30 °С;
4. до 10–25 °С.

15) Вода, отбираемая из артезианских скважин, имеет температуру:

1. 18–22 °С;
2. 8–16 °С;
3. 8–12 °С;
4. 6,8–12,2 °С.

16) В процессе абсорбции имеет место переход вещества или группы веществ:

1. из газовой (паровой) фазы в жидкую;
2. из газовой (паровой) фазы в твердую;
3. из жидкой фазы в твердую;
4. нет правильных ответов.

17) В процессе ректификации имеет место переход вещества или группы веществ:

1. из жидкой фазы в твердую и наоборот;
2. из жидкой фазы в паровую и наоборот;
3. из газовой фазы в жидкую и наоборот;
4. из жидкой фазы в паровую;

18) В процессе экстракции имеет место переход вещества:

1. из одной жидкой фазы в твердую фазу;
2. из газовой фазы в другую жидкую фазу;
3. из одной жидкой фазы в другую жидкую фазу;
4. из одной жидкой фазы в газовую фазу.

19) В процессе адсорбции вещества переходят:

1. нет правильных ответов;
2. из жидкой фазы в твердую;
3. из газовой фазы в твердую;
4. из газовой или жидкой фаз в твердую;

20) В ионнообменном процессе вещества переходят:

1. из жидкой фазы в газовую;
2. из газовой фазы в твердую;
3. из жидкой фазы в конденсированную;
4. из жидкой фазы в твердую.

21) В процессе сушки имеет место переход влаги:

1. из твердого материала в паровую фазу;
2. из твердого влажного материала в паровую или газовую фазу;
3. из сухого материала в газовую фазу;
4. нет правильных ответов.

22) В процессе кристаллизации происходит переход вещества:

1. из жидкой фазы в твердую фазу;
2. из жидкой фазы в аморфную фазу;
3. из жидкой фазы в кристаллическую фазу;
4. из газовой фазы в твердую фазу.

23) Уравнение прямой, выражающее зависимость между рабочими концентрациями, называется:

1. физической линией процесса;
2. экспериментальной линией процесса;
3. рабочей линией процесса;
4. расчетной линией процесса.

24) Молекулярная диффузия в газах и растворах жидкостей происходит в результате:

1. нет правильных ответов;

2. упорядоченного движения молекул, не связанного с движением потоков жидкости;

3. движения молекул, связанного с движением потоков жидкости;

4. хаотического движения молекул, не связанного с движением потоков жидкости.

25) Коэффициент диффузии показывает:

1. какое количество вещества диффундирует через поверхность 1 м^2 при разности концентраций на расстоянии 1 м, равной единице;

2. какое количество вещества диффундирует в течение 1 с при разности концентраций на расстоянии 1 м, равной единице;

3. какое количество вещества диффундирует через поверхность 1 м^2 в течение 1 с при разности концентраций на расстоянии 1 м, равной единице;

4. какое количество вещества диффундирует через поверхность 1 м^2 в течение 1 с.

26) В реальном абсорбере равновесие между фазами:

1. достигается;

2. не достигается; +

3. достигается с помощью нагрева;

4. достигается при охлаждении.

27) Уравнение конвективной диффузии необходимо решать совместно с:

1. уравнениями движения Навье-Стокса;

2. нет правильных ответов;

3. уравнениями Бойля-Мариотта;

4. уравнениями Джоуля-Томсона.

28) Толщина диффузионного подслоя равна толщине гидродинамического ламинарного подслоя при:

1. $Pr' = \frac{v}{D} = 2$;

2. $Pr' = \frac{v}{D} = 1$;

3. $Pr' = \frac{v}{D} = 1{,}2$;

4. $Pr' = \frac{v}{D} = 1{,}08$.

29) Физическая абсорбция:

1. необратима;

2. хаотична;

3. нет правильных ответов;

4. обратима.

30) Закон Генри справедлив к растворам газов, критические температуры которых:

1. ниже температуры раствора;

2. выше температуры раствора;

3. равны температуре раствора;

4. выше температуры конденсата.