



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

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

«СОГЛАСОВАНО»
Руководитель ОП


(подпись)

В.А. Реутов
(Ф.И.О. рук.ОП)
05 сентября 2017 г.



«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующий кафедрой
химических и ресурсосберегающих технологий
(название кафедры)


(подпись)

Реутов В.А.
(Ф.И.О. зав. каф.)
05 сентября 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Процессы и аппараты химической технологии

Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология

профиль «Технологии нефтеперерабатывающих и химических производств»

Форма подготовки очная

курс 2-3 семестр 3-5

лекции 90 час.

практические занятия 90 час.

лабораторные работы 108 час.

в том числе с использованием МАО лек. 20 / пр. 10 час. / лаб. 36 час.

всего часов аудиторной нагрузки 288 час.

в том числе с использованием МАО 66 час.

самостоятельная работа 252 час.

в том числе на подготовку к экзамену 81 час.

контрольные работы (количество) 6

зачет 4-5 семестр

экзамен 3-5 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ, утвержденного приказом ректора от 21.10.2016 № 12-13-2030.

Рабочая программа обсуждена на заседании базовой кафедры химических и ресурсосберегающих технологий Школы естественных наук протокол № 12 от 13 июня 2017 г.

Заведующий кафедрой: к.х.н., доцент Реутов В.А.

Составитель: к.х.н., доцент Реутов В.А.

Оборотная сторона титульного листа РПУД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от «_____» _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

ABSTRACT

Bachelor's degree in 18.03.01 Chemical technology

Study profile: Technology of oil processing and chemical production

Course title: Processes and apparatus of Chemical Technology

Basic part of course Б1.Б.ОД.2, 15 credits

Instructor: Reutov V.

At the beginning of the course a student should be able to:

OC-14 – the ability to self-organization and self-education;

OPC-1 – the ability and willingness to use the basic laws of natural sciences in professional activities;

OPC-2 – the willingness to use knowledge of the modern physical picture of the world, space-time patterns, the structure of matter to understand the world around us and natural phenomena;

PC-2 – the readiness to use analytical and numerical methods for solving the tasks set, to use modern information technologies, to carry out information processing using the application software of the professional sphere, to use network computer technologies and databases in their professional field, application packages for calculating technological parameters of the equipment;

PC-19 – the ability to plan and conduct physical and chemical experiments, process their results and estimate errors, put forward hypotheses and set boundaries of their application, apply methods of mathematical analysis and modeling, theoretical and experimental research;

PC-22 – readiness to use knowledge of basic physical theories for solving emerging physical problems, independent acquisition of physical knowledge, for understanding the principles of operation of devices and devices, including those that are beyond the competence of a direction.

Learning outcomes:

PC-1 – the ability and willingness to carry out the process in accordance with the regulations and use technical means to measure the main parameters of the process, the properties of raw materials and products;

PC-4 – the ability to make specific technical decisions in the development of technological processes, to choose technical means and technologies considering the environmental consequences of their use;

PC-8 – the readiness for the development and operation of newly introduced equipment.

Course description:

Discipline covers a range of issues related to the theoretical foundations of construction, mathematical description and engineering calculation of the main

chemical-technological processes, as well as the principles of the design and operation of technological equipment. The basic concepts and relationships, the basics of heat and mass transfer, the basic laws of momentum transfer, heat, and matter are considered. Special attention is paid to the issues of hydraulics, fluid movement, gas compression, hydro-mechanical processes, heat transfer and heat transfer, flow structure, evaporation, absorption, distillation and rectification, liquid extraction, drying, grinding and classification of solid materials.

Main course literature:

1. Kasatkin, A. G. Basic processes and apparatuses of chemical technology: a textbook for chemical-technological specialties of universities / A. G. Kasatkin. - M.: Alliance, 2014. - 750 p. (22 copies) <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:776753&theme=FEFU>

2. Dytnerky, Yu. I. Processes and devices of chemical technology: a textbook for chemical-technological specialties of universities: in 2 books. / Yu. I. Dytnerky. - Ed. 3rd - M.: Alliance, 2015. - Vol. 1-2. (17 copies) <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:776771&theme=FEFU>, <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:777122&theme=FEFU>

3. The main processes and devices of chemical technology: a design guide: a manual for chemical and technological specialties of universities / G. S. Borisov and others; by ed. Yu. I. Dytnerky. - Ed. 2nd, pererabot. and add. - M.: Alliance, 2015. - 493 p. (13 copies) <https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:776854&theme=FEFU>

4. Frolov VF, Lectures on the course "Processes and apparatuses of chemical technology [Electronic resource] / Frolov VF - 2nd ed., Source. - SPb.: KHIMIZDAT, 2008. - 608 p. - Access mode: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>

5. Hydraulics: a textbook and a workshop for an academic laureate tank / V. A. Kudinov, E. M. Kartashov, A. G. Kovalenko, I. V. Kudinov; by ed. V.A. Kudinova. - 4th ed., Pererab. and add. - M.: Publishing Yurayt, 2014. - 386 p. - Access mode: <https://www.biblio-online.ru/bcode/381465>

6. Gusev, A. A. Hydraulics: a textbook for an academic laureate tank / A. A. Gusev. - 2nd ed., Corr. and add. - M.: Yurait Publishing House, 2015. - 285 p. - Access mode: <https://www.biblio-online.ru/book/gidravlika-teoriya-i-praktika-378039>

7. Erofeev, V.L. Heat engineering in 2 tons. Volume 1. Thermodynamics and theory of heat transfer: a textbook for undergraduate and magistracy / V.L. Erofeev, A.S. Pryakhin, P.D. Semenov; by ed. V.L. Erofeev, A.S. Pryakhina. - M.: Yurait Publishing House, 2016. - 308 p. - Access mode: <https://www.biblio->

[online.ru/book/teplotehnika-v-2-t-tom-1-termodinamika-i-teoriya-teploobmena-390279](https://www.biblio-online.ru/book/teplotehnika-v-2-t-tom-1-termodinamika-i-teoriya-teploobmena-390279)

8. Erofeev, V.L. Heat engineering in 2 tons. Volume 2. Energy use of heat: a textbook for bachelor and master programs / V.L. Erofeev, A.S. Pryakhin, P.D. Semenov; by ed. V. L. Erofeev, A. S. Pryakhin. - M.: Publishing Yurayt, 2016. - 198 p. - Access mode: <https://www.biblio-online.ru/book/teplotehnika-v-2-t-tom-2-energeticheskoe-ispolzovanie-teploty-393913>

9. Kruglov, G.A. Heat Engineering [Electronic resource]: training guide / G.A. Kruglov, R.I. Bulgakova, E.S. Kruglov. - SPb: Lan, 2012. - 208 p. – Access Mode: <https://e.lanbook.com/book/3900>

Form of final knowledge control: exam and pass-fail exam.

АННОТАЦИЯ

Рабочая программа дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» разработана для студентов 2-3 курса направления подготовки 18.03.01 «Химическая технология» в соответствии с требованиями ОС ВО ДВФУ по данному направлению.

Курс Б1.В.ОД.2 «Процессы и аппараты химической технологии» относится к обязательным дисциплинам вариативной части учебного плана.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 15 зачетных единиц, 540 часов. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (90 час.), практические занятия (90 час.) и лабораторные занятия (108 час.), самостоятельная работа (252 час., из них 81 час отведен на подготовку к экзаменам). Дисциплина реализуется в 3-5 семестрах 2 и 3 курсов, соответственно.

Курс «Процессы и аппараты химической технологии» логически и содержательно связан с курсами: «Физика», «Высшая математика», «Физическая и коллоидная химия», «Теоретическая и прикладная механика».

Дисциплина охватывает круг вопросов, связанных с теоретическими основами построения, математического описания и инженерного расчета основных химико-технологических процессов, а также принципами устройства и функционирования технологической аппаратуры. Рассматриваются основные понятия и соотношения, основы тепло- и массопереноса, основные закономерности переноса импульса, теплоты, вещества. Особое внимание уделяется вопросам гидравлики, перемещения жидкостей, сжатия газов, гидромеханическим процессам, теплопередаче и теплообмену, структуре потоков, выпариванию, абсорбции, дистилляции и ректификации, жидкостной экстракции, сушке, измельчению и классификации твердых материалов.

Знания, полученные при изучении дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии», могут быть использованы при изучении дисциплин «Общая химическая технология», «Промышленная экология», «Моделирование химико-технологических процессов», «Системы управления химико-технологическими процессами», «Системный анализ процессов химической технологии», «Проектирование химических производств и оборудования» и других профильных дисциплин, в научно-исследовательской работе студентов и при подготовке выпускной квалификационной работы.

Цель дисциплины: формирование глубокого понимания сущности основных физических и химических процессов химической технологии, знакомства с наиболее распространенными конструкциями химической аппаратуры и методами их расчета и, как следствие, обеспечение фундаментальной базы студентов, обучающихся по химико-технологическим направлениям.

Задачи дисциплины:

- Изучить теоретические основы процессов химической технологии, механизмы типовых процессов, методы их математического описания и расчета.
- Сформировать знания о конструкциях аппаратов для проведения химико-технологических процессов, методов расчета их основных размеров.
- Изучить сущность процессов, происходящих в промышленных аппаратах.
- развить навыки получения конечного результата при решении практических задач – выбора оптимальных режимных параметров протекающих процессов, выбора принципиальных схем аппаратов и машин для осуществления химико-технологических процессов, расчета соответствующих аппаратов.

Для успешного изучения дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

ОК-14 – способностью к самоорганизации и самообразованию;

ОПК-1 – способностью и готовностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности;

ОПК-2 – готовностью использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы;

ПК-2 – готовностью применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования;

ПК-19 – способностью планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

ПК-22 – готовностью использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления.

В результате изучения данной дисциплины у студентов формируются следующие профессиональные компетенции (элементы компетенций).

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-1 способностью и готовностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции	Знает	– закономерности протекания основных процессов химических производств
	Умеет	– находить оптимальные и рациональные технические режимы осуществления основных процессов и аппаратов химических производств; – выявлять основные факторы, определяющие скорость технологического процесса
	Владеет	– методикой технологического расчета аппаратуры для проведения типовых химико-технологических процессов
ПК-4 способностью принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения	Знает	– основы теории расчета и проектирования машин и аппаратов химических производств, методы расчета процессов и основных размеров аппаратов; – способы осуществления основных технологических процессов и характеристики для оценки их интенсивности и эффективности
	Умеет	– выполнять основные расчеты технологических процессов и аппаратов химической технологии
	Владеет	– методами расчета аппаратуры для проведения химико-технологических процессов
ПК-8 готовностью к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования	Знает	– принципы осуществления современных типовых процессов и конструкции аппаратов.
	Умеет	– проводить сравнительный анализ конструктивных решений конкретных технологических процессов
	Владеет	– умением подобрать необходимую аппаратуру для проведения типовых химико-технологических процессов

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины применяются следующие методы активного / интерактивного обучения:

- лекция-беседа (на лекционных занятиях),
- проблемная лекция (на лекционных занятиях),
- работа в малых группах (на практических и лабораторных занятиях).

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Раздел I. Основные закономерности процессов и общие принципы расчета аппаратов химической технологии (8 час.)

Тема 1. Классификация химико-технологических процессов (4 час.)

Форма интерактивного обучения: лекция-беседа (2 час.)

Непрерывные и периодические процессы.

Стационарные и нестационарные процессы.

Теория явлений переноса. Основы теории переноса количества движения, энергии, массы.

Основные принципы составления математических описаний, анализа и расчета процессов и аппаратов.

Тема 2. Основы теории подобия (4 час.)

Методы исследования процессов и аппаратов химической технологии.

Использование методов получения обобщенных переменных.

Принципы подобия и анализа размерностей, их применение при постановке опытов на модельных системах и установках, обработке и обобщении экспериментальных результатов.

Раздел II. Механические процессы (6 час.)

Тема 1. Перемещение твердых материалов (2 час.)

Классификация подъемно-транспортных устройств. Устройства непрерывного транспорта для горизонтального перемещения. Устройства непрерывного транспорта для вертикального и смешанного перемещения.

Тема 2. Измельчение твердых материалов (2 час.)

Измельчение твердых тел. Основные виды измельчающих машин. Основы технологического расчета.

Тема 3. Классификация материалов (2 час.)

Ситовый анализ. Гранулометрический состав. Грохочение. Элементы технологического расчета грохотов. Прочие способы классификации материалов. Дозирование и смешивание твердых материалов.

Раздел III. Гидродинамические процессы (22 час.)

Тема 1. Основы гидравлики (2 час.)

Форма интерактивного обучения: лекция-беседа (2 час.)

Жидкости: капельные и упругие жидкости. Основные свойства жидкостей

Тема 2. Основы гидромеханики. Общие сведения, предмет гидромеханики (4 час.)

Гидростатика. Дифференциальное уравнение равновесия и распределение давления в покоящихся средах.

Гидродинамика. Гидродинамические режимы течения. Критерий Рейнольдса и его критические значения. Основные уравнения гидродинамики. *Основные уравнения движения жидкостей.* Уравнение неразрывности (сплошности) потока. Уравнения Эйлера и Навье-Стокса.

Тема 3. Течение в трубах и каналах (4 час.)

Форма интерактивного обучения: лекция-беседа (4 час.)

Уравнение постоянства расхода. Распределение скоростей по сечению трубы.

Уравнение Бернулли. Практические приложения уравнения Бернулли. Гидравлическое сопротивление при течении жидкостей.

Подобие течений в трубах и каналах. Проектный расчет диаметра трубопроводов или аппаратов, выбор оптимальных значений скоростей потоков.

Тема 3. Перемещение жидкостей и газов по трубопроводам и сетям с помощью машин, повышающих давление (2 час.).

Перемещение жидкостей насосами. Расчет напора и потребляемой мощности, подбор двигателя к насосу. Компрессорные машины и вакуум-насосы.

Вращательное движение жидкости. Распределение давления во вращающейся жидкости. Принцип действия центробежных насосов, циклонов и гидроциклонов, центрифуг.

Тема 4. Течение жидкостей и газов через слой зернистого материала (2 час.)

Движение тел в жидкостях (обтекание их сплошной средой). Основы теории осаждения. Расчет скоростей свободного и стесненного осаждения.

Течение через неподвижные зернистые слои. Гидравлическое сопротивление слоя. Гидродинамика псевдооживленных (кипящих) слоев.

Тема 5. Пленочное течение жидкостей (2 час.)

Пленочное гравитационное течение жидкости по твердой поверхности, режимы течения пленки. Режимы течения потоков в насадочных колоннах. Гидравлическое сопротивление насадочных колонн.

Тема 6. Перемешивание в жидких средах (2 час.)

Использование процессов перемешивания для образования гетерогенных систем и интенсификация процессов тепло- и массообмена. Расчет затрат энергии на перемешивание.

Тема 7. Разделение гетерогенных смесей. Классификация жидких и газовых гетерогенных систем (4 час.)

Форма интерактивного обучения: лекция-беседа (4 час.)

Суспензии, эмульсии, пены, пыли, туманы. Использование гидромеханических процессов для их разделения в технологических целях. Основные принципы, на которых базируются методы разделения гетерогенных систем.

Разделение гетерогенных смесей. Отстаивание. Процессы отстаивания и устройство отстойников для суспензий, эмульсий и пылей, работающих под действием силы тяжести. Устройство и действие циклонов, гидроциклонов, отстойных центрифуг, сепараторы для отделения брызг жидкости от газа.

Разделение гетерогенных смесей. Фильтрация. Фильтрация суспензий и очистка газов от пылей на фильтрах. Классификация и устройство основных типов фильтров. Схемы фильтровальных установок.

Раздел IV. Тепловые процессы и аппараты химической технологии (10 час.)

Тема 1. Основные тепловые процессы в химической технологии (2 час.)

Форма интерактивного обучения: лекция-беседа (2 час.)

Нагревание и охлаждение, конденсация паров и испарение жидкостей. Расход теплоносителей, тепловой баланс как частный случай энергетического баланса.

Тема 2. Основы теплопередачи (2 час.)

Стационарный и нестационарный перенос теплоты. Теплопроводность и температуропроводность твердых материалов, жидкостей и газов. Дифференциальное уравнение теплопроводности (уравнение Фурье).

Конвективный перенос теплоты. Тепловое подобие, безразмерные переменные. Расчет коэффициентов теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции.

Радиантный теплоперенос.

Тема 3. Теплопередача в аппаратах химических производств (2 час.)

Форма интерактивного обучения: лекция-беседа (2 час.)

Теплопередача в поверхностных теплообменниках через плоские и цилиндрические стенки. Коэффициенты теплопередачи, аддитивность термических сопротивлений. Средняя движущая сила теплопередачи, влияние взаимного направления движения теплоносителей.

Тема 4. Промышленные способы подвода и отвода теплоты в химической аппаратуре (2 час.)

Классификация способов подвода и отвода теплоты. Требования, предъявляемые к теплоносителям, их сравнительные характеристики и области применения.

Тема 5. Теплообменные установки и аппараты (2 час.)

Теплообменные аппараты, их классификация. Основные типы поверхностных теплообменников, теплообменные устройства химических реакторов. Расчет основных размеров теплообменных аппаратов и оптимальных режимов их работы. Проектный и поверочный расчет.

Классификация и основные конструктивные типы выпарных аппаратов.

Раздел V. Массообменные процессы и аппараты химической технологии (26 час.)

Тема 1. Классификация массообменных процессов (2 час.)

Форма интерактивного обучения: лекция-беседа (2 час.)

Наиболее распространенные массообменные процессы химической технологии: абсорбция и десорбция, дистилляция, жидкостная экстракция, сушка твердых материалов, адсорбция и ионный обмен, растворение и экстрагирование из твердого (выщелачивание) вещества, кристаллизация, мембранное разделение жидких и газовых смесей.

Классификация процессов массообмена.

Тема 2. Основы массопередачи (4 час.)

Массопередача и массоотдача. Молекулярная диффузия. Конвективный массоперенос. Коэффициенты массоотдачи и ее движущие силы. Диффузионное (массообменное) подобие

Массопередача между двумя фазами. Коэффициент массопередачи, движущая сила, их физический смысл, соотношение между коэффициентами массопередачи и массоотдачи.

Фазовые равновесия, коэффициенты распределения, селективность и обратимость процессов.

Тема 3. Массообмен в аппаратах химических производств (6 час.)

Материальный баланс непрерывного установившегося процесса при различных способах выражения составов фаз и их расходов, уравнения рабочих линий.

Расчет потребного поперечного сечения (диаметра) колонны, предельно допустимая и экономически оптимальная скорости сплошной фазы. Расчет высоты аппаратов с непрерывным контактом фаз с использованием объемных коэффициентов массопередачи или метода единиц переноса. Расчет числа ступеней аппаратов со ступенчатым контактом.

Анализ массообменных процессов и расчет аппаратов методом «теоретических ступеней». Определение (численное и графоаналитическое) числа теоретических ступеней, использование понятий высоты, эквивалентной теоретической ступени, среднего коэффициента полезного действия ступени при расчетах аппаратов с непрерывным и ступенчатым контактом фаз соответственно.

Тема 4. Массообменные процессы и аппараты. Абсорбционные и экстракционные аппараты и установки (4 час.)

Общие принципы устройства и классификация аппаратов для массообменных процессов в системах "газ(пар)-жидкость" и "жидкость-жидкость". Особенности конструкций абсорберов и экстракторов.

Основные типы абсорберов и экстракторов.

Тема 5. Массообменные процессы и аппараты. Дистилляция и ректификация (6 час.)

Форма интерактивного обучения: лекция-беседа, проблемная лекция (4 час.)

Дистилляция. Парожидкостное равновесие для систем с полной и ограниченной взаимной растворимостью. Расчет равновесия для идеальных бинарных смесей.

Простая и фракционная перегонка, перегонка с дефлегмацией. Ректификация.

Особые виды перегонки.

Тема 6. Массообменные процессы с участием твердой фазы (3 час.)

Элементы массопередачи в системах с твердой фазой. Физические модели и механизмы переноса массы в пористых твердых телах и обтекающем их потоке, внутреннее и внешнее сопротивления массопереносу.

Сушка твердых материалов. Методы сушки.

Тема 7. Мембранные процессы и аппараты (1 час.)

Общие сведения о мембранных процессах. Типы мембран. Основные конструкции мембранных аппаратов.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Практические занятия. 3 семестр (18 час.)

Занятие № 1. Основные понятия и соотношения (4 час.)

1. Размерности и единицы измерения.
2. Основные характеристики рабочих тел
3. Уравнения баланса

4. Уравнения неразрывности
5. Уравнения расхода
6. Решение задач.

Занятие № 2. Механические процессы (4 час.)

1. Классификация механических процессов
2. Основные характеристики твердых материалов
3. Измельчение твердых материалов
4. Классификация твердых материалов
5. Решение задач.

Занятие № 3. Транспортирование (2 час.)

1. Классификация транспортирующих устройств
2. Конструкционные особенности транспортирующих устройств
3. Основные характеристики транспортирующих устройств
4. Решение задач.

Занятие № 4. Гидростатика (4 час.)

1. Основные понятия гидростатики
2. Давление. Основные виды, способы определения, пересчета.
3. Основные характеристики жидкостного потока
4. Решение задач.

Занятие № 5. Гидравлика (4 час.)

1. Уравнение Бернулли
2. Режимы течения жидкости
3. Решение задач.

Практические занятия. 4 семестр (36 час.)

Занятие № 6. Расчет трубопроводов (6 час.)

1. Прямая и обратная задачи гидродинамики
2. Коэффициент гидравлического сопротивления. Местные сопротивления
3. Расчет сопротивления трубопровода и мощности насоса средствами Excel
4. Решение задач.

Занятие № 7. Тепловой и материальный баланс (4 час.)

1. Законы сохранения
2. Порядок составления материального баланса
3. Порядок составления теплового баланса
4. Решение задач

Занятие № 8. Основы теплопереноса (4 час.)

1. Теплофизические свойства рабочих тел
2. Виды теплопереноса
3. Стационарный кондуктивный перенос теплоты через стенки
4. Решение задач.

Занятие № 9. Теплообменники (4 час.)

1. Классификация теплообменных устройств
2. Основные элементы теплообменных устройств
3. Компенсация теплового расширения в теплообменных устройствах
4. Решение задач

Занятие № 10. Теплоносители (6 час.)

1. Классификация теплоносителей.
2. Виды состояния водяного пара. Методики расчета теплоты, передаваемой при нагреве воды, при парообразовании, расчета тепловой мощности, объемного и массового расхода среды. Таблицы нахождения основных физических свойств воды и водяного пара.

3. Основные характеристики влажного воздуха (абсолютная и относительная влажность, плотность влажного воздуха). Методики расчета основных параметров влажного воздуха.

4. Решение задач.

Занятие № 11. Расчет теплообменника труба в трубе (6 час.)

1. Расчет среднего температурного напора
2. Расчет средних параметров потоков
3. Порядок расчета теплообменной аппаратуры
4. Расчет теплообменника средствами Excel
5. Решение задач

Занятие № 12. Расчет кожухотрубного теплообменника (6 час.)

1. Конструктивные особенности кожухотрубных теплообменников
2. Порядок расчета кожухотрубных теплообменников
3. Расчет теплообменника средствами Excel
4. Решение задач

Лабораторные работы. 3 семестр (18 час.)

Лабораторная работа № 1. Измельчение твердого материала на вибромельнице, ситовый анализ сыпучих материалов (4 час.). Форма интерактивного обучения: *работа в малых группах (2 час.)*

Лабораторная работа № 2. Измельчение твердого материала на шаровой мельнице, ситовый анализ сыпучих материалов (6 час.). Форма интерактивного обучения: *работа в малых группах (3 час.)*

Лабораторная работа № 3. Измерение удельной поверхности сыпучих материалов и катализаторов по сопротивлению фильтрации воздуха через слой (4 час.). Форма интерактивного обучения: *работа в малых группах (2 час.)*

Лабораторная работа № 4. Режимы течения жидкостей (4 час.). Форма интерактивного обучения: *работа в малых группах (2 час.)*

Лабораторные работы. 4 семестр (36 час.)

Лабораторная работа № 5. Кинетика фильтрации (6 час.). Форма интерактивного обучения: *работа в малых группах (2 час.)*

Лабораторная работа № 6. Осаждение взвесей (6 час.). Форма интерактивного обучения: *работа в малых группах (2 час.)*

Лабораторная работа № 7. Определение коэффициента теплоотдачи горизонтального цилиндра при внешней естественной конвекции воздуха (6 час.). Форма интерактивного обучения: *работа в малых группах (3 час.)*

Лабораторная работа № 8. Изучение процесса теплопередачи при вынужденной конвекции (6 час.). Форма интерактивного обучения: *работа в малых группах (3 час.)*

Лабораторная работа № 9. Изучение процесса теплопередачи в теплообменнике «труба в трубе» (6 час.). Форма интерактивного обучения: *работа в малых группах (3 час.)*

Лабораторная работа № 10. Изучение процесса теплопередачи в кожухотрубном теплообменнике (6 час.). Форма интерактивного обучения: *работа в малых группах (3 час.)*

Лабораторные работы. 5 семестр (36 час.)

Лабораторная работа № 11. Простая перегонка. Построение кривой разгонки бинарной смеси (6 час.). Форма интерактивного обучения: *работа в малых группах (3 час.)*

Лабораторная работа № 12. Ректификации бинарной смеси (6 час.). Форма интерактивного обучения: *работа в малых группах (3 час.)*

Лабораторная работа № 13. Сушка сыпучих материалов (6 час.). Форма интерактивного обучения: *работа в малых группах (3 час.)*

Лабораторная работа № 14. Экстракция (6 час.). Форма интерактивного обучения: работа в малых группах (3 час.)

Лабораторная работа № 15. Твердо-жидкостное экстрагирование (6 час.). Форма интерактивного обучения: работа в малых группах (3 час.)

Лабораторная работа № 16. Адсорбция (6 час.). Форма интерактивного обучения: работа в малых группах (3 час.)

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

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

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
3	Основные закономерности процессов и общие принципы расчета аппаратов химической технологии	ПК-1	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 1 (УО-1)	Экзамен (вопросы 1-5)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР (ПР-12)	

			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР (ПР-12)	
		ПК-4	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 1 (УО-1)	Экзамен (вопросы 1-5)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР (ПР-12)	
		ПК-8	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 1 (УО-1)	Экзамен (вопросы 1-5)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР (ПР-12)	
4	Механические процессы	ПК-1	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 2-3 (УО-1)	Экзамен (вопросы 6-13)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Решение РГР №1-2 (ПР-12)	

			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Решение РГР №1-2 (ПР-12)	
		ПК-4	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 2-3 (УО-1)	Экзамен (вопросы 6-13)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Решение РГР №1-2 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Решение РГР №1-2 (ПР-12)	
		ПК-8	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 2-3 (УО-1)	Экзамен (вопросы 6-13)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Решение РГР №1-2 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Решение РГР №1-2 (ПР-12)	
5	Гидродинамические процессы	ПК-1	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 4-6 (УО-1)	Экзамен (вопросы 14-86)

			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 3-5 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 3-5 (ПР-12)	
		ПК-4	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 4-6 (УО-1)	Экзамен (вопросы 14-86)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 3-5 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 3-5 (ПР-12)	
			Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 4-6 (УО-1)	
		ПК-8	Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 3-5 (ПР-12)	Экзамен (вопросы 14-86)

			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 3-5 (ПР-12)	
6	Тепловые процессы и аппараты химической технологии	ПК-1	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 8-10 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 7-12 (УО-1)	Экзамен (вопросы 87-107)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 7-10 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 6-7 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 7-10 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 6-7 (ПР-12)	
		ПК-4	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 8-10 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 7-12 (УО-1)	Экзамен (вопросы 87-107)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 7-10 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 6-7 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 7-10 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 6-7 (ПР-12)	
		ПК-8	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 8-10 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 7-12 (УО-1)	Экзамен (вопросы 87-107)

			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 7-10 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 6-7 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 7-10 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 6-7 (ПР-12)	
7	Массообменные процессы и аппараты химической технологии	ПК-1	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6)	Экзамен (вопросы 108-135)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 8-9 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 8-9 (ПР-12)	
		ПК-4	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6)	Экзамен (вопросы 147-174)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 8-9 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 8-9 (ПР-12)	
		ПК-8	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6)	Экзамен (вопросы 147-174)

			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 8-9 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 8-9 (ПР-12)	

Контрольные и методические материалы, а также критерии и показатели необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы представлены в Приложении 2.

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

(электронные и печатные издания)

1. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учебник для химико-технологических специальностей вузов / А. Г. Касаткин. – М. : Альянс, 2014. – 750 с. (22 экз.)
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:776753&theme=FEFU>
2. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии : учебник для химико-технологических специальностей вузов : в 2 кн. / Ю. И. Дытнерский. – Изд. 3-е. – М. : Альянс, 2015. – Кн. 1-2. (17 экз.)
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:776771&theme=FEFU>,
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:777122&theme=FEFU>
3. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию : учебное пособие для химико-технологических специальностей вузов / Г. С. Борисов и др. ; под ред. Ю. И. Дытнерского. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Альянс, 2015. – 493 с. (13 экз.)
<http://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:776854&theme=FEFU>
4. Фролов В.Ф., Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии [Электронный ресурс] / Фролов В.Ф. - 2-е изд., истр. - СПб. : ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с. - Режим доступа:
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>
5. Гидравлика : учебник и практикум для академического бакалавриата / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, А. Г. Коваленко, И. В. Кудинов ; под ред.

В. А. Кудинова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2014. – 386 с. – Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/bcode/381465>

6. Гусев, А. А. Гидравлика : учебник для академического бакалавриата / А. А. Гусев. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2015. – 285 с. – Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/gidravlika-teoriya-i-praktika-378039>

7. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов ; под ред. В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. – М. : Издательство Юрайт, 2016. – 308 с. – Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/teplotehnika-v-2-t-tom-1-termodinamika-i-teoriya-teploobmena-390279>

8. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 2. Энергетическое использование теплоты : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов ; под ред. В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. – М. : Издательство Юрайт, 2016. – 198 с. – Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/teplotehnika-v-2-t-tom-2-energeticheskoe-ispolzovanie-teploty-393913>

9. Круглов, Г.А. Теплотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. – СПб : Лань, 2012. – 208 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/3900>

Дополнительная литература (электронные и печатные издания)

1. Гельперин, Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие для химико-технологических специальностей вузов / Н. И. Гельперин. – М. : Химия, 1981. – 384 с. (2 экз.)
<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:679834&theme=FEFU>

2. Плановский, А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии : учебник для вузов : изд. 3-е , испр. и доп. / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – М. : Химия, 1987. – 496 с. (4 экз.)
<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:246468&theme=FEFU>

3. Романков, П. Г. Гидромеханические процессы химической технологии : изд. 3-е, перераб. / П. Г. Романков, М. И. Курочкина. – Л. : Химия, 1982. – 287 с. (3 экз.) <https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:668594&theme=FEFU>

4. Кафаров, В. В. Основы массопередачи. Системы газ-жидкость, пар-жидкость, жидкость-жидкость : учебное пособие для химико-технологических вузов / В. В. Кафаров. – М. : Высшая школа, 1962. – 656 с. (1 экз.) <https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:234798&theme=FEFU>

5. Основы проектирования химических производств : учебник для вузов / В. И. Косинцев, А. И. Михайличенко, Н. С. Крашенинникова, В. М. Сутягин, В. М. Миронов. – М. : Академкнига, 2005. – 332 с. (1 экз.)
<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:394432&theme=FEFU>

6. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учебное пособие для химико-технологических специальностей вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков ; под ред. П. Г. Романкова. - Изд. 10-е, перераб. и доп. – М. : Альянс, 2013. – 575 с. (5 экз.)
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:776761&theme=FEFU>

7. Романков, П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) [Электронный ресурс] : Учеб.пособие для вузов / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. – 3-е изд., испр. – СПб. : ХИМИЗДАТ, 2010. – 544 с. – Режим доступа:
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081826.html>

8. Бородулин, Д. М. Процессы и аппараты химической технологии [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д. М. Бородулин, В. Н. Иванец. – Кемерово : КемГУ, 2007. – 168 с. – Режим доступа:
<https://e.lanbook.com/book/4614> ; <http://www.iprbookshop.ru/14388.html>

9. Синявский, Ю.В. Сборник задач по курсу "Теплотехника" [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.В. Синявский. – СПб : ГИОРД, 2010. – 128 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4907>

10. Зеленцов, Д. В. Техническая термодинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д. В. Зеленцов. – Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. – 140 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20525.html>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://www.chem.msu.su/rus/weldept.html> – Сайт Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова;
2. <http://www.pxy.ru/> – Сайт Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева;
3. http://www.unn.ru/chem/ism/library-edu_lit.php – Библиотека «Учебные материалы» НГУ.
4. <http://e.lanbook.com/> – Электронно-библиотечная система;
5. <http://www.studentlibrary.ru/> – Студенческая электронная библиотека;
6. <http://znanium.com/> – Электронно-библиотечная система;
7. <http://www.nelbook.ru/> – Электронная библиотека;

VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

В рамках данной дисциплины предусмотрено 288 часа самостоятельной работы, которая необходима при проработке материала лекции; изучении тем

для самостоятельного изучения; подготовке к лабораторным работам, практическим занятиям и экзаменам.

В самостоятельную работу по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» включены следующие виды деятельности:

- поиск информации по темам для самостоятельного изучения;
- оформление отчетов по лабораторным работам;
- подготовка ответов на теоретические вопросы к лабораторным работам;
- решение расчетно-графических задач;
- подготовка к текущему и промежуточному контролю.

В 4 семестре в рамках самостоятельной работы (108 час) рассматривается теоретический материал по теме «Теплотехника и техническая термодинамика», который может быть пройден в рамках онлайн курса «Теплотехника», разработанного ФГАОУ «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (<https://openedu.ru/course/urfu/TEPL/>). Опорный план приведен в приложении 1.

Для закрепления навыков и знаний, полученных на практических занятиях, студента в течении курса предусмотрена устная защита отчетов о проведении лабораторных работ и ответов на теоретические вопросы к лабораторным работам. Для подготовки отчетов необходимо использовать все полученные знания и умения, полученные в курсе «Процессы и аппараты химической технологии».

В течение трех учебных семестров на выполнение подготовки к контрольным работам по основным разделам и к итоговым контрольным работам отведено 72 часа в рамках самостоятельной подготовки к экзамену по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии», что позволяет наиболее эффективно обобщить и закрепить полученные навыки и знания по данному курсу и подготовиться к промежуточной аттестации.

Студенту следует тщательно планировать и организовывать время, необходимое для изучения дисциплины. Недопустимо откладывать ознакомление с теоретической частью, подготовку отчетов к лабораторным работам и выполнение расчетно-графических задач, поскольку это неминуемо приведет к снижению качества освоения материала, оформления отчетов и работы на занятиях. Все виды работ по дисциплине рекомендуется выполнять по календарному плану, приведенному в приложении 1.

Приступить к освоению дисциплины следует в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы учебной дисциплины (РПУД). Обратит внимание, что кроме ау-

диторной работы (лекции, практические занятия) планируется самостоятельная работа, результаты которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все аудиторские и самостоятельные задания необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с планом-графиком.

Использование материалов учебно-методического комплекса

Для успешного освоения дисциплины следует использовать содержание разделов учебно-методического комплекса дисциплины (УМКД): рабочей программы, лекционного курса, материалов практических занятий, методических рекомендаций по организации самостоятельной работы студентов, глоссария, перечня учебной литературы и других источников информации, контрольно-измерительных материалов (тесты, опросы, вопросы зачета), а также дополнительных материалов.

Рекомендации по подготовке к лекционным и практическим занятиям

Успешное освоение дисциплины предполагает активное участие студентов на всех этапах ее освоения. Изучение дисциплины следует начинать с проработки содержания рабочей программы и методических указаний.

При изучении и проработке теоретического материала студентам необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- перед очередной лекцией просмотреть конспект предыдущего занятия;
- при самостоятельном изучении темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПУД литературные источники. В случае, если возникли затруднения, обратиться к преподавателю в часы консультаций или на практическом занятии.

Основной целью проведения практических занятий является систематизация и закрепление знаний по изучаемой теме, формирование умений самостоятельно работать с дополнительными источниками информации, аргументировано высказывать и отстаивать свою точку зрения.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо:

- повторить теоретический материал по заданной теме;
- продумать формулировки вопросов, выносимых на обсуждение;
- использовать не только конспект лекций, но и дополнительные источники литературы, рекомендованные преподавателем.

При подготовке к текущему контролю использовать материалы РПУД (Приложение 2. Фонд оценочных средств).

При подготовке к промежуточной аттестации, использовать материалы РПУД (Приложение 2. Фонд оценочных средств).

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Проведение лекций с использованием мультимедийной аппаратуры для демонстрации иллюстративного материала.

Лабораторные занятия проводятся в специализированной лаборатории по процессам и аппаратам химической технологии, которая укомплектована необходимым набором оборудования:

Аквадистиллятор электрический, аптечный ДЭ-4-02 "ЭМО" 2007 г

Весы электронные, лабораторные MW-2 CAS, Explorer Pro EP 4102C

Встряхивающее устройство с подогревом ЛАБ-ПУ-01 (8 кг)

Вибрационная мельница ВМ-4

Вибрационный грохот Analisette 3 Fritsch Germany

Колбонагреватели LAB-FH-1000Euro, LAB-FH-500Euro, ЛАБ-КН-250LOIP

Магнитная мешалка с подогревом до 300 °С MR-3001Heidolph Германия

Мельница ИКА для тонкого измельчения MF 10

Набор сит для грунта d=200 ммс поддоном и крышкой

Термостаты жидкостные ЛАБ-ТЖ-ТС-01/8-100, ЛАБ-ТЖ-ТС-01/16-150

Электроплитка с регулятором- ЭПШ-1-0,8/220 4 Россия, 2009 г-2 шт.

Лиофильная сушилка (настольная), модель FreeZone 4.5 Cascade

Фотоэлектроколориметр КФК-3

Цифровой лабораторный измеритель плотности жидкостей ВИП-2

Сушильный шкаф TR 120

Универсальная перегонная установка IC18DV/92 (Didacta, Италия)

Система лабораторного оборудования для изучения принципов теплообмена T60D (Didacta, Италия)



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

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**
по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии»
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
профиль «Технологии нефтеперерабатывающих и химических производств»
Форма подготовки очная

Владивосток
2017

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

3 семестр

п/п	Дата/сроки выполнения, неделя	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение, час	Форма контроля
1.	1-4	Изучение теоретического материала Подготовка к практическому занятию № 1. Подготовка к выполнению лабораторной работы № 1	6	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы.
2.	5-8	Изучение теоретического материала Подготовка к практическому занятию № 2 Подготовка к выполнению лабораторной работы № 2 Выполнение РГЗ №1	8	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы. Проверка РГЗ
3.	9-10	Изучение теоретического материала Подготовка к практическому занятию № 3 Выполнение РГЗ №2	8	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы. Проверка РГЗ
4.	11-14	Изучение теоретического материала Подготовка к практическому занятию № 4. Подготовка к выполнению лабораторной работы № 3	6	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы.
5.	15-18	Изучение теоретического материала Подготовка к практическому занятию № 5. Подготовка к выполнению лабораторной работы № 4 Выполнение РГЗ №3	8	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы. Проверка РГЗ
6.	15-18	Подготовка к экзамену	36	Экзамен

4 семестр

п/п	Дата/сроки выполнения, неделя	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение, час	Форма контроля
1.	1-3	Изучение теоретического материала Подготовка к практическому занятию № 6. Подготовка к выполнению лабораторной работы № 5 Выполнение РГЗ №4	6	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы. Проверка РГЗ
2.	1	Изучение теоретического материала по темам № 1-2	9	Тестирование по разделу 1 тем для самостоятельного изучения
3.	2	Изучение теоретического материала по темам № 3-4	9	Тестирование по разделу 1 тем для самостоятельного изучения
4.	3	Изучение теоретического материала по темам № 5-6	9	Тестирование по разделу 1 тем для самостоятельного изучения
5.	4-5	Изучение теоретического материала Подготовка к практическому занятию № 7. Подготовка к выполнению лабораторной работы № 6 Выполнение РГЗ №5	4	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы. Проверка РГЗ
6.	4	Изучение теоретического материала по темам № 7-8	9	Тестирование по разделу 1 тем для самостоятельного изучения
7.	5	Изучение теоретического материала по темам № 9-10	9	Тестирование по разделу 1 тем для самостоятельного изучения
8.	6-7	Изучение теоретического материала Подготовка к практическому занятию № 8.	4	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы.

9.	6	Изучение теоретического материала по темам № 11-12	9	Тестирование по разделу 2 тем для самостоятельного изучения
10.	7	Изучение теоретического материала по темам № 13-14	9	Тестирование по разделу 2 тем для самостоятельного изучения
11.	8-9	Изучение теоретического материала Подготовка к практическому занятию № 9. Подготовка к выполнению лабораторной работы № 7	4	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы.
12.	8	Изучение теоретического материала по темам № 15-16	9	Тестирование по разделу 2 тем для самостоятельного изучения
13.	9	Изучение теоретического материала по темам № 17-18	9	Тестирование по разделу 3 тем для самостоятельного изучения
14.	10-12	Изучение теоретического материала Подготовка к практическому занятию № 10. Подготовка к выполнению лабораторной работы № 8	6	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы.
15.	10	Изучение теоретического материала по темам № 19-20	9	Тестирование по разделу 3 тем для самостоятельного изучения
16.	11	Изучение теоретического материала по темам № 21-22	9	Тестирование по разделу 3 тем для самостоятельного изучения
17.	12	Изучение теоретического материала по темам № 23-24	9	Тестирование по разделу 3 тем для самостоятельного изучения

18.	13-15	Изучение теоретического материала Подготовка к практическому занятию № 11. Подготовка к выполнению лабораторной работы № 9 Выполнение РГЗ №6	6	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы. Проверка РГЗ
19.	16-18	Изучение теоретического материала Подготовка к практическому занятию № 12. Подготовка к выполнению лабораторной работы № 10 Выполнение РГЗ №7	6	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы. Проверка РГЗ

5 семестр

п/п	Дата/сроки выполнения, неделя	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение, час	Форма контроля
1.	1-3	Изучение теоретического материала Подготовка к выполнению лабораторной работы № 11	4	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы.
2.	4-6	Изучение теоретического материала Подготовка к выполнению лабораторной работы № 12	4	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы.
3.	7-9	Изучение теоретического материала Подготовка к выполнению лабораторной работы № 13	4	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы.
4.	10-12	Изучение теоретического материала Подготовка к выполнению лабораторной работы № 14 Выполнение РГЗ №8	10	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы. Проверка РГЗ
5.	13-15	Изучение теоретического материала Подготовка к выполнению лабораторной работы № 15 Выполнение РГЗ №9	10	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы. Проверка РГЗ

6.	16-18	Изучение теоретического материала Подготовка к выполнению лабораторной работы № 16	4	Опрос перед началом занятия. Прием отчета о выполнении лабораторной работы.
7.	15-18	Подготовка к экзамену	36	Экзамен

Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Большая часть учебного материала должна быть проработана студентом самостоятельно, вне аудиторных занятий. Самостоятельная работа студентов является неотъемлемой составной частью процесса обучения.

Под самостоятельной работой студента понимается часть учебной планируемой работы, которая выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, без его непосредственного участия. Самостоятельная работа направлена на усвоение системы научных и профессиональных знаний, формирование умений и навыков, приобретение опыта самостоятельной творческой деятельности.

Самостоятельная работа необходима при проработке материала лекции; изучении тем для самостоятельного изучения; подготовке к лабораторным работам, экзамену.

В самостоятельную работу по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» включены следующие виды деятельности:

- поиск информации по темам для самостоятельного изучения (например, о конструкциях и видах транспортирующих устройств);
- подготовка теоретических вопросов к практическим занятиям;
- решение расчетных задач (например, расчет кожухотрубного теплообменника);
- написание отчетов о лабораторных работах и самостоятельная проработка теоретических основ лабораторного эксперимента;
- подготовка к промежуточному и итоговому контролю.

В 4 семестре в рамках самостоятельной работы (108 час) рассматривается теоретический материал по теме «Теплотехника и техническая термодинамика», который может быть пройден в рамках онлайн курса «Теплотехника», разработанного ФГАОУ «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (<https://openedu.ru/course/urfu/TEPL/>). Опорный план приведен в приложении 1.

Для закрепления навыков и знаний, полученных на лабораторных занятиях, в течении курса предусмотрена устная защита отчетов о проведении

лабораторных работ и ответов на теоретические вопросы к лабораторным работам. Для подготовки отчетов необходимо использовать все полученные знания и умения, полученные в курсе «Процессы и аппараты химической технологии».

Также для закрепления навыков и знаний в течение всего курса предусмотрено выполнение 9 расчетно-графических задач, включающих выполнение расчетов по основным изучаемым процессам и графической части, заключающейся в построении графических зависимостей или чертежной документации к рассчитанным аппаратам.

В течение трех учебных семестров на выполнение подготовки к контрольным работам по основным разделам и к итоговой контрольной работе отведено 72 часа в рамках самостоятельной подготовки к экзамену по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии», что позволяет наиболее эффективно обобщить и закрепить полученные навыки и знания по данному курсу и подготовиться к промежуточной аттестации.

Студенту следует тщательно планировать и организовывать время, необходимое для изучения дисциплины. Недопустимо откладывать ознакомление с теоретической частью, подготовку отчетов к лабораторным работам и выполнение заданий для самостоятельной работы, поскольку это неминуемо приведет к снижению качества освоения материала, оформления отчетов, написания контрольных работ промежуточного и итогового контроля. Все виды работ по дисциплине рекомендуется выполнять по календарному плану.

Общий вклад в итоговую рейтинговую оценку различных видов самостоятельной работы неодинаков и зависит от сложности их выполнения (Приложение 2).

Методические рекомендации для изучения теоретического материала в 4 семестре

Самостоятельная работа студентов включает в себя изучение теоретических вопросов по разделам «Теплотехника», «Техническая термодинамика» и «Энергетическое оборудование», решение задач. Данный материал может быть изучен как в процессе изучения рекомендованной литературы, так и в рамках онлайн-курса «Теплотехника» ФГАОУ «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», для этих целей выделено 108 часов самостоятельной работы. Онлайн курс размещен на платформе «Открытое образование», адрес сайта: <https://openedu.ru/course/urfu/TEPL/>. Контроль самостоятельного освоения

теоретических материалов производится преподавателем на практических занятиях проверкой решения задач и контрольными по основным разделам.

Опорный план для самостоятельного изучения теоретического материала в 4 семестре

Раздел 1. Техническая термодинамика

Тема 1. Основные понятия и определения термодинамики

Предмет и метод термодинамики. Термодинамическая система.

Параметры состояния.

Давление. Виды давлений и способы их определения

Температура. Температурные шкалы. Способы перевода.

Термическое уравнение состояния

Идеальный газ. Закон Бойля-Мариотта. Закон Гей-Люссака. Закон Шарля. Закон Авогадро. Объединённый закон газового состояния. Универсальная газовая постоянная. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Газовая постоянная для заданного газа.

Тема 2. Первое начало термодинамики

Математическая запись I начала термодинамики. Классификация термодинамических систем.

Работа и теплота в термодинамике

Внутренняя энергия

Энтальпия. Полезная внешняя работа. Работа проталкивания

Теплоёмкости термодинамической системы

Внутренняя энергия и энтальпия идеального газа

Теплоёмкости идеального газа

Энтропия идеального газа

Тема 3. Термодинамические процессы идеальных газов

Расчёт термодинамических процессов. Основные уравнения.

Политропные процессы.

Частные случаи политропных процессов. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Адиабатический процесс.

Тема 4. Второе начало термодинамики

Основные определения.

Общий анализ тепловых двигателей

Принципиальная схема теплового двигателя

Термический коэффициент полезного действия

Формулировки II начала термодинамики

Работы Сади Карно

Термический КПД цикла Карно

Энтропия

Неравенство Клаузиуса. Математическое выражение II начала термодинамики

Физический смысл энтропии. Критика теории "тепловой смерти" Вселенной

Тема 5. Термодинамика фазовых переходов

Условия термодинамического равновесия двухфазной системы

Фазовый переход «жидкость – пар»

Формула Клапейрона – Клаузиуса

Параметры влажного пара

Термодинамический расчёт процессов водяного пара

Диаграмма "энтальпия - энтропия"

Тема 6. Термодинамика потока

Приближения, используемые при термодинамическом описании течения газов и паров в каналах

Массовый расход. Уравнение неразрывности

Сопло и диффузор

Расчёт течения газов и паров в каналах

Закон обращения геометрического воздействия

Анализ закона обращения геометрического воздействия. Конфигурация геометрического сопла

Особенности расчёта сопел

Учёт потерь на трение в соплах

Тема 7. Термодинамический расчет и анализ циклов газовых двигателей

Термодинамический анализ циклов тепловых двигателей

Цикл ДВС $V = \text{const}$ (Цикл Отто)

Цикл ДВС $p = \text{const}$ (Цикл Дизеля)

Цикл ДВС со смешанным подводом теплоты (Цикл Тринклера)

Турбонаддув в поршневых ДВС

Сравнение циклов поршневых двигателей

Принципиальная схема и термодинамический расчёт простейшей газотурбинной установки

Термодинамический анализ цикла ГТУ $p = \text{const}$

Учёт необратимых потерь в процессах сжатия в компрессоре и расширения в турбине

Цикл ГТУ с регенерацией тепла

Цикл ГТУ с многоступенчатыми процессами сжатия в компрессоре и расширения в турбине

Цикл газотурбинной установки с изохорным подводом тепла

Регенерация тепла в цикле ГТУ $V=\text{const}$

Основы термодинамического расчёта реактивных и ракетных двигателей

Тема 8. Циклы паросиловых установок

Цикл Карно на влажном паре. Цикл Ренкина

Цикл Ренкина на перегретом паре

Влияние параметров пара на термический КПД цикла Ренкина на перегретом паре

Термодинамический анализ цикла Ренкина на перегретом паре с учётом внутренних потерь

Тема 9. Способы повышения термического КПД цикла Ренкина

Термодинамический анализ цикла Ренкина с промежуточным перегревом пара

Термодинамический анализ регенеративного цикла Ренкина

Тема 10. Теплофикация

Термодинамические основы теплофикации

Термодинамический расчёт теплофикационного цикла с противодавлением

Термодинамический расчёт цикла паросиловой установки с отбором пара на теплофикацию

Раздел 2. Теплообмен

Тема 11. Теплообмен излучением

Природа теплового излучения

Законы излучения тел. Закон Планка. Закон смещения Вина. Закон Стефана-Больцмана. Закон косинусов Ламберта

Законы излучения реальных тел. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана

Особенности излучения газов

Методы расчета теплообмена излучением. Свойства взаимности, замкнутости, аддитивности, невогнутости.

Результирующий поток излучения в системе двух серых поверхностей

Теплообмен излучением при наличии экранов

Теплообмен излучением между двумя параллельными плоскостями, соединенными отражающей оболочкой

Теплообмен излучением между газом и окружающими его стенками

Тема 12. Конвективный и сложный теплообмен

Виды конвекции. Коэффициент теплообмена.

Математическое описание конвективного теплообмена

Числа подобия конвективного теплообмена

Теплоотдача при свободной конвекции. Расчетные зависимости конвективного теплообмена в большом объеме. Теплообмен свободной конвекцией в ограниченном объеме.

Теплоотдача при вынужденной конвекции. Вынужденный конвективный теплообмен при движении потоков в каналах. Вынужденный конвективный теплообмен при внешнем обтекании тел. Вынужденный конвективный теплообмен при обтекании одиночной трубы. Вынужденный конвективный теплообмен в пучках труб.

Сложный теплообмен

Тема 13. Стационарная теплопроводность

Основы переноса теплоты теплопроводностью.

Общее дифференциальное уравнение теплопроводности

Условия однозначности решения

Теплопроводность плоской стенки при граничных условиях первого рода

Теплопроводность цилиндрической стенки при граничных условиях первого рода

Тема 14. Нестационарная теплопроводность

Теплопроводность при нестационарном тепловом режиме

Нагрев и охлаждение тел при граничных условиях третьего рода

Тема 15. Теплопередача

Задача стационарной теплопередачи на примере полуограниченной пластины и длинного цилиндра

Теплопередача через плоскую однородную стенку при стационарном тепловом режиме

Теплопередача через плоскую многослойную стенку при стационарном тепловом режиме

Теплопередача через однородную цилиндрическую стенку при стационарном тепловом режиме

Теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку при стационарном тепловом режиме. Критический диаметр тепловой изоляции

Интенсификация теплопередачи для плоской и цилиндрической поверхности

Тема 16. Теплообменные аппараты

Схемы движения теплоносителей в теплообменных аппаратах

Классификация теплообменных аппаратов

Конструкция и тепловая работа рекуперативных теплообменников

Конструкция и тепловая работа регенеративных теплообменников

Смесительные теплообменники

Тепловые трубы

Основы теплового расчета теплообменных аппаратов

Раздел 2. Энергетическое оборудование

Тема 17. Общая классификация и характеристика твердого, жидкого и газообразного топлива

Общая классификация и характеристика твердого и газообразного топлива

Характеристика твердого и жидкого топлива

Характеристика газообразного топлива

Тема 18. Теплота сгорания топлива

Теплота сгорания топлива

Расчет теплоты сгорания топлива

Тема 19. Методика расчета горения топлива

Общие положения методики расчета горения топлива

Расчет процесса горения твердого и жидкого топлива

Определение температур горения топлива

Тема 20. Особенности сжигания органических топлив

Элементы теории горения

Особенности горения газообразного топлива

Конструкции устройств для сжигания газообразного топлива

Особенности сжигания жидкого топлива

Топливосжигающие устройства для жидкого топлива

Особенности сжигания твердого топлива

Тема 21. Тепловой баланс котла

Тепловой баланс котла

Прямой баланс парового котла

Прямой баланс водогрейного котла

Тема 22. Конструкции котельных установок

Газотрубные котлы

Водотрубные котлы

Развитие котельных агрегатов на высокие параметры пара

Водогрейные котлы

Котлы-утилизаторы за газовыми турбинами. Парогазовые установки с котлами полного горения. Парогазовые установки с котлами-утилизаторами.

Технологические котлы-утилизаторы

Тема 23. Компрессоры

Охлаждение в компрессоре

Винтовые компрессоры

Осевые компрессоры

Тема 24. Энергосбережение

Энергосбережение в котельных

Снижение потерь теплоты с уходящими газами

Потери теплоты с химической неполнотой сгорания

Потери теплоты в окружающую среду

Работа котельной установки в режиме пониженного давления

Температура питательной воды

Возврат конденсата в котельную

Использование тепловой энергии непрерывной продувки котлов

Режимы работы котельного оборудования

Перевод паровых котлов на водогрейный режим

Оптимизация работы насосного и тягодутьевого оборудования

Тепловые потери трубопроводов

Система инфракрасного обогрева производственных помещений

Список рекомендованной литературы для самостоятельного изучения

1. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов ; под ред. В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. – М. : Издательство Юрайт, 2016. – 308 с. – Режим доступа: <https://www.biblionline.ru/book/teplotehnika-v-2-t-tom-1-termodinamika-i-teoriya-teploobmena-390279>
2. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 2. Энергетическое использование теплоты : учебник для бакалавриата и магистратуры / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов ; под ред. В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. – М. : Издательство Юрайт, 2016. – 198 с. – Режим доступа: <https://www.biblionline.ru/book/teplotehnika-v-2-t-tom-2-energeticheskoe-ispolzovanie-teploty-393913>
3. Круглов, Г.А. Теплотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. – СПб : Лань, 2012. – 208 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/3900>
4. Синявский, Ю.В. Сборник задач по курсу "Теплотехника" [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.В. Синявский. – СПб : ГИОРД, 2010. – 128 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4907>
5. Зеленцов, Д. В. Техническая термодинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д. В. Зеленцов. – Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. – 140 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20525.html>

Задачи для самостоятельного решения в 4 семестре

Тема 1: Параметры состояния рабочего тела

Цель: Изучение методик расчета параметров состояния рабочего тела

Метод: Расчетный, работа производится по вариантам индивидуально для каждого студента.

Краткие теоретические сведения

Давление – сила воздействия молекул рабочего тела (газа, жидкости) F на единицу поверхности S

$$P = \frac{F}{S}, \left[\frac{Н}{м^2} = Па \right]. \quad)$$

Внесистемные размерности (не в СИ), широко применяемые в практике:

$$1 \text{ ат (техническая)} = 1 \text{ кг/см}^2 = 98,1 \text{ кПа}, \quad)$$

$$1 \text{ атб (барометрическая)} = 101,32 \text{ кПа} = 760 \text{ мм рт. ст.} = \\ = 1,033 \text{ кг/см}^2 = 1,033 \text{ ат}, \quad)$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133,32 \text{ Па}, \quad)$$

$$1 \text{ бар} = 105 \text{ Па} = 100 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа}. \quad)$$

Различают следующие виды давлений:

- барометрическое – давление атмосферы над уровнем моря (окружающей среды), обычно измеряется в мм рт. ст., нормальное давление $P_б = 760 \text{ мм рт. ст.} = 101,32 \text{ кПа}$ – это давление атмосферы (кПа) от высоты h (км) над уровнем Земли изменяется по следующей зависимости ($e=2,71$):

$$P_{бар} = 105 e^{-0,14 h}, \quad)$$

- избыточное $P_{из}$ – давление рабочего тела выше барометрического;

- абсолютное $P_{аб}$ – суммарное давление барометрического и избыточного, (или вакуумметрического), выше абсолютного вакуума;

- вакуумметрическое $P_{вак}$ – разность давлений абсолютного и барометрического, имеет отрицательное значение:

$$P_{вак} = P_{аб} - P_{бар}, \quad)$$

Абсолютное давление в сосуде рассчитывается:

- при давлении выше атмосферного

$$P'_{аб} = P_{из} + P_{бар}, \quad)$$

- при давлении ниже атмосферного

$$P''_{аб} = P_{бар} + P_{вак}, \quad)$$

С повышением глубины погружения в водной среде повышается давление. Избыточное давление на глубине h (м) рассчитывается по следующей зависимости (Па)

$$P_{из} = \rho g h, \quad)$$

где ρ – плотность воды, кг/м^3 ;

g – ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$).

Приблизительно это давление можно рассчитывать по зависимости:

$$P_{из} = 10^4 h, \quad)$$

т. е. на каждые 10 м глубины давление повышается на $100 \text{ кПа} = 1 \text{ ат}$.

Температура – показатель нагретости тела. При этом различают термодинамическую (абсолютную) температуру, измеряемую в [К], также используются другие температурные шкалы, широко применяемые в практике: Цельсия [$^{\circ}\text{C}$], Фаренгейта [$^{\circ}\text{F}$]. Формулы пересчета различных температурных шкал имеют вид:

$$T [^{\circ}\text{C}] = 0,555 (T [^{\circ}\text{F}] - 32) = (T [\text{K}] - 273). \quad)$$

Температура атмосферного воздуха (К) измеряется по высоте (км) в диапазоне от 0 до 50 км по следующему закону:

$$T = -0,0028h^3 + 0,314h^2 - 8,9h + 288. \quad)$$

Плотность рабочего тела – величина, определяемая отношением массы вещества m (кг) к его объему V (м^3):

$$\rho = \frac{m}{V}, \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]. \quad)$$

Обратная величина называется удельным объемом:

$$v = \frac{1}{\rho}, \left[\frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right] \quad)$$

Задача № 1.1

Рассчитать избыточное давления в морской воде на глубине (м):

- а) $h = (500 + 100 \cdot n)$;
- б) $h = (2000 + 200 \cdot n)$;
- в) $h = (1000 + 150 \cdot n)$;

по точной (1.10) и приближенной (1.11) формулам, сравнить данные. Рассчитать абсолютное давление для результатов по точной формуле. Результаты расчетов привести в различных размерностях: ат ($\text{кгс}/\text{см}^2$), кПа (МПа), бар. Плотность морской воды $\rho = 1035 \text{ кг}/\text{м}^3$, барометрическое давление $P_{\text{бар}} = 760 \text{ мм рт. ст.}$

Рекомендации: Избыточное давление рассчитывается по зависимостям (1.10) и (1.11), абсолютное давление – по зависимости (1.8), размерности пересчитываются по (1.2-1.5).

Задача № 1.2

Рассчитать избыточное давление, (давление, которое надо подать в салон) для самолета, летящего на высоте h (м), если абсолютное давление в салоне самолета $P_{\text{аб}}$ надо поддерживать на уровне:

- а) $P_{\text{аб}} = 740 \text{ мм рт.ст.}; h = (500 + 200 \cdot n)$;
- б) $P_{\text{аб}} = 770 \text{ мм рт.ст.}, h = (4000 + 200 \cdot n)$;
- в) $P_{\text{аб}} = 790 \text{ мм рт.ст.}; h = (2000 + 150 \cdot n)$.

Результаты расчетов привести в различных размерностях: ат ($\text{кгс}/\text{см}^2$), кПа (МПа), бар.

Рекомендации: Расчет давлений произвести по зависимостям (1.6), (1.8), размерности пересчитываются по зависимостям (1.2-1.5).

Задача № 1.3

Рассчитать температуру воздуха в атмосфере на высоте (м):

- а) $(500 + 200 \cdot n)$ и $(7000 + 300 \cdot n)$;
- б) $(4000 + 200 \cdot n)$ и $(12000 + 300 \cdot n)$;
- в) $(2000 + 150 \cdot n)$ и $(10000 + 150 \cdot n)$.

Результаты расчетов привести в различных размерностях: К, °С, °F.

Сравнить полученные результаты.

Рекомендации: Температура воздуха находится по зависимости (1.13), пересчет размерностей – по (1.12).

Задача № 1.4

Рассчитать плотность морской воды, если в 1 л воды растворено морских солей:

- а) $m_c = (10 + 1 \cdot n)$ г;
- б) $m_c = (25 + 1 \cdot n)$ г;
- в) $m_c = (35 + 2 \cdot n)$ г.

Плотность пресной воды $\rho = 1000$ кг/м³, 1 л = 1 дм³, 1 м³ = 10³ дм³.

Рекомендации: рассчитать массу солей в 1 м³ воды (кг), суммировать ее с массой пресной воды, по (1.14) найти плотность.

Задача № 1.5

Определить общую силу, которая сжимает вакуумную камеру с размерами: диаметр $d = 0,5$ м и высотой $h = 0,6$ м, если в ней необходимо поддерживать абсолютное давление $P_{аб} = (10 + 5 \cdot n)$ кПа, а барометрическое давление составляет:

- а) 725 мм рт.ст.;
- б) 810 мм рт.ст.;
- в) 760 мм рт.ст.

Рекомендации: вакуумметрическое давление (разность абсолютного внутри и барометрического снаружи) находится по (1.19), затем по (1.1) рассчитывается сила F.

Задача № 1.6

Рассчитать вакуумметрическое давление (которое необходимо откачать из сосуда), если сосуд находится в горах на высоте h , а абсолютное давление в нем необходимо поддерживать $P_{аб} = (0,1 + 0,05 \cdot n)$.

- а) $h = 1,5$ км;
- б) $h = 1,2$ км;
- в) $h = 1,8$ км.

Результаты расчетов привести в различных размерностях: ат (кгс/см²), кПа (МПа), бар.

Рекомендации: расчет барометрического давления произвести по (1.6), вакуумметрического – по (1.9).

Темы 2-3: Термодинамический процесс и законы термодинамики

Цель: Изучение методик расчета параметров термодинамических процессов

Метод: Расчетный, работа производится по вариантам индивидуально для каждого студента.

Краткие теоретические сведения

По уравнению Майера:

$$c_p - c_v = R, \quad (2.1)$$

$$R = \frac{R_\mu}{\mu}, \quad (2.2)$$

где $R_\mu = 8314$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная;
 μ – молекулярная масса, кг/моль.

Средняя теплоемкость газа (изобарная или изохорная) в диапазоне температур t_1 и t_2 определяется по зависимости:

$$c = \frac{c_1 + c_2}{2}, \quad (2.3)$$

где c_1 и c_2 – теплоемкости газа при температурах t_1 и t_2 , °С.

Таблица 2.1 – Средняя изобарная теплоемкость газов в диапазоне от $t = 0$ °С до 1500 °С (в формулах t – °С)

Газ	Массовая теплоемкость c_p , кДж/(кг·К)	Объемная теплоемкость c'_p , кДж/(м ³ ·К)
N ₂	$1,032 + 8,95 \cdot 10^{-5} \cdot t$	$1,3 + 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot t$
CO, CO ₂	$1,03 + 9,7 \cdot 10^{-5} \cdot t$	$1,29 + 1,21 \cdot 10^{-4} \cdot t$
O ₂	$0,92 + 1,07 \cdot 10^{-4} \cdot t$	$1,31 + 1,58 \cdot 10^{-4} \cdot t$
Воздух	$0,99 + 9,3 \cdot 10^{-5} \cdot t$	$1,29 + 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot t$

Универсальное уравнение состояния газа:

$$p \cdot v = \frac{R_\mu \cdot T}{\mu}. \quad (2.4)$$

Объемная доля газовой смеси определяется:

$$r_i = \frac{v_i}{v_{см}} \quad (2.5)$$

Молекулярная масса и теплоемкость смеси определяются по

$$\mu_{см} = \mu_1 \cdot r_1 + \mu_2 \cdot r_2 + \dots + \mu_n \cdot r_n = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot r_i \quad (2.6)$$

$$c_{см} = c_1 \cdot r_1 + c_2 \cdot r_2 + \dots + c_n \cdot r_n = \sum_{i=1}^n c_i \cdot r_i \quad (2.7)$$

Внутренняя энергия – функция состояния системы тел, представляющая собой совокупность всех видов энергии, заключенных в данной системе тел (кинетическая и потенциальная энергия молекул, колебательное движение молекул), с повышением температуры T и давления P , а также с понижением удельного объема внутренняя энергия ΔU повышается.

При изохорной теплоемкости ($\text{Дж/кг}\cdot\text{К}$) $c_v = \text{const}$, тогда внутренняя энергия рассчитывается (Дж/кг):

$$\Delta U = c_v (T_2 - T_1) = c_v \Delta T \quad (2.8)$$

Энтальпия – функция состояния термодинамической системы, равная сумме внутренней энергии и произведения удельного объема на давление:

$$h = U + P \cdot V$$

Энтальпия идеального газа зависит только от температуры. Изменение энтальпии рассчитывается по изобарной теплоемкости по зависимости (кДж/кг):

$$\Delta h = h_2 - h_1 = c_p \cdot \Delta T = c_p \Delta t \quad (2.9)$$

где c_p – изобарная теплоемкость, $\text{кДж/кг}\cdot\text{К}$;

$\Delta T = \Delta t$ – изменение абсолютной (К) и обычной ($^{\circ}\text{C}$) температуры.

Теплоемкость может находиться по таблицам или рассчитываться по зависимости (кДж/кг):

$$h_i = c_p \cdot t_i, \quad (2.10)$$

где t – температура, $^{\circ}\text{C}$.

Изменение энтропии газа рассчитывается по зависимости ($\text{кДж/кг}\cdot\text{К}$):

$$\Delta S_{1-2} = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}, \quad (2.11)$$

где P_1, P_2 – давления (Па) при температурах T_1 и T_2 (К),

v_2, v_1 – удельные объемы газа, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Первый закон термодинамики:

$$q = \Delta U + l = \Delta h + l', \quad (2.12)$$

где q – подведенная теплота, кДж/кг ;

$\Delta U, \Delta h$ – изменение внутренней энергии или энтальпии, кДж/кг ;

l, l' – механическая работа изменения объема и работа изменения давления (потока газов), кДж/кг .

Полная теплота для m (кг) массы тела находится из:

$$Q = m \cdot q, \text{ кДж.} \quad (2.13)$$

Тепловая мощность находится из зависимости:

$$W = \frac{Q}{\tau} [\text{кДж/с} = \text{кВт}] \quad (2.14)$$

Задача № 2.1.

Определить изохорную массовую c_v теплоемкость газа при температуре $t = (100 + 10 \cdot n) \text{ }^\circ\text{C}$:

- а) азота;
- б) окиси углерода;
- в) двуокиси углерода.

Рекомендации: изобарная теплоемкость определяется из табл. 2.1, газовая постоянная этого газа R определяется из (2.3), а изохорная теплоемкость из (2.2); атомные массы азота $m_a=14$ кг/кмоль, углерода $m_a=12$ кг/кмоль, кислорода $m_a=16$ кг/кмоль.

Задача № 2.2

Найти среднюю массовую изохорную теплоемкость c_v для воздуха в интервале температур от:

- а) $t_1=400 \text{ }^\circ\text{C}$;
- б) $t_1=500 \text{ }^\circ\text{C}$;
- в) $t_1=600 \text{ }^\circ\text{C}$

до $t_2=(800+10 \cdot n) \text{ }^\circ\text{C}$, объемный состав воздуха: кислород – 21 %, азот – 78 %, углекислый газ – 3 % .

Рекомендации: аналогично задаче № 2.1 рассчитать массовые изобарные теплоемкости для каждого газа при температурах t_1 и t_2 , найти среднюю теплоемкость. Рассчитать объемные доли каждого газа (2.5), найти теплоемкость (2.7) и молекулярную массу (2.6) смеси, затем по (2.1) и (2.2) рассчитывается массовая изохорная теплоемкость, по (2.4) находится ее удельный объем и по (1.14) плотность.

Задача № 2.3

Объемный состав продуктов сгорания топлива $V_{\text{CO}_2}=(10+1 \cdot n) \%$; $V_{\text{O}_2}=5 \%$, V_{N_2} - остальное, %. Определить удельный объем, плотность и объемную изобарную теплоемкость этой смеси газов при температуре:

- а) $600 \text{ }^\circ\text{C}$;
- б) $800 \text{ }^\circ\text{C}$;
- в) $700 \text{ }^\circ\text{C}$

и давлении 750 мм рт. ст.

Рекомендации: объемная доля каждой составляющей газа определяется по (2.12), здесь $v_{\text{см}}=100 \%$, молекулярная масса и теплоемкость смеси определяется по (2.13) и (2.14), удельный объем определяется по (2.8), плотность – по (1.14).

Задача № 2.4

В двух баллонах объемом $V=40$ л каждый содержатся смеси газов: азота с двуокисью углерода (в одном) и азота с кислородом (в другом), объемное

содержание азота $V_{\text{CO}_2}=(10+5\cdot n)$ %. Определить, во сколько масса одной смеси больше другой, если в обоих баллонах установлены следующие параметры:

- а) $60\text{ }^\circ\text{C}$; $P=80$ ат;
- б) $80\text{ }^\circ\text{C}$; $P=120$ ат;
- в) $100\text{ }^\circ\text{C}$; $P=150$ ат.

Рекомендации: определить объемные доли (2.5) и молекулярные массы (2.6) смесей, из (2.4) найти удельные объемы и массы смесей газов.

Задача № 2.5

Найти изменение массовой внутренней энергии и энтальпии 4 кг кислорода, если его температура изменяется с t_1

- а) $50\text{ }^\circ\text{C}$;
- б) $70\text{ }^\circ\text{C}$;
- в) $90\text{ }^\circ\text{C}$

до температуры $t_2=(300+10\cdot n)\text{ }^\circ\text{C}$. Учесть зависимости теплоемкости от температуры.

Рекомендации: аналогично задаче № 2.1 находится изохорная массовая теплоемкость кислорода, по зависимостям (2.1) и (2.5) находятся удельные внутренняя энергия и энтальпия газа, затем эти же параметры находятся для полной массы газа.

Задача № 2.6

В сосуд с 5-ю литрами воды при температуре $t_1 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ помещен электрический нагреватель с мощностью $W=(500+10\cdot n)$ Вт.

Определить, сколько времени потребуется для нагрева воды до t_2

- а) $100\text{ }^\circ\text{C}$;
- б) $150\text{ }^\circ\text{C}$;
- в) $170\text{ }^\circ\text{C}$

Потерями теплоты в окружающую среду пренебречь. Изобарная теплоемкость воды $c_p = 4,19$ кДж/(кг·К), плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³, $1\text{ м}^3 = 10^3$ л.

Рекомендации: использовать зависимости (2.9-2.11), а также (2.5), считать, что $l=l'=0$.

Задача № 2.7

Определить количество произведенной работы рабочим телом – насыщенным паром массой 2 кг, если к нему подвели теплоту $Q = (5600 + 10\cdot n)$ кДж и при этом параметры пара после производства работы имеют значение:

- а) $t_2 = 120\text{ }^\circ\text{C}$;
- б) $t_2 = 100\text{ }^\circ\text{C}$;
- в) $t_2 = 130\text{ }^\circ\text{C}$.

Температура воды перед нагревом $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, ее теплоемкость $c_p' = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

Рекомендации: работа определяется по зависимости (2.9), удельная теплота находится из (2.10), изменение энтальпии Δh находится по (2.5) как разница энтальпий пара при температуре t_2 (находится по табл. 5.1) и энтальпии воды при температуре t_1 , находится по (2.6).

Задача № 2.8

Найти изменение энтропии ΔS азота, если с начальных параметров температуры $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и удельного объема

а) $v_1 = 0,2 \text{ м}^3/\text{кг}$;

б) $v_1 = 0,5 \text{ м}^3/\text{кг}$;

в) $v_1 = 0,7 \text{ м}^3/\text{кг}$

произошло изменение температуры до $t_2 = (120 + 20 \cdot n)$, $^\circ\text{C}$ и удельного объема $v_2 = 0,05 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Рекомендации: изобарные теплоемкости рассчитать по табл. 2.1, изменение энтропии – по (2.7).

Тема 4: Термодинамические процессы

Цель: Изучение методик расчета процессов изменения состояния идеального газа.

Метод: Расчетный, работа производится по вариантам индивидуально для каждого студента.

Краткие теоретические сведения

Основные процессы изменения состояния идеального газа:

- изохорный ($v = \text{const}$);
- изобарный ($p = \text{const}$);
- изотермический ($T = \text{const}$);
- адиабатный ($q = \text{const}$).

Характеристики этих процессов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 Характеристики процессов изменения состояния

	Процессы				№ формулы
	изохорный	изобарный	изотермический	адиабатный	
Уравнение процесса	$\frac{P}{T} = \text{const}$	$\frac{v}{T} = \text{const}$	$P \cdot v = \text{const}$	$P \cdot v^\gamma = \text{const}$	4.1
Теплоемкость кДж/(кг·K)	c_v	$c_p = c_v + R$	∞	0	4.2
Изменение внутренней энергии, ΔU , кДж/кг	$c_v(T_2 - T_1)$	$c_v(T_2 - T_1)$	0	$c_v(T_2 - T_1)$	4.3

Изменение энтальпии, Δh , кДж/кг	$c_p(T_2 - T_1)$	$c_p(T_2 - T_1)$	0	$c_p(T_2 - T_1)$	4.4
Количество теплоты, q_{1-2} , кДж/кг	$c_v(T_2 - T_1)$	$c_v(T_2 - T_1)$	$RT \ln \frac{v_2}{v_1}$	0	4.5
Работа изменения объема l_{1-2} , кДж/кг	0	$P(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1)$	$RT \ln \frac{v_2}{v_1}$	$\frac{1}{\gamma - 1}(P_1 v_1 - P_2 v_2)$	4.6

Уравнение состояния идеального газа:

$$P \cdot v = \frac{R_{\mu} T}{\mu} \quad (4.7)$$

Плотность газа

$$\rho = 1/v, \text{ кг/м}^3, \quad (4.8)$$

масса газа

$$m = \rho V, \text{ кг}, \quad (4.9)$$

где V – объем среды, м^3 .

$$Q = m \cdot q, \text{ кДж}. \quad (4.10)$$

Задача № 4.1

В закрытом сосуде емкостью $V=300$ л содержится азот при температуре $t_1 = (20 + 10 \cdot n) \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении

- а) $P_1 = 0,8$ МПа;
- б) $P_1 = 1,2$ МПа;
- в) $P_1 = 1,5$ МПа.

Определить давление, плотность и массу газа после охлаждения до $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рекомендации: для определения давления использовать соответствующее уравнение процесса (4.1, табл. 4.1), для определения плотности использовать уравнение состояния (4.7) и уравнение (4.8), $1 \text{ м}^3 = 103$ л.

Задача № 4.2

В газовом баллоне емкостью $V=40$ л содержится углекислый газ при температуре $t_1 = (20 + 1,0 \cdot n) \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении

- а) $P_1 = 8$ МПа;
- б) $P_1 = 12$ МПа;
- в) $P_1 = 15$ МПа.

Определить массу и объем газа, если его выпустить в атмосферу при температуре $15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рекомендации: по уравнению состояния (4.7) находятся удельные объемы газа для начальных (в баллоне) и конечных (в атмосфере) параметров, плотность находится по (4.8), масса по (4.9) по начальным параметрам, объем

газа в атмосфере – по (4.9) по конечным параметрам (при условии, что $m=\text{const}$).

Задача № 4.3

Сосуд емкостью $V = 40$ литров содержит углекислый газ при давлении

а) $P_1 = 0,5$ МПа;

б) $P_1 = 0,8$ МПа;

в) $P_1 = 1,0$ МПа.

и температуре $t_1=30$ °С. Определить количество теплоты, которое необходимо отдать этому газу и температуру t_2 , при которых давление повысилось до $P_2 = (1,4+0,1 \cdot n)$, МПа. Теплоемкость считать постоянной.

Рекомендации: для определения необходимого значения температуры использовать соответствующее уравнение процесса (4.1, табл. 4.1), плотность ρ_1 определить по удельному объему $v_1=1/\rho_1$, который найти по уравнению состояния (4.7), массу газа найти через плотность и объем сосуда $m=\rho_1 \cdot V$. Необходимая теплота находится по (4.5 и 4.10), где изохорная теплоемкость находится из зависимости (2.2) и табл. 2.1.

Задача № 4.4

Определить давление $P_1=P_2$, плотности ρ_1, ρ_2 и объем V_2 углекислого газа массой $m = 3$ кг, находящегося в баллоне объемом:

а) $V_1 = 1,5$ м³;

б) $V_1 = 2,5$ м³;

в) $V_1 = 3,5$ МПа.

если его температура увеличилась с $t_1 = 0$ °С до $t_2 = (50+10 \cdot n)$.

Рекомендации: плотность ρ_1 находятся заданным значениям m и V_1 , ρ_2 - по уравнениям процесса (4.1, 4.8), давление – по уравнению состояния (4.7), объем V_2 по (4.9). Молекулярная масса углекислого газа рассчитывается по значениям молекулярных масс его составляющих.

Задача № 4.5

Рассчитать, при какой температуре наружного воздуха в кислородном баллоне объемом 40 л возникает допустимое (критическое по прочности баллона) давление $P_2 = 240$ ат, если первоначальная температура внешнего воздуха составляет $t_1=(14+2 \cdot n)$ °С, а масса кислорода в баллоне составляет

а) $m=9$ кг;

б) $m=11$ кг;

в) $m=13$ кг.

Рекомендации: определить первоначальное давление P_1 по уравнению состояния (4.7) и затем по уравнению процесса (4.1) найти необходимую температуру.

Задача № 4.6

Определить температуру воздуха после адиабатического сжатия в компрессоре до давления $P_2=(700+100 \cdot n)$, кПа, температура и давление воздуха перед сжатием равны

а) $P_2=770$ мм рт. ст., $t_1 = 20$ °С;

б) $P_2=4$ ат, $t_1 = 60$ °С;

в) $P_2=8$ ат, $t_1 = 100$ °С.

Найти совершенную работу сжатия.

Объемный состав воздуха: кислород – 19 %, азот – 78 %, углекислый газ – 2 %.

Рекомендации: параметры состояния до и после сжатия находятся по уравнению (4.7), а также по уравнению процесса (4.1). Показатель адиабаты определяется по зависимости $\gamma = c_p/c_v$, молекулярная масса и теплоемкость воздуха определяются по (2.13) и (2.14). Работа сжатия находится по (4.6).

Тема 5: Реальные газы

Цель: Изучение методик расчета параметров реальных газов.

Метод: Расчетный, работа производится по вариантам индивидуально для каждого студента.

Краткие теоретические сведения

5.1 Водяной пар

Насыщенный водяной пар – пар, получаемый при кипении воды при постоянной температуре (температуре насыщения).

Для определения характеристик насыщенного пара используют таблицы воды и водяного пара, в которых приводятся данные в зависимости только от температуры или давления (табл. 5.1 и 5.2).

Теплота, передаваемая при нагреве воды

$$Q=m \cdot \Delta h', \text{ кДж}, \quad (5.1)$$

где энтальпия воды $\Delta h' = c_p' \cdot \Delta t$, кДж/кг.

Теплота, передаваемая при парообразовании:

$$Q = m \cdot r = \rho' V \cdot r, \text{ кДж}, \quad (5.2)$$

где m , V – масса (кг) и объем (м^3) воды;

ρ' – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

r – теплота парообразования, кДж/кг;

c_p' – средняя изобарная теплоемкость воды, кДж/(кг °К).

Тепловая мощность находится из:

$$W = \frac{Q}{\tau}, \text{ кВт}, \quad (5.3)$$

где τ – время, с.

Объемный расход среды определяется через скорость ее движения U (м/с) и площадь поперечного сечения канала S (м²):

$$G_v = U \cdot S, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (5.4)$$

Массовый расход среды находится из:

$$G_m = G_v \rho, \text{ кг/с}. \quad (5.5)$$

Таблица 5.1 – Физические свойства водяного пара на линии насыщения (по температурам)

$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$P, \text{ МПа}$	$\rho'', \text{ кг/м}^3$	$h'', \text{ кДж/кг}$	$g, \text{ кДж/кг}$	$c_p'', \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{ Вт/м}\cdot\text{K}$	$\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	Pr
20	0,023	0,017	2537	2453	1,84	1,1	70	1,06
40	0,0073	0,051	2573	2406	1,88	1,5	56	1,06
60	0,02	0,13	2609	2358	1,9	1,8	40	1,065
80	0,047	0,29	2643	2308	2,0	2,1	30,4	1,07
100	0,1013	0,598	2675,9	2256,8	2,135	2,372	20,02	1,08
120	0,198	1,121	2706,5	2202,8	2,206	2,593	11,46	1,09
140	0,36	1,966	2734,1	2145,0	2,315	2,791	6,89	1,12
160	0,62	3,258	2758,0	2082,6	2,479	3,012	4,39	1,18
180	1,0	5,157	2778,5	2015,2	2,709	3,268	2,93	1,25
200	1,56	7,862	2793,1	1940,7	3,023	3,547	2,03	1,36
220	2,32	11,62	2801,5	1857,8	3,408	3,896	1,45	1,47
240	3,35	16,76	2803,2	1765,6	3,881	4,291	1,06	1,61
260	4,69	23,72	2796,5	1661,4	4,468	4,803	0,794	1,75
280	6,42	33,19	2779,7	1542,9	5,234	5,489	0,600	1,90
300	8,59	46,21	2749,2	1404,3	6,280	6,268	0,461	2,13
320	11,29	64,72	2700,2	1238,1	8,206	7,513	0,353	2,50
340	14,61	92,76	2621,9	1027,1	12,35	9,304	0,272	3,35
360	18,67	144,0	2481,2	719,7	23,03	12,79	0,202	5,23

Таблица 5.2 – Физические свойства воды и водяного пара на линии насыщения (по давлениям)

$P, \text{ МПа}$	$t_{н}, \text{ }^\circ\text{C}$	$\nu', \text{ м}^3/\text{кг}$	$\nu'', \text{ м}^3/\text{кг}$	$h'', \text{ кДж/кг}$	$g, \text{ кДж/кг}$	$c_p'', \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$s'', \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$
0,1	99,62	0,0010432	1,696	2674,9	2257,5	2,135	7,3579
0,2	120,23	0,0010606	0,8860	2706,8	2202,0	2,2	7,1279
0,4	143,62	0,0010836	0,4623	2738,7	2134,1	2,3	6,8969
0,6	158,84	0,0011009	0,3156	2756,9	2086,3	2,48	6,7609
0,8	170,41	0,0011149	0,2403	2769,0	2048,1	2,6	6,6630
1,0	179,88	0,0011273	0,1945	2777,8	2015,3	2,7	6,5867
1,2	187,95	0,0011385	0,1633	2784,6	1986,2	2,85	6,5224
1,4	195,04	0,0011488	0,1408	2789,7	1959,7	2,95	6,4699
1,6	201,36	0,0011587	0,1238	2793,5	1935,2	3,05	6,4221
1,8	207,10	0,0011678	0,1104	2796,5	1912,3	3,2	6,3794
2,0	212,37	0,0011768	0,09961	2799,2	1890,7	3,22	6,3411
2,2	217,24	0,0011851	0,09069	2800,6	1869,7	3,36	6,3056
2,4	221,77	0,0011932	0,08324	2801,8	1850,0	3,46	6,2727
2,6	226,04	0,0012011	0,07687	2602,6	1830,8	3,56	6,2407

2,8	230,04	0,0012088	0,07142	2803,1	1812,8	3,66	6,2129
3,0	233,83	0,0012164	0,06663	2803,1	1794,7	3,98	6,1859
4,0	249,2	0,00125	0,0507	2802	1719	4,2	6
5,0	262,7	0,00128	0,04	2795	1646	4,5	5,9
6,0	274,3	0,0013	0,033	2786	1578	5	5,8
7,0	284,5	0,0013	0,028	2775	1514	5,4	5,75
8,0	293,6	0,00138	0,024	2762	1451	5,8	5,7

Задача № 5.1

Определить, во сколько раз изменится плотность ρ'' , энтальпия h'' , теплота парообразования r и изобарная теплоемкость c_p'' насыщенного пара при увеличении:

- температуры пара с $t_1 = 100$ °С до $t_2 = (100 + 20 \cdot n)$ °С;
- при увеличении давления пара с $P_1 = 100$ кПа до $P_2 = (200 \cdot n)$ кПа;
- температуры пара с $t_1 = 20$ °С до $t_2 = (100 + 20 \cdot n)$ °С.

Рекомендации: определить значения параметров при температурах t_1 и t_2 по табл. 5.1 или по P_1 и P_2 по табл. 5.2 и найти их соотношение.

Задача № 5.2

Рассчитать, во сколько раз время выкипания воды из емкости объемом $V = 2$ л при температуре насыщения $t_n = (80 + 20 \cdot n)$ больше, чем время нагрева до этой температуры от температуры $t_1 = 20$ °С. Мощность нагревателя:

- $W = 600$ Вт;
- $W = 400$ Вт;
- $W = 800$ Вт.

Рекомендации: по зависимости (5.1 и 5.2) найти теплоту, необходимую для нагрева и испарения воды, по зависимости (5.3) определить время в секундах и часах. Свойства пара определить по табл. 5.1, для воды $c_p' = 4,19$ кДж/(кг·К), $\rho' = 103$ кг/м³.

Задача № 5.3

В барабане котла находится кипящая вода при давлении $P = (100 + 100 \cdot n)$ кПа. Объем барабана котла $V = 8$ м³. Объем кипящей воды в барабане составляет:

- 20 %;
- 40 %;
- 60 %.

Определить массы насыщенного сухого пара и воды в барабане котла.

Рекомендации: определить объемы воды и пара в барабане котла, по табл. 5.2 определить удельные объемы и рассчитать массы пара и воды, использовать зависимости (4.8-4.9).

Задача № 5.4

По трубопроводу диаметром $d = 0,5$ м движется насыщенный водяной пар при температуре $t = (80+20 \cdot n)$ °С. Определить скорость его движения, если его расход

- а) $G_m = 8$ кг/с;
- б) $G_m = 6$ кг/с;
- в) $G_m = 10$ кг/с.

Рекомендации: по табл. 5.1 находится плотность пара, по зависимости (5.5) находится объемный расход и по (5.4) определяется скорость пара.

5.2. Влажный воздух

В воздухе находится влага в виде водяного пара. В воздухе количество влаги определяют по относительному влагосодержанию с помощью прибора психрометра:

$$\phi = \frac{d_m}{d_{\max}}, \% \quad (5.6)$$

где d_m – имеющееся в воздухе влагосодержание, г/кг;
 d_{\max} – максимальное влагосодержание, г/кг.

Максимальное влагосодержание зависит от температуры и является справочной величиной (табл. 5.3). В связи с этим относительное влагосодержание также зависит от температуры. С ее увеличением d_{\max} увеличивается, а ϕ уменьшается.

Таблица 5.3 – Максимальное влагосодержание воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	10	20	30	40	50	60	70	80
$d_{\max},$ г/кг	8	16	30	48	80	160	270	380

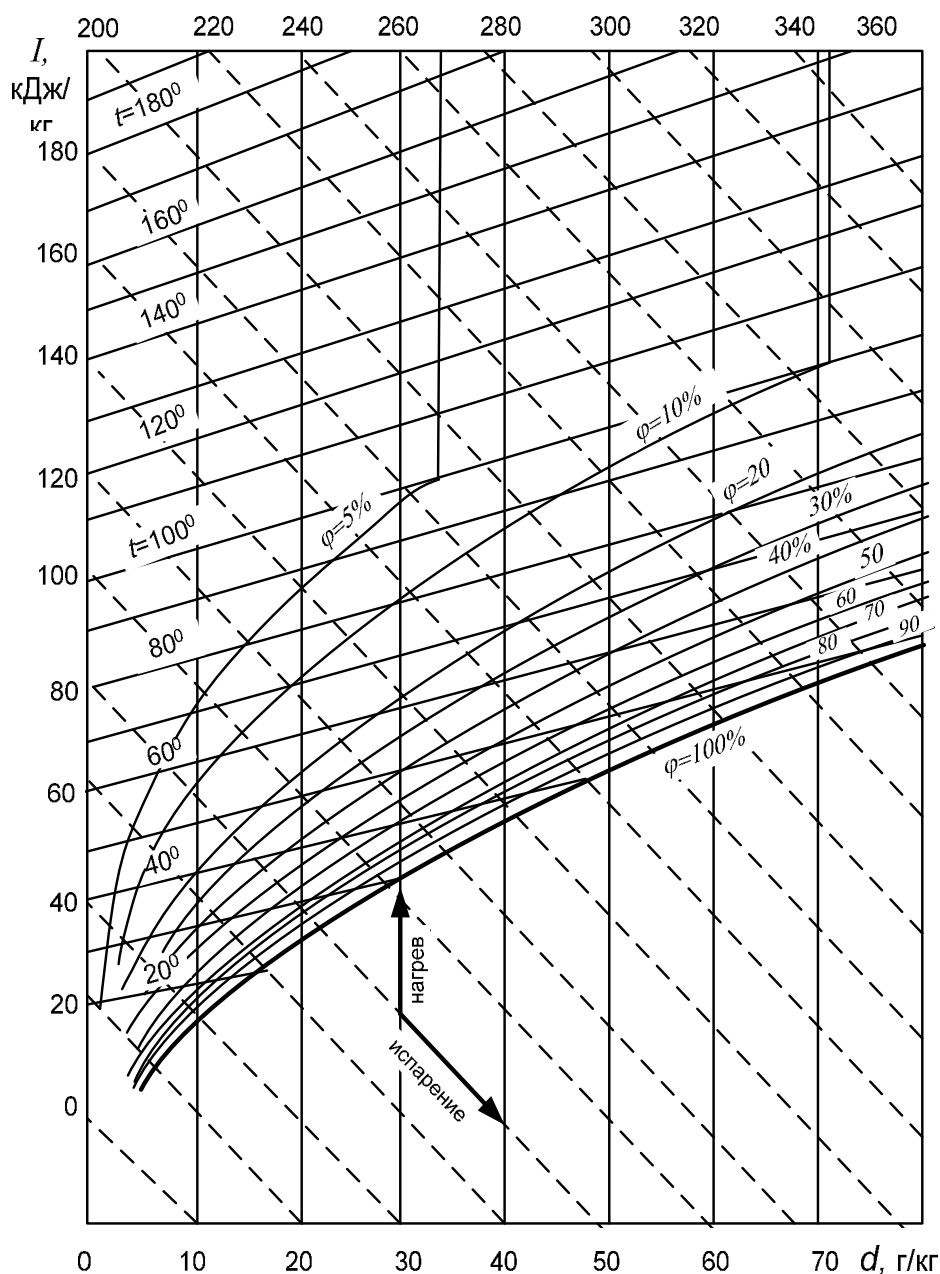


Рис. 5.2. Диаграмма влажного воздуха

Плотность влажного воздуха определяется по зависимости:

$$\rho_{\text{вл}} = \rho_{\text{в}} + \rho_{\text{п}} = \frac{(P_{\text{б}} - P_{\text{н}})}{R_{\text{в}} T_{\text{в}}} + \frac{\phi}{100 \cdot v''} \quad (5.7)$$

Значения $P_{\text{н}}$ (кПа) и v'' ($\text{м}^3/\text{кг}$) выбираются из таблиц водяного пара (табл. 5.1) по температуре воздуха $t_{\text{в}}$. Газовая постоянная воздуха определяется по зависимости:

$$R_{\text{в}} = \frac{8,3}{\mu_{\text{в}}}, \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}. \quad (5.8)$$

Молекулярная масса влажного воздуха определится по зависимости:

$$\mu = 28,95 - 10,93\phi \frac{P_{\text{н}}}{100 \cdot P_{\text{б}}}, \quad (5.9)$$

где P_6 – барометрическое давление (кПа).

Объемное абсолютное влагосодержание можно найти

$$d_v = d_m \cdot \rho_{вл}, \quad (5.9)$$

Задача № 5.5

Определить массу влаги, содержащейся в виде водяного пара в единице объема воздуха при температуре:

а) $t = (20 + 5 \cdot n)$ и относительной влажности $\phi = 80 \%$;

б) $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности $\phi = (20 + 5 \cdot n) \%$.

Рекомендации: по табл. 5.3 для заданной температуры определить d_{\max} и по зависимости (5.6) найти d_m .

Задача № 5.6

Относительная влажность исходного воздуха составляет $\phi_1 = 50 \%$ при температуре $t_1 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить массу влаги, выделившейся из 4 кг воздуха при охлаждении его до температуры:

а) $t_2 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$;

б) $t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

и относительную влажность воздуха ϕ_3 при последующем нагреве его до температуры $t_3 = (20 + 5 \cdot n)$.

Рекомендации: по диаграмме влажного воздуха (рис. 5.2) определить абсолютное влагосодержание d_m при температурах t_1 и относительной влажности ϕ_1 . По табл. 5.3 найти максимальное влагосодержание $d_{\max 2}$ и $d_{\max 3}$ при t_2 и t_3 , рассчитать массу влаги, выделившейся из воздуха Δd . По зависимости (5.6) найти относительную влажность воздуха ϕ_3 . При необходимости данные из табл. 5.3 находятся как среднее между представленными данными.

Задача № 5.7

Относительная влажность исходного воздуха составляет $\phi_1 = (45 + 3 \cdot n) \%$ при температуре $t_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить массу влаги, выделившейся из 1 кг воздуха при охлаждении его до температуры:

а) $t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;

б) $t_2 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рекомендации: по диаграмме влажного воздуха (рис. 5.2) найти точку, соответствующую заданным значениям ϕ_1 и t_1 , определить абсолютное влагосодержание d_1 . Затем найти точку, соответствующую значениям температуры t_2 и относительной влажности насыщенного состояния воздуха ϕ_2 , для этой точки также найти влагосодержание d_1 . Масса выделившейся влаги находится как разность этих влагосодержаний.

Задача № 5.8

Относительная влажность воздуха составляет $\phi = (20 + 5 \cdot n) \%$ при температуре $t = (80 - 4 \cdot n) \text{ }^\circ\text{C}$.

Определить объемное абсолютное влагосодержание заданного воздуха при барометрическом давлении

а) $P_6 = 730$ мм рт. ст.;

б) $P_6 = 780$ мм рт. ст.

Рекомендации: объемное абсолютное влагосодержание воздуха найти по (5.10), плотность влажного воздуха – по (5.7), барометрическое давление перевести по (1.4).

Тема 6. Теплопроводность (6 час)

Цель: Изучение методик расчета передачи теплоты методом теплопроводности в сплошном теле.

Метод: Расчетный, работа производится по вариантам индивидуально для каждого студента.

Краткие теоретические сведения

Теплопроводность через плоскую однородную стенку описывается уравнением:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2), \text{ Вт/м}^2 \quad (6.1)$$

где q – тепловой поток, Вт/м²;

λ – теплопроводность материала стенки, выбирается из таблиц для средней температуры $t_m = 0,5(t_1 + t_2)$, Вт/м·К;

δ – толщина стенки, м;

t_1, t_2 – температуры на поверхностях стенки, °С.

Тепловой поток через плоскую многослойную стенку:

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \text{ Вт/м}^2 \quad (6.2)$$

Общая тепловая мощность тепловой потери для плоской стенки определяется по формуле:

$$W = q \cdot S, \text{ Вт} \quad (6.3)$$

где S – площадь теплообмена, м².

Через цилиндрическую однослойную стенку определяется тепловой поток удельный на единицу длины:

$$q_l = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}, \text{ Вт/м} \quad (6.4)$$

где d_1, d_2 – внутренний и наружный диаметры (м) цилиндра длиной l (м).

Аналогичный вид имеет зависимость для многослойной цилиндрической стенки:

$$q_1 = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}, \text{ Вт/м} \quad (6.5)$$

Общая тепловая мощность потери для цилиндрической стенки определяется по зависимости:

$$W = q \cdot l, \text{ Вт} \quad (6.6)$$

где l – длина цилиндрической стенки, м.

Таблица 6.1 – Коэффициент теплопроводности металлов

Материал	λ , Вт/м·К	Материал	λ , Вт/м·К
Сталь углеродистая	40-50	Дюралюминий	160-190
Хромистая сталь (X13, ...)	25-26	Латунь	120-140
Хромоникелевая сталь (X18Н9Т, ...)	15-23	Бронза	30-40

Таблица 6.2 – Коэффициент теплопроводности изоляционных материалов

Материал	λ , Вт/м·К	Материал	λ , Вт/м·К
Текстолит	0,23 – 0,24	Минеральная вата	0,07 + 0,0002 t
Асбест	0,1 + 0,0002 t	Пенопласт	0,04 – 0,06
Асботермит	0,11 + 0,00015 t	Пробка	0,04 – 0,05
Войлок	0,05 + 0,0002 t	Стекловолокно	0,04 + 0,0003 t

Упрощенная формула теплопроводности через цилиндрическую стенку, аналогичная формуле теплопроводности для плоской стенки

$$W = \frac{\lambda S_m}{\delta \phi} (t_1 - t_2), \text{ Вт} \quad (6.7)$$

где $\delta = 0,5(d_2 - d_1)$ – толщина стенки, м;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К;

$S_m = \pi d_m l$ – площадь теплообмена, м²;

$d_m = 0,5(d_1 + d_2)$ – средний диаметр цилиндрической стенки, м;

l – длина стенки, м.

Влияние кривизны стенки учитывается коэффициентом кривизны ϕ , который зависит от отношения диаметров d_2/d_1 , его значение определяется по таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Коэффициент кривизны

d_2/d_1	1	2	3	4	5	6
ϕ	1,02	1,04	1,1	1,116	1,21	1,25

Задача № 6.1

Определить потери тепловой мощности через стенку воздуховода длиной $l = 2$ м и размерами сечения $a \times b = 200 \times 300$ мм, выполненного из:

а) углеродистой стали;

б) дюралюминия

толщиной 3 мм, если температура на внутренней поверхности $t_1 = (40 + 5 \cdot n) \text{ }^\circ\text{C}$, а на внешней $t_2 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рекомендации: удельные потери определяются по зависимости (6.1), общие потери – по зависимости (6.3), коэффициент теплопроводности определяется по табл. 6.1. Площадь теплообмена – площадь воздуховода, через которую теряется тепло.

Задача № 6.2

Определить во сколько раз меньше потери тепловой мощности через стенку воздуховода по задаче № 6.1, если он снаружи покрыт тепловой изоляцией из:

а) стекловолокна;

б) войлока

с толщиной стенки $\delta = (2+2 \cdot n)$ мм. Температура снаружи изоляции равна t_2 . Найти температуру между металлической стенкой и изоляцией t_1' .

Рекомендации: потери находят по зависимостям (6.2) и (6.3). Температуру между стенками находят по зависимости (6.1) для найденного значения q . Теплопроводность изоляции находят по табл. 6.2 сначала для температуры $t_m = 0,5(t_1 + t_2)$, затем уточняют по средней температуре $t = 0,5(t_1' + t_2)$.

Задача № 6.3

Определить потери тепловой мощности через цилиндрическую стенку с внутренним диаметром $d_1 = 0,1$ м, толщиной стенки 30 мм и длиной $l = 3$ м, изготовленную из:

а) хромоникелевой стали;

б) бронзы,

если температура на внутренней поверхности $t_2 = (50 + 5 \cdot n) \text{ }^\circ\text{C}$, а на внешней поверхности $t_3 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рекомендации: удельные q_1 и общие Q потери находят по зависимостям (6.4) и (6.6), теплопроводности материалов определяются по табл. 6.1.

Задача № 6.4

Определить, во сколько раз меньше потери тепловой мощности через цилиндрическую стенку с исходными данными по задаче № 6.3, если она покрыта неметаллическим материалом:

а) снаружи – асбестом, изнутри – накипью;

б) снаружи – стекловолокном, изнутри – слой сажи.

Внутренний слой имеет толщину 4 мм, наружный $\delta = (2+2 \cdot n)$ мм. Теплопроводности накипи $\lambda = 0,2$ Вт/м·К; слоя сажи $\lambda = 0,6$ Вт/м·К. Температура внутренней поверхности $t_1 = (50+5 \cdot n) \text{ }^\circ\text{C}$, наружной поверхности $t_4 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рекомендации: удельные q_1 и общие Q потери находят по зависимостям (6.5) и (6.6), теплопроводности изоляции определяются по табл. 6.2.

Задача № 6.5

Определить теплопроводность материала толщиной $\delta_2 = 10$ мм, если разность температур на поверхностях составляет:

а) $\Delta t_2 = 20$ °С;

б) $\Delta t_2 = 30$ °С.

Исследуемый материал плотно прижат к стержню из латуни, толщина которого $\delta_1 = 20$ мм, разность температур на нем $\Delta t_1 = (10 + 2 \cdot n)$ °С.

Рекомендации: по данным, приведенным для латунного стержня, определяется тепловой поток по зависимости (6.1), затем по этой же зависимости определяется коэффициент теплопроводности для заданного материала. Теплопроводность латуни определяется из табл. 6.1.

Задача № 6.6

Рассчитать температуру внутренней стенки цилиндрической двухслойной трубы длиной $l = 0,5$ м, состоящей из:

а) стали углеродистой с $\delta_c = 10$ мм, латуни с $\delta_n = (5 + 2 \cdot n)$, мм;

б) хромистой стали с $\delta_c = 12$ мм и бронза с $\delta_6 = (3 + 3 \cdot n)$, мм,

если внутренний диаметр стальной трубы $d = 50$ мм, латунный или бронзовый слой находится снаружи.

Температура внешней поверхности равна $t_2 = 50$ °С, тепловая мощность через стенку трубы $W = 80$ кВт.

Рекомендации: температура находится из зависимости (6.5), удельный тепловой поток – из зависимости (6.6).

Задача № 6.7

Паропровод диаметром 120 мм покрыт изоляцией. Толщина слоя изоляции $\delta = (60 + 5 \cdot n)$ мм. Температура внутренней поверхности изоляции

а) $t_1 = 300$ °С

б) $t_1 = 200$ °С

и внешней поверхности изоляции $t_2 = 30$ °С. Коэффициент теплопроводности изоляции $\lambda = 1,5$ Вт/м·К.

Определить тепловые потери на 1 м длины паропровода. Расчеты произвести по точной и приближенной формулам. Сравнить результаты.

Рекомендации: рассчитать диаметры изоляции и найти тепловые потери по (6.4 и 6.6), а затем по (6.7).

Тема 7. Конвективный теплообмен

Цель: Изучение методик расчета передачи теплоты методом конвективного теплообмена между стенкой и средой.

Метод: Расчетный, работа производится по вариантам индивидуально для каждого студента.

Краткие теоретические сведения

Процесс теплообмена между поверхностью тела и средой описывается законом Ньютона-Рихмана:

$$W = \alpha \cdot (t'_{ст} - t'_{ж}) \cdot S, \quad (7.1)$$

или для теплового потока

$$q = \alpha \cdot (t'_{ст} - t'_{ж}), \quad (7.2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи [Вт/(м²·К)];

$t'_{ст}, t'_{ж}$ - температуры поверхности тела и окружающей среды, К (°С);

S – площадь теплообмена, м².

Значения коэффициента теплоотдачи приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1 – Коэффициенты теплоотдачи

Условие теплоотдачи	α , Вт/м ² ·К	Условие теплоотдачи	α , Вт/м ² ·К
Воздух при свободной конвекции	10-50	Поперечное обтекание пучков труб газом при скорости 8-15 м/с, диаметр труб 20-40 мм	60-120
Вода при свободной конвекции	500-10 ³	Продольное обтекание газом для тех же значений скорости и диаметра	25-50
Кипящая вода ($q=100-300$ кВт/м ² , $P = 1,0 - 8,0$ МПа)	(15-18)·10 ³	Продольное обтекание водой при скорости 1-2 м/с и тех же труб	(6-11)·10 ³
Конденсация пара на горизонтальных трубах	(5-10)·10 ³		

Данные по теплоотдаче обобщаются с помощью критериев подобия и критериальных уравнений.

1. Критерий подобия Рейнольдса

$$Re = \frac{U \cdot l}{\nu} \quad (7.3)$$

где U – скорость потока, м/с;

l – определяющий размер, м;

ν – кинематическая вязкость, м²/с.

Физические свойства воды и воздуха определяется по таблицам 7.2 и 7.3.

2. Критерий Грасгофа

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3 \cdot \Delta t}{\nu^2}, \quad (7.4)$$

где β – температурный коэффициент объемного расширения, 1/К;

$g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения;

l – определяющий размер (диаметр, длина, высота), м;

Δt – разность температур стенки и среды, К;

ν – кинематическая вязкость, м²/с.

Температурный коэффициент объемного расширения для воды определяется по таблицам, для воздуха рассчитывается через абсолютную температуру (К) по зависимости

$$\beta = 1/T, (1/K).$$

3. Критерий Прандтля

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\rho \cdot \nu \cdot c_p}{\lambda}, \quad (7.5)$$

где ρ , c_p , λ – плотность (кг/м³), теплоемкость (Дж/кг·К) и теплопроводность (Вт/м·К) среды (жидкости или газа);

a – коэффициент температуропроводности.

4. Критерий Нуссельта

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}, \quad (7.6)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К.

Расчетные формулы конвективного теплообмена (индексы в формулах означают: ж – при температуре среды; ст – при температуре стенки). Для воздуха $Pr_{ж} / Pr_{ст} = 1$. Критерии $Pr_{ж}$ и $Pr_{ст}$ определяются по таблицам 7.2 и 7.3.

1. Свободная конвекция

- на горизонтальной трубе диаметром d при $103 < (Gr \cdot Pr)_{ж} < 108$:

$$Nu = 0,5 (Gr_{ж} \cdot Pr_{ж})^{0,25} (Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}; \quad (7.7)$$

- на вертикальной трубе или пластине:

а) ламинарный режим $103 < (Gr \cdot Pr)_{ж} < 109$:

$$Nu = 0,75 (Gr_{ж} \cdot Pr_{ж})^{0,25} (Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}; \quad (7.8)$$

б) турбулентный режим $(Gr \cdot Pr)_{ж} \geq 109$:

$$Nu = 0,15 (Gr_{ж} \cdot Pr_{ж})^{0,33} (Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}. \quad (7.9)$$

2. Вынужденная конвекция

2.1. На горизонтальной поверхности:

а) ламинарный режим $Re < 4 \cdot 10^4$:

$$Nu = 0,66 Re_{ж}^{0,5} Pr_{ж}^{0,33} (Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}; \quad (7.10)$$

б) турбулентный режим $Re > 4 \cdot 10^4$:

$$Nu = 0,037 Re_{ж}^{0,8} Pr_{ж}^{0,43} (Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}. \quad (7.11)$$

2.2. Поперечное обтекание одиночной трубы (определяющий размер – d):

а) при $Re_{ж} = 5 \cdot 10^3$:

$$Nu = 0,57 Re_{ж}^{0,5} Pr_{ж}^{0,38} (Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}; \quad (7.12)$$

б) при $Re_{ж} = 10^3 \cdot 2 \cdot 10^5$:

$$Nu = 0,25 Re_{ж}^{0,6} Pr_{ж}^{0,38} (Pr_{ж}/Pr_{ст})^{0,25}. \quad (7.13)$$

Таблица 7.2 – Физические свойства сухого воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{кДж/кг}\cdot\text{K}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
0	1,293	1,005	2,44	13,28	0,707
20	1,205	1,005	2,59	15,06	0,703
40	1,128	1,005	2,76	16,96	0,699
60	1,060	1,005	2,90	18,97	0,696
80	1,000	1,009	3,05	21,09	0,692
100	0,946	1,009	3,21	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,34	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	32,49	0,681
200	0,746	1,026	3,93	34,85	0,680
250	0,674	1,038	4,27	40,61	0,677
300	0,615	1,047	4,60	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,91	55,46	0,676
400	0,524	1,068	5,21	63,09	0,678

Таблица 7.3 – Физические свойства воды на линии насыщения

$t, ^\circ\text{C}$	$P \cdot 10^{-2}, \text{кПа}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$i, \text{кДж/кг}$	$c_p, \text{кДж/кг}\cdot\text{K}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\beta \cdot 10^4, \text{1/K}$	Pr
0	1,013	999,9	0,00	4,212	55,1	1,789	-0,63	13,67
20	1,013	998,2	83,91	4,183	59,9	1,006	1,82	7,02
40	1,013	992,2	167,5	4,174	63,5	0,659	3,87	4,31
60	1,013	983,2	251,1	4,179	65,9	0,478	5,11	2,98
80	1,013	971,8	335,0	4,195	67,4	0,365	6,32	2,21
100	1,013	958,4	419,1	4,220	68,3	0,295	7,52	1,75
120	1,98	943,1	503,7	4,250	68,6	0,252	8,64	1,47
140	3,61	926,1	589,1	4,287	68,5	0,217	9,72	1,26
160	6,18	907,4	675,4	4,346	68,3	0,191	10,7	1,10
180	10,03	886,9	763,3	4,417	67,4	0,173	11,9	1,00
200	15,55	863,0	852,5	4,505	66,3	0,158	13,3	0,93
220	23,20	840,3	943,7	4,614	64,5	0,148	14,8	0,89
240	33,48	813,6	1037,5	4,766	62,8	0,141	16,8	0,87
260	46,94	784,0	1135,1	4,949	60,5	0,135	19,1	0,87
280	64,19	750,7	1236,8	5,230	57,4	0,131	23,7	0,90
300	85,92	712,5	1344,9	5,736	54,0	0,128	29,2	0,97

Задача № 7.1

Трубопровод длиной $l = 3$ м имеет температуру стенки $t_{\text{ст}} = (100 + 10 \cdot n) ^\circ\text{C}$ и находится в условиях свободной конвекции, его диаметр:

- а) $d = 300$ мм;
- б) $d = 400$ мм;
- в) $d = 600$ мм.

Определить во сколько раз потери тепла трубопровода больше в воде, чем на воздухе, температура среды $t_{\text{ср}} = 30 ^\circ\text{C}$.

Рекомендации: потери тепла находятся по зависимостям (7.1 и 7.2), коэффициент теплоотдачи находится из таблицы 7.1 как среднее значение.

Задача № 7.2

Критериальная зависимость по теплоотдаче имеет вид

а) $Nu = A \cdot Re^m \cdot Pr^{0,25}$;

б) $Nu = B(Gr \cdot Pr)^k$;

в) $Nu = B(Re^m Gr \cdot Pr)^k$.

где $A = 0,01 + 0,01 \cdot n$;

$$B = 0,1 + 0,05 \cdot n;$$

$$m = 0,1 + 0,02 \cdot n;$$

$$k = 0,15 + 0,02 \cdot n.$$

Рассчитать зависимость коэффициента теплоотдачи от влияющих факторов.

Рекомендации: в заданные уравнения подставляются значения критериев (7.3 – 7.6). Полученное уравнение выражается относительно коэффициента теплоотдачи.

Задача № 7.3

Труба с диаметром $d_1 = (10 + 2 \cdot n)$ мм снаружи поперек обтекается водой со скоростью 2 м/с, а труба с диаметром $d_2 = (30 + 3 \cdot n)$ мм обдувается воздухом. Определить при какой скорости воздуха явления обтекания будут подобны, если температуры сред:

а) воды $t_b = 20$ °С, воздуха $t_{воз} = 40$ °С;

б) воды $t_b = 40$ °С, воздуха $t_{воз} = 20$ °С;

в) воды $t_b = 30$ °С, воздуха $t_{воз} = 50$ °С.

Рекомендации: подобие явлений при вынужденном движении среды определяется по критерию Рейнольдса (7.3), физические свойства воды и воздуха находятся из таблиц 7.2 и 7.3. За определяющий размер принимаются диаметры труб.

Задача № 7.4

Труба с диаметром $d_1 = (10 + 2 \cdot n)$ мм нагревается в воде до температуры $t_b = 80$ °С, а труба с диаметром $d_2 = (30 + 3 \cdot n)$ мм нагревается в воздухе. Определить, при какой температуре стенки трубы d_2 явления нагрева труб будут подобны, если температуры сред:

а) воды $t_b = 50$ °С, воздуха $t_{воз} = 20$ °С;

б) воды $t_b = 60$ °С, воздуха $t_{воз} = 40$ °С;

в) воды $t_b = 70$ °С, воздуха $t_{воз} = 30$ °С.

Рекомендации: подобие явлений при свободной конвекции определяется произведением критериев $(Gr \cdot Pr)$. Физические свойства и критерий Pr воды и

воздуха находятся из таблиц 7.2 и 7.3 по средней температуре стенки и среды. За определяющий размер принимаются диаметры труб.

Задача № 7.5

Гладкая плита шириной $b = 1$ м и длиной $l = 1,2$ м обдувается воздухом со скоростью $U = (2+1 \cdot n)$ м/с. Определить коэффициент теплоотдачи α и тепловую мощность от плиты к среде при:

- а) $t_{ст} = 60$ °С, $t_{ср} = 20$ °С;
- б) $t_{ст} = 100$ °С, $t_{ср} = 30$ °С
- в) $t_{ст} = 80$ °С, $t_{ср} = 25$ °С.

Рекомендации: рассчитывается критерий Re по зависимости (7.3), затем по зависимостям (7.10 или 7.11) находится критерий Nu , а затем по (7.6) определяется коэффициент теплопередачи α и по зависимости (7.1) находится тепловая мощность. Физические свойства и критерий Pr воздуха выбираются по табл. 7.2 по средней температуре стенки и среды. За определяющий размер принимается размер стенки вдоль хода воздуха.

Задача № 7.6

Гладкая горизонтальная труба с диаметром $d_1 = (10+5 \cdot n)$ мм длиной $l=2$ м нагревается в воде при свободной конвекции. Определить потери тепловой мощности в воду при

- а) $t_{ст} = 60$ °С, $t_{ср} = 20$ °С;
- б) $t_{ст} = 100$ °С, $t_{ср} = 30$ °С;
- в) $t_{ст} = 80$ °С, $t_{ср} = 25$ °С.

Рекомендации: критерий Gr рассчитывается по (7.4), критерий Pr выбирается из табл. 7.3, рассчитывается их произведение ($Gr \cdot Pr$). По зависимостям (7.7) определяется критерий Nu и по (7.6) – коэффициент теплоотдачи. По зависимости (7.1) находится тепловая мощность. Физические свойства воды определяются по табл. 7.3 по средней температуре стенки и среды. За определяющий размер принимается диаметр трубы.

Задача 7.7

Определить, во сколько раз теплоотдача выше при вынужденном обтекании трубы диаметром $d = (12+2 \cdot n)$ мм при температурах стенки $t_{ст} = (40+5 \cdot n)$ °С и среды $t_{ср} = 20$ °С, чем при свободной конвекции при скорости вынужденного движения

- а) $U = (1,2+0,2 \cdot n)$ м/с в воде;
- б) $U = (5+2 \cdot n)$ м/с в воздухе;
- в) $U = (5+2 \cdot n)$ м/с в воде.

Рекомендации: рассчитываются критерии Re (по 7.3) и Gr (по 7.4), критерий Pr выбирается по таблицам 7.2, 7.3. По зависимостям (7.7-7.8 и 7.12-7.13) определяется критерий Nu и по (7.6) – коэффициент теплоотдачи. Про-

изводится их сравнение. За определяющий размер принимается диаметр трубы.

Тема 8. лучистый теплообмен

Цель: Изучение методик расчета передачи теплоты методом лучистого теплообмена.

Метод: Расчетный, работа производится по вариантам индивидуально для каждого студента.

Краткие теоретические сведения

Излучение тела в зависимости от его температуры описывается законом Стефана-Больцмана:

$$E = \varepsilon E_0 = \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 = C \left(\frac{T}{100} \right)^4, \text{ Вт/м}^2 \quad (8.1)$$

где T – температура тела, К;

$C = \varepsilon C_0$ — коэффициент излучения реального тела, Вт/(м²·К⁴);

$C_0 = 5,67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела;

ε – степень черноты тела (табл. 8.1).

Таблица 8.1 – Степень черноты для различных материалов

Наименование материала	$t, ^\circ\text{C}$	ε
Алюминий полированный	50-500	0,04-0,06
Бронза	50	0,1
Железо листовое оцинкованное, блестящее	30	0,23
Золото полированное	200-600	0,02-0,03
Латунь матовая	20-350	0,22
Медь полированная	50-100	0,02
Стальной листовой прокат	50	0,56
Сталь окисленная	50-600	0,8
Чугунное литье	50	0,81
Дерево строганное	20	0,8-0,9
Кирпич огнеупорный	500-1000	0,8-0,9
Лак черный, матовый	40-100	0,96-0,98
Лак белый	40-100	0,8-0,95
Масляные краски различных цветов	40-100	0,92-0,96
Эмаль белая	20	0,9

Для двух поверхностей, обращенных друг к другу с небольшим зазором рассчитывается приведенная степень черноты системы тел

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (8.2)$$

Тогда для полной тепловой мощности можно записать

$$W_{12} = \varepsilon_{\text{пр}} C_0 S \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \text{ Вт} \quad (8.3)$$

где S – площадь теплообменной поверхности.

Лучистый тепловой поток находится как

$$q_{12} = \frac{W_{12}}{S} = \varepsilon_{\text{пр}} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \text{ Вт/м}^2 \quad (8.4)$$

Лучистый коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{л}}$ [Вт/(м²·К)] находится как

$$\alpha = \frac{q_{12}}{\Delta t} = \varepsilon_{\text{пр}} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \frac{1}{T_1 - T_2} \quad (8.5)$$

Если одна теплообменная поверхность площадью S_1 полностью охватывается другой площадью S_2 , то приведенная степень черноты системы определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{S_1}{S_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad (8.6)$$

Тогда в уравнения (8.3, 8.4) подставляется поверхность меньшего тела S_1 . При $S_1 \ll S_2$:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_1. \quad (8.7)$$

Задача № 8.1

Определить выделение тепла (тепловую мощность) излучением от стальных окисленных труб наружным диаметром $d = 100$ мм, общей длиной $l = 10$ м, используемых для отопления стен гаража, окрашенных масляной краской общей площадью $S_2 = 50$ м². Температура стенки трубы $t_1 = (65 + 5 \cdot n)$ °С. Температура стен

- а) $t_2 = 15$ °С;
- б) $t_2 = 25$ °С;
- в) $t_2 = 35$ °С.

Рекомендации: потери тепла находятся по зависимости (8.3), при расчете приведенной степени черноты по (8.6) учесть разные площади теплообмена нагревателя и стен, в формуле (8.3) $S = S_1$.

Задача № 8.2

Определить выделение тепла излучением по задаче № 8.1, если трубы латунные, обогревается только одна стена гаража размером 3×4 м. Сравнить с задачей № 8.1.

Задача № 8.3

Стальная гладкая плита шириной $b = 1$ м и длиной $l = 1,2$ м обдувается воздухом со скоростью $U = (20 - 1 \cdot n)$ м/с. Определить суммарную тепловую мощность от плиты к среде за счет конвекции и излучения при:

- а) $t_{\text{СТ}} = (60 + 5 \cdot n)$ °С, $t_{\text{СР}} = 20$ °С;

б) $t_{CT} = (100+5 \cdot n) \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{CP} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

в) $t_{CT} = (80+5 \cdot n) \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{CP} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рекомендации: при расчете конвективного теплообмена определяется критерий Re по зависимости (7.3), затем по зависимостям (7.10 или 7.11) находится критерий Nu , а затем по (7.6) определяется коэффициент теплопередачи α_K и по зависимости (7.1) находится конвективная составляющая тепловой мощности. Физические свойства воздуха выбираются по табл. 7.2. Лучистая составляющая тепловой мощности находится по (8.3), степень черноты среды $\varepsilon_2=0$, $\varepsilon_{np} = \varepsilon_1$. За определяющий размер принимается размер стенки вдоль хода воздуха.

Задача № 8.4

Чугунная горизонтальная труба с диаметром $d_1 = (10+5 \cdot n)$ мм и длиной 12 м нагревается в воздухе при свободной конвекции. Определить конвективный и лучистый коэффициенты теплоотдачи, суммарную отводимую от трубы в воздух тепловую мощность при

а) $t_{CT} = (60+5 \cdot n) \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{CP} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;

б) $t_{CT} = (100+5 \cdot n) \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{CP} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

в) $t_{CT} = (80+5 \cdot n) \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{CP} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рекомендации: рассчитывается критерий Gr по (7.4), выбирается из табл. 7.2 критерий Pr , рассчитывается их произведение ($Gr \cdot Pr$). По зависимостям (7.7) определяется критерий Nu и по (7.6) – конвективный коэффициент теплоотдачи α_K . По зависимости (8.5) находится лучистый коэффициент теплоотдачи α_L . По их суммарному значению по зависимости (7.1) определяется тепловая мощность. Определяющий размер – диаметр трубы.

Тема 9. Теплопередача

Цель: Изучение методик расчета передачи теплоты через сплошную стенку от одной среды к другой.

Метод: Расчетный, работа производится по вариантам индивидуально для каждого студента.

Краткие теоретические сведения

Теплопередачей называется передача теплоты от горячего теплоносителя к холодному теплоносителю через стенку, разделяющую эти теплоносители.

Тепловой поток, переданный от «горячей» жидкости (среды) с температурой $t_{ж1}$ к «холодной» среде с температурой $t_{ж2}$ имеет вид:

$$q = K \cdot (t_{ж1} - t_{ж2}), \text{ Вт/м}^2 \quad (9.1)$$

или для тепловой мощности:

$$W = K \cdot (t_{ж1} - t_{ж2}) \cdot S, \text{ Вт}, \quad (9.2)$$

где для однослойной стенки коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (9.3)$$

Для многослойной стенки:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (9.4)$$

Для цилиндрической стенки:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} \quad (9.5)$$

Температура поверхности стенки со стороны «горячей» жидкости:

$$t_{ct1} = t_{ж1} - q / \alpha_1 \quad (9.6)$$

Температура поверхности стенки со стороны «холодной» жидкости:

$$t_{ct2} = t_{ct1} - q \frac{\delta}{\lambda} = t_{ж1} - q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} \right) \quad (9.7)$$

При небольшом изменении температур жидкостей в процессе теплопередачи разность их температур (температурный напор) определяется через их средние значения:

$$\Delta t_{ж} = t_{жср1} - t_{жср2} \quad (9.8)$$

При большом изменении температур жидкостей в процессе теплопередачи определяется средний логарифмический температурный напор:

$$\Delta t_{лог} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}} \quad (9.9)$$

где Δt_B , Δt_M – большая и меньшая разность температур между жидкостями, °С (К).

Количество теплоты, поглощенной жидкостью определяется по зависимости:

$$Q = m C_p \Delta t, \text{ кДж}, \quad (9.10)$$

где m – масса жидкости, кг;

C_p – изобарная теплоемкость жидкости, кДж/(кг К);

$\Delta t = t_{ж1} - t_{ж2}$ – изменение температуры жидкости при теплопередаче, °С (К).

Время прохождения процесса теплопередачи определяется по:

$$\tau = \frac{Q}{W} \quad (9.11)$$

Задача № 9.1

Рассчитать теплопотери через сплошную стену здания размером $b \times h = 4 \times 2,5$ м зимой при температурах воздуха внутри 20°C , снаружи -20°C , если она изготовлена из

- а) кирпича ($\lambda = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$);
 - б) древесины ($\lambda = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$);
 - в) бетона ($\lambda = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$),
- толщиной $\delta = (0,1 + 0,01 \cdot n)$ м, $\alpha_1 = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $\alpha_2 = 30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Определить температуры на поверхностях стены.

Рекомендации: потери тепла определяются по зависимости (9.2), коэффициент теплопередачи по (9.3). Температуры поверхностей стены определяются по зависимостям (9.6) и (9.7).

Задача № 9.2

Рассчитать теплопотери через полностью застекленную стену тех же размеров и при тех же температурах как в задаче № 9.1. Остекление двойное, толщина стекол

- а) $\delta_{\text{ст}} = 5$ мм;
- б) $\delta_{\text{ст}} = 8$ мм,
- в) $\delta_{\text{ст}} = 10$ мм,

зазор между стеклами $\delta_{\text{в}} = (5 + 2 \cdot n)$ мм. Теплопроводности стекла $\lambda_{\text{ст}} = 0,75 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, воздуха $\lambda_{\text{в}} = 0,025 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Считать, что между стеклами тепло передается теплопроводностью. Привести расчетную схему.

Определить температуру воздуха в центре воздушного слоя.

Рекомендации: коэффициент теплопередачи определяется по (9.4), потери – по (9.2), температура воздуха – как среднее между температурами на внутренних поверхностях стекол, которые определяются по (9.7).

Задача № 9.3

Рассчитать количество секций радиатора отопления, необходимого для компенсации теплопотерь через стену по задаче № 9.1. Температура воды в радиаторе 60°C , воздуха 20°C . Коэффициенты теплоотдачи $\alpha_1 = 800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $\alpha_2 = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, толщина стенки радиатора $\delta = 5$ мм, теплопроводность чугуна $\lambda_{\text{ч}} = 63 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Радиатор покрыт краской толщиной $\delta_{\text{кр}} = (1 + 0,1 \cdot n)$ мм с теплопроводностью $\lambda_{\text{кр}} = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Площадь одной секции радиатора $S_{\text{сек}} = 0,2 \text{ м}^2$.

Рекомендации: необходимая площадь всех радиаторов определяется из (9.2), коэффициент теплопередачи – по (9.4).

Задача № 9.4

Рассчитать, через какое время начнет замерзать вода с начальной температурой $t_1 = (20 + 2 \cdot n)^\circ\text{C}$ в неизолированном стальном водоводе длиной 2 м с внутренним диаметром

а) $d_1 = 200$ мм;

б) $d_1 = 350$ мм;

в) $d_1 = 450$ мм

с толщиной стенки $\delta = 10$ мм ($\lambda_{ст} = 50$ Вт/(м·К)) при выходе из строя насосов в зимних условиях при температуре $t_2 = (-20-2 \cdot n)$, $\alpha_1 = 600$ Вт/(м²·К), $\alpha_2 = 30$ Вт/(м²·К). Теплоемкость воды $C_p = 4,19$ кДж/(кг·К).

Рекомендации: количество отведенной теплоты до замерзания воды (при $t_0 = 0$ °С) определяется по (9.10), тепловая мощность – по (9.2), время до замерзания – по (9.11).

Задача № 9.5

Рассчитать через какое время начнет замерзать вода в трубопроводе по условиям задачи № 9.4, если трубопровод покрыт изоляцией из:

а) войлока ($\lambda = 0,05$ Вт/(м·К));

б) минеральной ваты ($\lambda = 0,07$ Вт/(м·К))

в) стекловолокна ($\lambda = 0,04$ Вт/(м·К))

толщиной $\delta = (5+1 \cdot n)$.

Рекомендации: коэффициент теплопередачи определяется по (9.4), остальное - аналогично задаче 9.4.

Задача № 9.6

На какое расстояние можно транспортировать воду по трубопроводу согласно условиям задачи № 9.4, если скорость воды $U = (1+0,2 \cdot n)$.

Рекомендации: расстояние определяется через скорость и время до замерзания.

Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы по темам для самостоятельного изучения в 4 семестре

Подготовка по темам оценивается в ходе устного или письменного опроса по стобальной системе.

Решения задач представляются в письменном виде. Решение должно быть описано логично и последовательно. В ходе решения необходимо привести формулы, единицы измерения рассчитываемых и используемых в расчете величин, для справочных величин необходимо указать литературные источники.

Критерии оценки самостоятельной работы при подготовке к практическим занятиям

Письменный опрос

100-86 баллов – если ответ показывает глубокое и систематическое знание всего программного материала и структуры конкретного вопроса, а также основного содержания и новаций лекционного курса по сравнению с учебной литературой. Студент демонстрирует отчетливое и свободное владение концептуально-понятийным аппаратом, научным языком и терминологией соответствующей научной области. Знание основной литературы и знакомство с дополнительно рекомендованной литературой. Логически корректное и убедительное изложение ответа.

85-76 баллов – знание узловых проблем программы и основного содержания лекционного курса; умение пользоваться концептуально-понятийным аппаратом в процессе анализа основных проблем в рамках данной темы; знание важнейших работ из списка рекомендованной литературы. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа.

75-61 балл – фрагментарные, поверхностные знания важнейших разделов программы и содержания лекционного курса; затруднения с использованием научно-понятийного аппарата и терминологии учебной дисциплины; неполное знакомство с рекомендованной литературой; частичные затруднения с выполнением предусмотренных программой заданий; стремление логически определенно и последовательно изложить ответ.

60-50 баллов – незнание, либо отрывочное представление о данной проблеме в рамках учебно-программного материала; неумение использовать понятийный аппарат; отсутствие логической связи в ответе.

Устный опрос

100-85 баллов – если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

85-76 баллов – ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой

раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна-две неточности в ответе.

75-61 балл – оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

60-50 баллов – ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

Решение задач

100-86 баллов – решение задачи полное и корректное, допускаются незначительные арифметические ошибки.

85-76 баллов – решение задачи полное, допускается 1-2 несущественные ошибки.

76-61 баллов – решение задачи полное, присутствуют ошибки в расчете ключевых параметров, демонстрирующие неполное понимание материала.

60-50 баллов – решение задачи неполное или содержит значительное количество ошибок, неполное понимание произведенного расчета.

менее 50 баллов – решение задачи неполное или содержит значительное количество ошибок, отсутствует понимание произведенных расчетов.

Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям

Самостоятельная работа студентов включает в себя подготовку к практическим занятиям, изучение теоретических вопросов по теме занятия, реше-

ние задач, самоконтроль знаний по теме работы с помощью вопросов к каждой работе.

Для качественного освоения дисциплины каждый студент должен заранее подготовиться к очередному практическому занятию. Подготовка складывается из изучения темы и содержания практического занятия, повторения теоретического материала, теоретического ознакомления с методами расчета.

Закрепление полученных знаний и навыков происходит при решении задач по теме предыдущего практического занятия.

В начале занятия преподаватель путем опроса и ознакомления с записями в рабочих тетрадях проверяет подготовленность каждого студента.

Вопросы к практическим занятиям по темам:

3 семестр

Тема: Основные понятия и соотношения

1. Размерности и единицы измерения
2. Основные характеристики рабочих тел
3. Давление. Виды давлений (напр., барометрическое, абсолютное, избыточное, вакуумметрическое) рабочего тела.
4. Температура (как мера нагретости тела) рабочего тела.
5. Уравнения баланса
6. Уравнения неразрывности
7. Уравнения расхода
8. Плотности рабочего тела.

Тема: Механические процессы

1. Классификация механических процессов
2. Основные характеристики твердых материалов
3. Измельчение твердых материалов
4. Классификация твердых материалов

Тема: Транспортирование

1. Классификация транспортирующих устройств
2. Конструкционные особенности транспортирующих устройств
3. Основные характеристики транспортирующих устройств

Тема: Гидростатика

1. Основные понятия гидростатики
2. Давление. Основные виды, способы определения, пересчета.
3. Основные характеристики жидкостного потока

Тема: Гидравлика

1. Уравнение Бернулли
2. Режимы течения жидкости

4 семестр

Тема: Расчет трубопроводов

1. Прямая и обратная задачи гидродинамики
2. Коэффициент гидравлического сопротивления. Местные сопротивления
3. Порядок расчета сопротивления трубопровода и мощности насоса

Тема: Тепловой и материальный баланс

1. Законы сохранения массы и энергии
2. Материального баланса. Основные уравнения. Порядок составления
3. Тепловой баланс. Основные уравнения. Порядок составления

Тема: Основы теплопереноса

1. Теплофизические свойства рабочих тел
2. Виды теплопереноса
3. Стационарный кондуктивный перенос теплоты через плоскую и цилиндрическую однослойную и многослойную стенки

Тема: Теплообменники

1. Классификация теплообменных устройств
2. Основные элементы теплообменных устройств
3. Компенсация теплового расширения в теплообменных устройствах

Тема: Теплоносители

1. Классификация теплоносителей.
2. Виды состояния водяного пара.
3. Методики расчета теплоты, передаваемой при нагреве воды, при парообразовании, расчета тепловой мощности, объемного и массового расхода среды.
4. Таблицы нахождения основных физических свойств воды и водяного пара.
5. Основные характеристики влажного воздуха (абсолютная и относительная влажность, плотность влажного воздуха).
6. Методики расчета основных параметров влажного воздуха.

Тема: Расчет теплообменника труба в трубе

1. Расчет среднего температурного напора
2. Расчет средних параметров потоков
3. Порядок расчета теплообменной аппаратуры

Тема: Расчет кожухотрубного теплообменника

1. Конструктивные особенности кожухотрубных теплообменников
2. Порядок расчета кожухотрубных теплообменников

Критерии оценки самостоятельной работы при подготовке к практическим занятиям

Письменный опрос

100-86 баллов – если ответ показывает глубокое и систематическое знание всего программного материала и структуры конкретного вопроса, а также основного содержания и новаций лекционного курса по сравнению с учебной литературой. Студент демонстрирует отчетливое и свободное владение концептуально-понятийным аппаратом, научным языком и терминологией соответствующей научной области. Знание основной литературы и знакомство с дополнительно рекомендованной литературой. Логически корректное и убедительное изложение ответа.

85-76 баллов – знание узловых проблем программы и основного содержания лекционного курса; умение пользоваться концептуально-понятийным аппаратом в процессе анализа основных проблем в рамках данной темы; знание важнейших работ из списка рекомендованной литературы. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа.

75-61 балл – фрагментарные, поверхностные знания важнейших разделов программы и содержания лекционного курса; затруднения с использованием научно-понятийного аппарата и терминологии учебной дисциплины; неполное знакомство с рекомендованной литературой; частичные затруднения с выполнением предусмотренных программой заданий; стремление логически определенно и последовательно изложить ответ.

60-50 баллов – незнание, либо отрывочное представление о данной проблеме в рамках учебно-программного материала; неумение использовать понятийный аппарат; отсутствие логической связи в ответе.

Устный опрос

100-85 баллов – если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

85-76 баллов – ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой

раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна-две неточности в ответе.

75-61 балл – оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

60-50 баллов – ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

Методические рекомендации для подготовки к вопросам по лабораторным работам

Большая часть учебного материала должна быть проработана студентом самостоятельно, вне аудиторных занятий. Самостоятельная работа студентов является неотъемлемой составной частью процесса подготовки специалистов.

Под самостоятельной работой студента понимается часть учебной планируемой работы, которая выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, без его непосредственного участия. Самостоятельная работа направлена на усвоение системы научных и профессиональных знаний, формирование умений и навыков, приобретение опыта самостоятельной творческой деятельности.

Самостоятельная работа студентов включает в себя подготовку к лабораторным работам, описание проделанной экспериментальной работы с приведением расчетов, графиков, таблиц и выводов, подготовка к защите теории

по работе, самоконтроль знаний по теме работы с помощью вопросов к каждой работе.

Для качественного выполнения лабораторных работ каждый студент должен заранее подготовиться к очередной работе. Подготовка складывается из изучения цели, задач и содержания лабораторной работы, повторения теоретического материала, относящегося к работе, и теоретическом ознакомления со свойствами химических веществ до выполнения работы. Результаты подготовки отражаются студентами в рабочих тетрадях, куда записываются перечень необходимых измерительных приборов и аппаратура, план выполнения лабораторной работы, расчетные формулы и зарисовываются схемы установок, таблицы для записи опытных и расчетных данных. Все записи в рабочих тетрадях как при подготовке к работе, так и в процессе выполнения ее должны вестись аккуратно.

В начале занятия преподаватель путем опроса и ознакомления с записями в рабочих тетрадях проверяет подготовленность каждого студента. Не подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Вопросы к лабораторным работам по темам:

Тема: Измельчение твердого материала на вибромельнице, ситовый анализ сыпучих материалов

1. Теоретические основы гранулометрического анализа
2. Классификация сыпучих сред.
3. Дозирование и смешивание материалов.

Тема: Измельчение твердого материала на шаровой мельнице, ситовый анализ сыпучих материалов

1. Физико-химические свойства сыпучих материалов.
2. Физические и теоретические основы измельчения твердых тел.
3. Процессы измельчения и измельчающие машины.
4. Формообразование.

Тема: Измерение удельной поверхности сыпучих материалов и катализаторов по сопротивлению фильтрации воздуха через слой

1. Основные свойства жидкостей. Классификация.
2. Основные законы гидростатики и гидродинамики.
3. Режимы движения жидкости.
4. Основные понятия гидравлики дисперсных систем.
5. Характеристика твердых материалов (виды плотности, порозность, удельная поверхность) и дисперсных систем с твердой фазой.
6. Псевдооживление и его применение.

Тема: Кинетика фильтрации

1. Неоднородные системы, классификация дисперсных систем
2. Методы разделения дисперсных систем
3. Теоретические основы фильтрования и его аппаратное оформление
4. Основное уравнение фильтрования. Режимы фильтрования.
5. Выбор методов и аппаратов для разделения неоднородных систем

Тема: Осаждение взвесей

1. Неоднородные системы, классификация дисперсных систем
2. Теоретические основы осаждения и его аппаратное оформление
3. Выбор методов и аппаратов для разделения неоднородных систем
4. Вязкость. Уравнение Ньютона.
5. Плавание тел. Закон Архимеда.
6. Движение твердых тел в жидкости. Закон Стокса.
7. Гидростатический парадокс.
8. Подобие гидродинамических процессов.
9. Классификация отстойников. Устройство.

Тема: Режимы течения жидкостей

1. Основные законы гидростатики и гидродинамики.
2. Поток. Неразрывность потока.
3. Режимы течения жидкости.
4. Уравнение Бернулли с геометрической и энергетической точки зрения.
5. Гидравлический удар.
6. Истечение жидкостей из резервуара.
7. Гидродинамические критерии подобия.

Тема: Определение коэффициента теплоотдачи горизонтального цилиндра при внешней естественной конвекции воздуха

1. Виды переноса теплоты в теплообменных процессах. Математическое описание теплообменных процессов.
2. Стационарный кондуктивный перенос теплоты через стенки.
3. Конвективный теплоперенос.
4. Теплоперенос излучением.
5. Тепловое подобие.

Тема: Изучение процесса теплопередачи при вынужденной конвекции

1. Промышленные способы подвода и отвода теплоты в химической аппаратуре
2. Виды теплоносителей для подвода и отвода тепла в химической технологии.

3. Аппаратурное оформление процесса теплообмена

Тема: Изучение процесса теплопередачи в теплообменнике «труба в трубе»

1. Основные понятия теплопередачи и теплообмена.
2. Коэффициент теплопередачи.
3. Средний температурный напор.
4. Тепловой поток.
5. Критерии подобия и критериальные уравнения для тепловых процессов.

Тема: Простая перегонка. Построение кривой разгонки бинарной смеси

1. Сущность процесса дистилляции. Преимущества перегонки с дефлегмацией. Аппаратурное оформление дистилляции в лабораторной практике и на производстве.
2. Сущность метода перегонки с водяным паром. Область применения метода.
3. Сущность метода молекулярной дистилляции. Область применения метода.

Тема: Ректификации бинарной смеси

1. Принцип ректификации. Потoki жидкости и пара в периодическом и непрерывном процессах ректификации.
2. Аппаратурное оформление ректификации в лабораторной практике и на производстве.
3. Флегмовое число. Минимальное и рабочее флегмовые числа.
4. Кривая равновесия и рабочие линии ректификации
5. Теоретическая ступень разделения в процессе ректификации. Высота эквивалентная теоретической тарелке
6. Графический метод определения числа теоретических тарелок
7. Схема установки для ректификации смесей, содержащих более двух компонентов.

Тема: Сушка сыпучих материалов

1. Тепловой баланс сушки.
2. Устройство и принцип работы сушильных аппаратов.
3. Способы сушки сыпучих материалов.
4. Свойства влажного воздуха.

Тема: Экстракция

1. Экстракция. Основные понятия и определения.
2. Основные особенности процессов растворения и экстрагирования в системе жидкость – жидкость.

3. Физико-химические основы и кинетика процесса экстракции. Изображение процесса полного и частичного растворения бинарной смеси в диаграмме равновесия фаз.

4. Практическое применение экстракции. Однократная и многократная экстракция.

5. Аппаратурное оформление экстракции.

6. Методы интенсификации экстракции

Тема: Твердо-жидкостное экстрагирование

1. Твердо-жидкостное экстрагирование. Основные понятия и определения.

2. Основные особенности процессов растворения и экстрагирования в системе твердое – жидкость.

3. Физико-химические основы и кинетика процессов растворения и экстрагирования. Изображение процесса полного и частичного растворения бинарной смеси в диаграмме равновесия фаз.

4. Практическое применение твердо-жидкостного экстрагирования. Однократная и многократная экстракция.

5. Аппаратурное оформление процессов растворения и экстрагирования.

6. Методы интенсификации процессов экстрагирования.

Тема: Адсорбция

1. Адсорбция. Основные понятия и определения.

2. Физико-химические основы и кинетика процесса адсорбции.

3. Факторы влияющие на процесс адсорбции.

4. Свойства адсорбентов.

5. Аппаратурное оформление адсорбции.

Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы при подготовке к лабораторным работам

Подготовка к лабораторным работам оценивается в ходе устного опроса по пятибалльной системе.

Отчеты по лабораторным работам составляются студентами индивидуально и защищаются устно, оцениваются по пятибалльной системе.

Отчеты по лабораторным работам представляются в рукописном варианте или в электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MSWord.

Отчет по работе должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе, уравнения реакций, таблицы, методику проведения лабораторных опытов, список литературы, расчеты и т. д.

Структурно отчет по лабораторной работе, как текстовый документ, комплектуется по следующей схеме:

Титульный лист – обязательная компонента отчета, первая страница отчета, по принятой для лабораторных работ форме (титульный лист отчета должен размещаться в общем файле, где представлен текст отчета).

Исходные данные к выполнению заданий – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержат указание варианта, темы и т.д.).

Основная часть – материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: пункты – подпункты и т. д.

Рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных.

Выводы – обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы).

Список литературы – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии).

Оформление отчета по лабораторной работе (в случае оформления его в электронной форме). Отчет по лабораторной работе относится к категории «письменная работа», оформляется по правилам оформления письменных работ студентами ДВФУ.

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

- набор текста;
- структурирование работы;
- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы);
- набор и оформление математических выражений (формул);

- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

– печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);

– интервал межстрочный – полуторный;

– шрифт – Times New Roman;

– размер шрифта – 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);

– выравнивание текста – «по ширине»;

– поля страницы - левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;

– нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).

– режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все приложения включаются в общую в сквозную нумерацию страниц работы.

Критерии оценки самостоятельной работы при подготовке к лабораторным работам

Подготовка к лабораторным работам оценивается в ходе устного опроса по темам для самостоятельной подготовки.

Отчеты по лабораторным работам составляются студентами индивидуально и защищаются устно.

По теме для самостоятельного изучения студенты опрашиваются устно на консультациях согласно графику.

Вклад различных видов деятельности в итоговую оценку при выполнении лабораторной работы:

- выполнение работы – 20 %
- написание отчета – 40 %;
- подготовка теоретического материала к работе и ответы на задаваемые вопросы – 40 %.

Оценка выставляется по следующей шкале:

100-86 %:

- А) Задание выполнено полностью.
- Б) Отчет/ответ составлен грамотно.
- В) Ответы на вопросы полные и грамотные.
- Г) Материал понят, осознан и усвоен.

85-76 %:

- А), Б) - те же, что и при оценке «Отлично».
- В) Неточности в ответах на вопросы, которые исправляются после уточняющих вопросов.
- Г) Материал понят, осознан и усвоен.

75-61 %

- А), Б) - те же, что и при оценке «Отлично».
- В) Неточности в ответах на вопросы, которые не всегда исправляются после уточняющих вопросов.
- Г) Материал понят, осознан, но усвоен недостаточно полно.

Менее 61 %:

- А) Программа не выполнена полностью.
- Б) Устный отчет и ответы на вопросы не полные и не грамотные.
- В) Материал не понят, не осознан и не усвоен.

Методические рекомендации для подготовки расчетно-графических задач

Расчетно-графические задачи по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» выполняются студентами с целью закрепления и углубления учебного материала, изучаемого в указанном курсе. Выполнение расчетно-графических задач:

- прививает определенные навыки практического применения основных методик расчета массообменных, теплообменных и гидродинамических процессов;

- расширяет знания о процессах и аппаратах, применяемых в химических производствах;

- позволяет на конкретных примерах усвоить методику расчета важнейших технологических процессов.

Расчетно-графические задачи включают в себя решение комплексных задач по расчету и проектированию установок для осуществления химико-технологических процессов, широко представленных на химических производствах:

- ленточный транспортер;
- щековая дробилка;
- отстойник;
- трубопровод;
- циклон;
- теплообменник «Труба в трубе»;
- кожухотрубный теплообменник;
- барабанная сушилка;
- выпарная установка для концентрирования водных растворов;

Расчетно-графические задания выполняются в течение всего изучения дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии». На выполнение каждой задачи отводится 3-4 недели. Выполнение расчетно-графических задач является обязательным условием положительной аттестации студента на зачете и экзамене по указанной дисциплине.

Каждому студенту выдается индивидуальное задание.

Чтобы успешно подготовиться и выполнить расчетно-графическое задание необходимо:

- Внимательно ознакомиться с содержанием задач, выписать их для себя, вставляя в общий текст численные значения исходных данных из соответствующих таблиц.

- По конспекту лекций и учебникам изучить теоретический материал по соответствующим темам, обращая особое внимание на методики практических расчетов.

- Провести черновой, проверочный и окончательный расчет задачи с помощью калькулятора и, если это необходимо, с помощью написанных компьютерных программ (например, расчетных таблиц Excel).

- Оформить задачу в соответствии с требованиями к оформлению письменных работ, выполняемых студентами ДВФУ, и согласно ГОСТ ЕСКД по оформлению технической документации.

РГЗ 1. Расчет ленточного конвейера

1. Рассчитать размеры ленты и конвейера, сопротивление движению и натяжение ленты, мощность привода с учетом пусковых нагрузок.

2. Построить чертеж общего вида для рассчитанного конвейера.

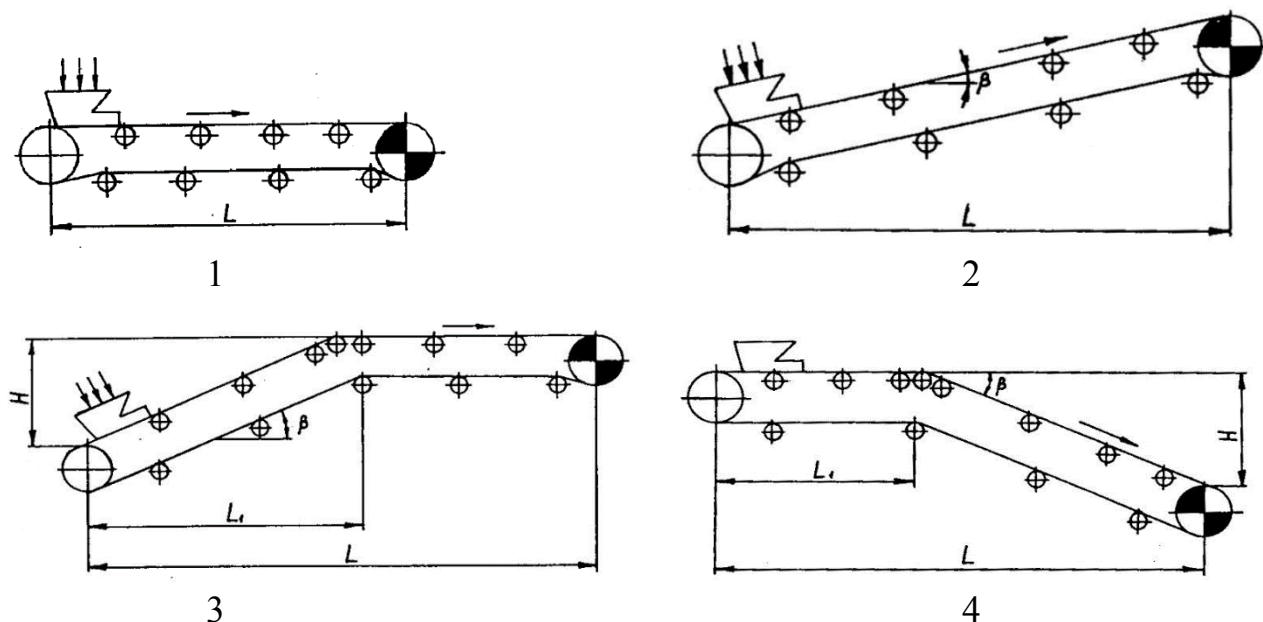


Рисунок – Варианты схемы трассы для РГЗ 1

Таблица – Варианты параметров конвейера для РГЗ 1

№	Транспортируемый груз	Производительность, т/ч	Размеры, м			Условия эксплуатации
			L	L ₁	H	
1	Опилки древесные сухие	170	30	15	8	легкие
2	Торф кусковой сухой	160	30	15	6	тяжелые
3	Пшеница, ячмень, рожь	65	35	15	6	легкие
4	Овес	20	75	35	6	средние
5	Мука пшеничная	90	85	30	8	тяжелые
6	Зола сухая	75	45	20	5	средние

РГЗ 2. Щековая дробилка

1. Рассчитать параметры щековой дробилки:

- угол захвата подвижной щеки;
- число качаний подвижной щеки (частота вращения приводного вала);
- размеры и мощность дробилки.

2. Построить чертеж общего вида для рассчитанной дробилки.

Таблица – Варианты индивидуальных заданий для расчета дробилки (РГЗ 2)

№	Материал	Производительность, м ³ /ч	Насыпная плотность, кг/м ³	Размер, мм	
				Началь-	Конеч-

				ный	ный
1.	Известняк	40	1920	650	325
2.	Уголь каменный	50	820	700	350
3.	Уголь древесный	9	280	300	100
4.	Сильвинит	10	1070	350	175
5.	Карналлит	80	990	350	115

РГЗ 3. Отстойник

1. Рассчитать и выбрать отстойник для сгущения водной суспензии при условии: расход суспензии G_c т/ч, содержание твердых частиц в суспензии x_c кг/кг, в осадке x_o кг/кг, в осветленной жидкости $x_{сж}$ кг/кг. Частицы суспензии имеют сферическую форму. Минимальный размер удаляемых частиц d_T мкм. Плотность частиц ρ_T кг/м³. Осаждение происходит при температуре t °С.

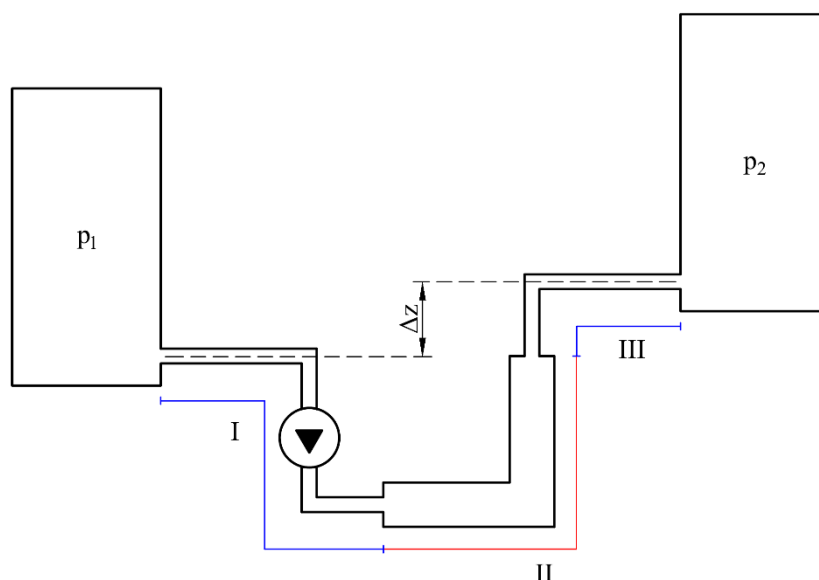
2. Построить чертеж общего вида для рассчитанного отстойника.

3. Дополнительное задание. Рассчитать степень осветления суспензии в выбранном отстойнике.

Таблица – Варианты индивидуальных заданий для расчета отстойника (РГЗ 3)

№	G_c т/ч	x_c кг/кг	x_o кг/кг	$x_{сж}$ кг/кг	d_T мкм	ρ_T кг/м ³	t °С
1	119,3	0,07	0,3	0,00007	25	3000	15
2	46,8	0,15	0,63	0,00015	26	2700	24
3	9,2	0,11	0,59	0,00011	28	2600	8
4	116,8	0,12	0,49	0,00012	35	2900	6
5	42,2	0,19	0,84	0,00019	28	2900	17
6	149,6	0,18	0,84	0,00018	20	2600	13
7	108,3	0,16	0,76	0,00016	21	2000	15
8	144,3	0,06	0,36	0,00006	38	2800	5
9	57,4	0,16	0,7	0,00016	16	2500	13
10	29,1	0,16	0,74	0,00016	31	2600	17

РГЗ 4.1. Расчет трубопровода (прямая задача)



Жидкость при температуре t , находящаяся в емкости под давлением p_1 , перекачивается в емкость с давлением p_2 на высоту Δz по трубопроводу, который условно можно разделить на три участка различных диаметров (I-III). Расход жидкости G т/ч. Элементы трубопровода, установленные на каждом участке, диаметры труб и длины участков заданы вариантом. Рассчитать потерянный напор на всем трубопроводе и полезную мощность насоса для перекачивания жидкости, установленного на участке I.

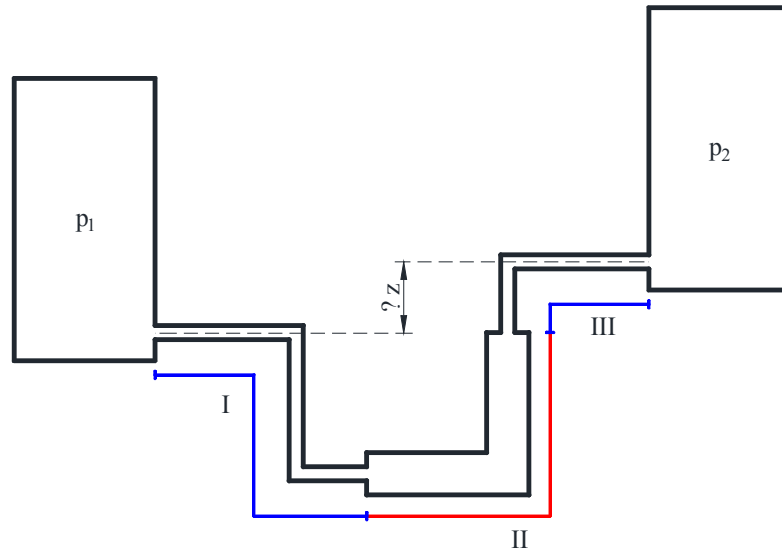
В таблице вариантов элементы трубопровода промаркированы следующим образом:

- 1) Плавный изгиб
- 2) Резкий изгиб
- 3) Диафрагма ($d_{\text{отв}}=0,7d$)
- 4) Кран
- 5) Вентиль
- 6) Задвижка при полном открытии
- 7) Задвижка при степени открытия 0,5
- 8) Клапан обратный

Таблица – Варианты индивидуальных заданий для расчета трубопровода (РГЗ 4)

№	Жидкость	t, °С	G, т/ч	p1, атм	p2, атм	Δz , м	Участок I			Участок II			Участок III					
							d, мм	l, м	Элементы	d, мм	l, м	Элементы	d, мм	l, м	Элементы			
1	Ацетон	10	7	3	4	7	34	25	1	7	51	50	6	6	31	35	2	7
5	Вода	30	6	3	10	10	33	50	4	7	53	60	6	7	33	75	2	7
11	Глицерин	80	6	3	10	15	38	85	7	7	61	60	6	3	37	90	5	7
14	Октан	60	6	3	9	5	27	60	1	5	51	70	1	4	28	50	5	1
18	Серная кислота (60%)	40	7	2	8	6	46	25	5	4	69	75	7	2	42	70	8	8
24	Толуол	30	10	2	10	11	43	90	4	1	77	30	4	8	37	55	3	3
32	Уксусная кислота (70%)	50	3	1	4	1	25	55	5	8	40	30	4	4	23	30	2	4
36	Хлороформ	20	7	2	6	4	43	20	3	2	82	65	3	5	41	95	7	6
41	Этилацетат	30	2	2	4	15	19	75	4	4	38	25	1	4	18	75	2	2
42	Этилацетат	40	2	2	5	12	18	55	4	1	29	65	4	5	16	30	8	1
43	Этанол (40%)	10	8	1	5	6	39	30	1	4	59	90	1	7	34	75	6	4
48	Этанол (40%)	60	1	1	9	5	15	85	4	2	26	40	2	8	12	95	5	7

РГЗ 4.2. Расчет трубопровода (обратная задача)



Жидкость при температуре t перемещается из одного сосуда в другой. Перепад высот между концами трубопровода Δz . Давление в нижнем сосуде p_1 , в верхнем p_2 . Трубопровод состоит из трех участков различных диаметров (d_1, d_2, d_3). На каждом участке установлено несколько элементов трубопроводной арматуры.

Рассчитать расход жидкости в трубопроводе и скорость движения жидкости на каждом участке.

Жидкость и ее температура, элементы трубопровода, установленные на каждом участке, диаметры труб и длины участков заданы вариантом. Значения вариантов взять из РГЗ 4.1.

РГЗ 5. Циклон

Подобрать, рассчитать циклон для улавливания пыли при следующих условиях:

- 1) Расход газа при рабочих условиях $V_r, \text{ м}^3/\text{с}$.
- 2) Требуемая степень очистки, $\eta, \%$.
- 3) Параметры газа:
 - температура газа $t_r, \text{ }^\circ\text{C}$;
 - плотность газа при рабочих условиях $\rho_r, \text{ кг/м}^3$;
 - вязкость газа при рабочей температуре $\mu_r, \text{ Па}\cdot\text{с}$.
- 4) Характеристики пыли:
 - концентрация пыли в очищаемом газе (запыленность газа), $C_{\text{вх}}, \text{ г/м}^3$;
 - плотность частиц пыли $\rho_{\text{ч}}, \text{ кг/м}^3$;
 - дисперсный состав частиц пыли:
 - средний размер частиц, $d_m, \text{ мкм}$,
 - среднее квадратичное отклонение в функции распределения частиц по размерам $lg\sigma_{\text{ч}}$.

На основе полученных данных построить чертеж общего вида выбранной конструкции.

Таблица – Варианты индивидуальных заданий для расчета циклона (РГЗ 5)

№	G_r , т/ч	μ_r , Па·с	t_r , °С	ρ_r^* , кг/м ³	ρ_{ch} , кг/м ³	$C_{вх3}$, г/м ³	$lg\sigma_{ch}$	d_m , мкм	η , %
1	6	23,9	90	1,2	1850	90	0,39	9	78
2	3,8	23,6	185	1,3	1700	80	0,44	7	77
3	7,6	22,7	70	0,96	2200	50	0,42	9	79
4	1,2	22	80	1,22	2000	10	0,4	6	80
5	1,4	22,4	50	1	2300	60	0,43	8	82
6	3,6	21,7	125	1,18	2450	80	0,43	7	83
7	5	20,4	55	1,12	2450	110	0,37	9	83
8	8,6	22,3	30	1,14	1950	70	0,36	10	80
9	4,2	22,9	205	1,06	2150	40	0,4	7	77
10	6,4	20,9	95	1,4	2400	50	0,48	6	76

РГЗ 6. Теплообменник «труба в трубе»

Для теплообменника труба в трубе произвести следующие расчеты:

1. Рассчитать и представить в графическом виде зависимость расхода второго теплоносителя от его температуры на выходе.
2. Рассчитать и представить в графическом виде зависимость площади теплообмена от температуры второго теплоносителя на выходе при условии, что $K=1000$.
3. Рассчитать коэффициент K .

Схема теплообменника:



Таблица – Варианты индивидуальных заданий для расчета теплообменника ТвТ (РГЗ 6)

№	Теплоноситель 1			Теплоноситель 2	
	Вещество	Температуры, °С		расход, м ³ /ч	Температура, °С
		вход	выход		вход
1	анилин	100	44	4	вода 8
2	ацетальдегид	20	10	1	вода 5
3	ацетон	55	23	5	вода 8
4	ацетонитрил	50	34	4	вода 1
5	бензальдегид	90	39	1	вода 31
6	бензиловый спирт	95	42	1	вода 30
7	бензонитрил	80	25	1	вода 4
8	бромбензол	85	16	3	вода 11
9	бромистый этил	35	15	1	вода 6
10	бутанон-2	75	39	5	вода 4

РГЗ 7. Кожухотрубный теплообменник

Рассчитать одноходовой по трубному пространству теплообменник для следующих условий:

№	Теплоноситель 1				Теплоноситель 2	
	Вещество	Температуры, °С		расход, м ³ /ч	Вещество	Температура, °С
		вход	выход			вход
1	анилин	100	44	4	вода	8
2	ацетальдегид	20	10	1	вода	5
3	ацетон	55	23	5	вода	8
4	ацетонитрил	50	34	4	вода	1
5	бензальдегид	90	39	1	вода	31
6	бензиловый спирт	95	42	1	вода	30
7	бензонитрил	80	25	1	вода	4
8	бромбензол	85	16	3	вода	11
9	бромистый этил	35	15	1	вода	6
10	бутанон-2	75	39	5	вода	4

Построить чертеж общего вида.

РГЗ 8. Барабанная сушилка

Рассчитать барабанную сушилку с распределительными устройствами для высушивания твердого материала топочными газами при следующих условиях:

- G_k , кг/с – производительность сушилки по высушенному материалу;
- $d_{ч}$, мм – размер частиц (если не указан в таблице, то 0-2 мм);
- ω_n , % – начальная влажность материала (если не указана в таблице, то 20 %);
- ω_k , % – конечная влажность материала (если не указана в таблице, то 1 %);
- t_1 , °С – температура топочных газов на входе в сушильный барабан;
- t_2 , °С – температура топочных газов на выходе из сушильный барабан (если не указана в таблице, то 30 °С);
- A_t , кг/(м³·ч) – объемное напряжение по влаге;
- топливо – природный газ;
- параметры свежего воздуха – среднее значение температуры и влажности для заданного региона и месяца;
- материал перед сушкой хранится при температуре окружающей среды.

Отчет (в т.ч. расчет и графическая часть) должен быть оформлен в соответствии с требованиями, описанными в [1].

1. Расчет непрерывной ректификации бинарных систем : учебно-методические указания к выполнению курсового проекта по курсу «Процес-

сы и аппараты химической технологии» / В. А. Реутов, А. В. Ануфриев, А. М. Заболотная. – Владивосток : Изд-во Дальневост. ун-та, 2013. – 11 с.

№	Материал	$d_{ч}$, мм	$\omega_{н}$, %	$\omega_{к}$, %	t_1 , °C	t_2 , °C	A_{τ} , кг/(м ³ ·ч)	Тип (параметры) внутренних распределительных систем барабана
1.	Глина простая	-	22	5	600-700	80-100	50-60	Подъемно-лопастная
2.	огнеупорная	-	9	0,7	800-1000	700-80	60	Подъемно-лопастная
3.	Известняк	0-15	10-15	1,5	1000	80	45-65	Подъемно-лопастная
4.		0-20	8-10	0,5	800	120	30-40	Подъемно-лопастная
5.	Инфузорная земля	-	40	15	550	120	50-60	Распределительная
6.	Песок	-	4,3-3,7	0,05	840	100	80-88	Распределительная и перевалочная
7.	Руда железная (магнитогорская)	0-50	6,0	0,5	730	-	65	Подъемно-лопастная
8.	марганцевая	2,5	15,0	2,0	120	60	12	Распределительная
9.	Железный колчедан	-	10-12	1-3	270-350	95-100	20-30	Подъемно-лопастная секторная ($d = 1,6$ м, $l = 14$ м)
10.	Сланцы	0-40	38	12	500-600	100	45-60	Подъемно-лопастная
11.	Уголь каменный	-	9,0	0,6	800-1000	60	32-40	Подъемно-лопастная
12.	бурый	0-10	30	10-15	430	150-200	40-65	Подъемно-лопастная
13.	Торф фрезерный	-	50	20	450	100	75	Подъемно-лопастная
14.	Фосфориты	-	6,0	0,5	600	100	45-60	Подъемно-лопастная
15.	Нитрофоска	0,5-4,0	-	1	220	105	0,5-4,0	Подъемно-лопастная секторная
16.	Аммофос	1-4	8-12	1,5	350	110	15-20	Подъемно-лопастная секторная
17.	Диаммофос	1-4	3-4	1	200	90	8-10	Подъемно-лопастная секторная
18.	Суперфосфат гранулированный	1-4	14-18	2,5-3,0	550-600	120	60-80	Подъемно-лопастная секторная ($d = 2,8$ м, $l = 14$ м)
19.	Преципитат	-	55-75	-	500-700	120-130	28-33	Подъемно-лопастная секторная ($d = 3,2$ м, $l = 22$ м)
20.	Сульфат аммония	-	3,5	0,4	82	-	4-5	Подъемно-лопастная
21.	Хлорид бария	-	5,6	1,2	109	-	1,0-2,0	Подъемно-лопастная
22.	Фторид алюминия	-	48-50	3-5,5	750	220-250	18	Подъемно-лопастная и секторная ($n = 3$ об/мин)
23.	Соль поваренная	-	4-6	0,2	150-200	-	7,2	Подъемно-лопастная
24.	Пшеница	-	20	14	150-200	50-80	20-30	Распределительная
25.	Жом свекловичный	-	84	12	750	100-125	185	Распределительная

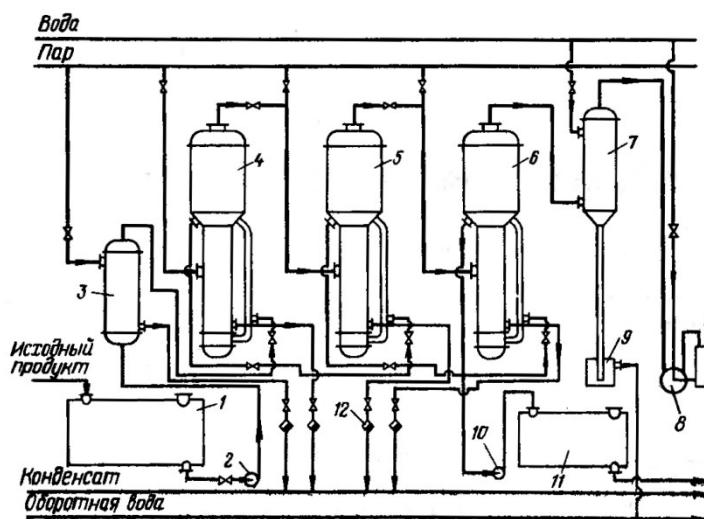
РГЗ 9. Выпарная установка

Принципиальная схема трехкорпусной выпарной установки, состоящей из аппаратов с естественной циркуляцией (с сосной камерой) изображена на рисунке 1.

Исходный раствор из емкости 1 подается насосом 2 в трубное пространство подогревателя 3, где он за счёт теплоты конденсации свежего греющего пара, подаваемого в межтрубное пространство, нагревается до температуры кипения раствора в первом выпарном аппарате 4, обогреваемом греющим паром. Раствор в трубах 4 кипит и в виде парожидкостной смеси поступает в сепарационное пространство аппарата, где происходит её разделение на вторичный пар и упаренный раствор, которые выводятся из корпуса. Упаренный раствор из первого аппарата (корпуса) 4 перекачивается во второй аппарат (корпус) 5 и после аналогичного упаривания в третий аппарат (корпус) 6, в котором происходит его окончательное упаривание до заданной конечной концентрации. Второй и третий аппараты (5 и 6, соответственно) обогреваются вторичным паром, образующимся в предыдущих аппаратах. Часть вторичного пара в виде экстра-пара идёт на производственные нужды.

Вторичный пар из третьего корпуса 6 поступает в барометрический конденсатор смешения 7, где он, контактируя с водой, конденсируется, значительно уменьшая свой объем, в результате чего образуется вакуум, который обеспечивает самопроизвольный переток раствора и вторичного пара из предыдущих в последующие выпарные аппараты. Неконденсирующиеся газы выводятся из системы вакуумным насосом 8. Смесь охлаждающей воды и конденсата выводится из конденсатора 7 при помощи барометрической трубы с гидрозатвором 9.

Сконцентрированный раствор, образующийся в 6, подается насосом 10 в емкость 11. Конденсат греющих паров из подогревателя 3 и выпарных аппаратов 4-6 выводится с помощью конденсатоотводчиков 12.



1 – емкость исходного раствора; 2,10 – насосы; 3 – теплообменник-подогреватель; 4-6 – выпарные аппараты; 7 – барометрический конденсатор; 8 – вакуум-насос;

9 – гидрозатвор; 11 – емкость упаренного раствора; 12 - конденсатоотводчик

Рисунок 1 – Принципиальная схема трехкорпусной выпарной установки

[Ошибка! Источник ссылки не найден., гл. 4, упрощенная схема]

Задание:

Рассчитать и спроектировать трехкорпусную прямоточную выпарную установку для концентрирования водного раствора неорганического соединения.

- Исходная смесь перед подачей в первый выпарной аппарат нагревается до температуры кипения насыщенным водяным паром из ТЭЦ.

- Отбор экстрапара не производится.

- Обозначения исходных данных (см. таблицу 1): G – производительность по исходной смеси, т/час; начальная концентрация растворенного компонента x_n – в исходной смеси, x_k – в дистилляте, % (масс.); t_n – температура исходной смеси, поступающей на установку (температура исходной смеси в емкости 1 по рис. 1), °С; t_b – температура воды, подаваемой в конденсатор, °С; P – абсолютное давление греющего насыщенного водяного пара, МПа; $P_{\text{БК}}$ – давление в барометрическом конденсаторе, МПа.

В ходе выполнения РГЗ требуется рассчитать:

- Материальный и тепловой балансы выпарной установки.
- Основные геометрические параметры выпарных аппаратов.
- Расходы греющего пара, расход воды в конденсаторе.
- Производительность вакуумного насоса.

Дополнительно должны быть рассчитаны:

- Насос для подачи исходной смеси.
- Теплообменник-подогреватель.

- Барометрический конденсатор.

В качестве графической части работы приводятся:

- Схема выпарной установки со вспомогательным оборудованием, с указанием на чертеже потоков, их температур и давлений (выполняется самостоятельно, прилагать к отчету копию готовой схемы не допускается).

- Чертеж выпарного аппарата с продольным разрезом и указанием всех рассчитанных геометрических размеров (высота, диаметр, расстоянием между элементами и т.д.) и, по необходимости, дополнительными видами и разрезами. Чертеж выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ ЕСКД.

Таблица 1 – Исходные данные для проектирования выпарной установки

№	Растворенный компонент	G	x_n	x_k	t_n	t_b	P	$P_{бк}$
1	Гидроксид натрия	3	4,2	15,8	18	18	0,25	0,010
2	Гидроксид калия	3,5	4,7	17,5	19	19	0,30	0,015
3	Хлорид натрия	4	5,5	19,1	20	20	0,35	0,020
4	Хлорид калия	4,5	6,8	20,7	21	21	0,45	0,025
5	Хлорид магния	5	7,9	22,2	22	22	0,60	0,030
6	Хлорид кальция	5,5	9,9	23,3	23	23	0,80	0,035

Примечание: обозначения и размерности величин см. в тексте.

Требования к представлению и оформлению результатов расчетно-графических задач

Все расчеты оформляются в развернутом виде: сначала записывается формула, далее знак равенства и численные значения всех входящих в формулу параметров в той же последовательности, как они стоят в формуле, далее знак равенства и результат вычисления и его размерность, если это размерная величина. Все расчеты проводятся в международной системе измерения физических величин (система СИ).

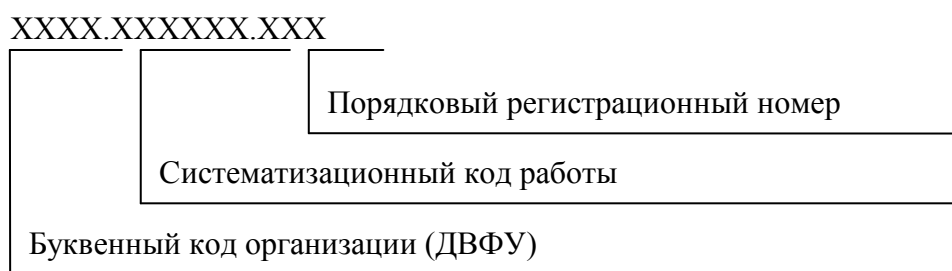
Расчетные формулы должны сопровождаться лаконичными пояснениями, включающими и полную расшифровку всех принятых условных обозначений.

Все справочные величины в обязательном порядке выписываются в явном виде и приводятся в табличном виде, а при необходимости, также и в графическом виде. Величины, значения которых предполагаются по ходу вычислений, также записываются отдельно с обоснованием применяемого в расчетах значения.

Все справочные величины и отдельные важнейшие теоретические положения должны сопровождаться ссылками на использованные литературные источники. Справочные данные из устаревших учебников или справочников выписываются так, как они приведены в первоисточнике и сразу же переводятся в систему СИ.

Графическая часть должна содержать схему установки со вспомогательным оборудованием, с указанием на чертеже потоков, их температур и давлений (выполняется самостоятельно, прилагать к отчету копию готовой схемы не допускается); чертеж установки с продольным разрезом и указанием всех рассчитанных геометрических размеров (высота, диаметр, расстоянием между элементами и т.д).

Ведомость проекта и пояснительная записка выполняются на листах формата А4 в соответствии требованиями и шаблонами ГОСТ 2.106-96 п. 9, 10. Особое внимание необходимо уделить правильному употреблению рамки и основной надписи ГОСТ 2.104-2006. Следует заметить, что основная надпись для заглавного листа раздела и последующих листов отличается. Листы в пределах каждого документа (ведомость, пояснительная записка и др.) нумеруются отдельно, то есть каждый документ начинается с первого листа. Поля для листа формата А4 для левого края – 20 мм, для верхнего, правого, нижнего – 5 мм. Шрифт в соответствии с ГОСТ 2.304-81 должен быть «тип Б» с наклоном 75° размером 3,5 мм. Обозначение основного конструкторского документа в основной надписи (ГОСТ 2.104-2006 графа 2) по следующей схеме:



Систематизационный код работы состоит из шести знаков (три части по два знака каждая) и определяется следующим образом:

- первая часть – буквенное обозначение кафедры, на которой выполняется работа. Кафедра химических и ресурсосберегающих технологий – ХТ;
- вторая соответствует году выполнения работы (последние две цифры);
- третья – тип работы – расчетно-графическая задача – РЗ.

Порядковый регистрационный номер состоит из трех знаков, разбитых на две части:

- первая часть – один знак – номер, определенный в соответствии с направлением ООП студента: 1 – 18.03.01 «Химическая технология»; 2 – 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»; 3 – 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики»;

- вторая часть – два знака – порядковый номер студента из списка задания на РГЗ.

Таким образом, расчетно-графическая задача, выполненная в 2015 году на базовой кафедре химических и ресурсосберегающих технологий, будет иметь следующее основное обозначение: «ДВФУ.ХТ15РЗ.ххх», где часть «ххх» уникальна для каждого студента.

Для обозначения ведомости проекта в графе 2 основной надписи после основного обозначения согласно ГОСТ 2.102-68 необходимо добавить «ЭП»; для пояснительной записки – «ПЗ»; для схемы установки согласно ГОСТ 2.701-2008 – «СЗ»; для чертежа установки – «ВО».

Графическая часть должна оформляться в соответствии с ГОСТ 2.109-73 на листах формата А4, А3 с рамной и основной надписью. Шрифт для надписей должен быть «тип Б» с наклоном 75° размером 3,5 мм. Следует уделить внимание соответствию чертежей стандартам ГОСТ ЕСКД, изучаемых ранее в рамках дисциплин «Начертательная геометрия и инженерная графика» и «Компьютерная графика».

Критерии оценивания расчетно-графических задач:

Параметр	Баллы/оценка
<ul style="list-style-type: none"> - содержание соответствует выбранной теме, - соблюдена четкость структуры работы, - приведены данные отечественной и зарубежной литературы, проблема поставлена и проанализирована, - владение профессиональной терминологией, - выполнение чертежной документации соответствует ГОСТ - грамотность оформления 	100 – 86 (отлично)
<ul style="list-style-type: none"> - содержание соответствует выбранной теме, - соблюдена четкость структуры работы, - приведены данные отечественной и зарубежной литературы, - допущено не более 1 ошибки при объяснении смысла или содержания проблемы, - выполнение чертежной документации соответствует ГОСТ - владение профессиональной терминологией, - допущены одна-две ошибки в оформлении работы 	85 – 76 (хорошо)
<ul style="list-style-type: none"> - содержание соответствует выбранной теме, - соблюдена четкость структуры работы, 	75 – 61

<ul style="list-style-type: none"> - приведены данные нескольких основных источников по рассматриваемой теме, - выполнение чертежной документации соответствует ГОСТ - допущены ошибки при объяснении смысла или содержания проблемы, - слабое владение профессиональной терминологией, - допущено не более 3 ошибок в оформлении работы 	(удовлетворительно)
<ul style="list-style-type: none"> - содержание не соответствует выбранной теме, - четкость структуры работы не соблюдена, - не раскрыта теоретическая составляющая темы, - допущено 3 и более ошибки в смысловом содержании раскрываемой проблемы, - выполнение чертежной документации не соответствует ГОСТ - профессиональная терминология не использована, - допущено 3 и более ошибки в оформлении работы 	60-50 (неудовлетворительно)

Методические рекомендации для подготовки к экзамену

Подготовка к экзамену – вид самостоятельной работы студента, который осуществляется весь период обучения и включает в себя все виды самостоятельной работы.

Изучение теоретической части дисциплин призвано не только углубить и закрепить знания, полученные на аудиторных занятиях, но и способствовать развитию у студентов творческих навыков, инициативы и организовать свое время.

Самостоятельная работа при изучении дисциплин включает:

- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- знакомство с Интернет-источниками;
- подготовку к различным формам контроля (тесты, контрольные работы, коллоквиумы);
- подготовку и написание рефератов;
- выполнение контрольных работ;
- подготовку ответов на вопросы по различным темам дисциплины в той последовательности, в какой они представлены.

Планирование времени, необходимого на изучение дисциплин, студентам лучше всего осуществлять весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение материала.

Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно прорабатывать и дополнять сведениями из других источников литературы, представленных не только в программе дисциплины, но и в периодических изданиях.

При изучении дисциплины сначала необходимо по каждой теме прочитать рекомендованную литературу и составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих тем курса. Для расширения знания по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы; проводить поиски в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем.

При подготовке к контрольной работе необходимо прочитать соответствующие страницы основного учебника. Желательно также чтение дополнительной литературы. При написании контрольной работы ответ следует иллюстрировать схемами.

При выполнении самостоятельной работы по написанию реферата студенту необходимо: прочитать теоретический материал в рекомендованной литературе, периодических изданиях, на Интернет-сайтах; творчески переработать изученный материал и представить его для отчета в форме реферата, проиллюстрировав схемами, диаграммами, фотографиями и рисунками.

Тексты контрольных работ и рефератов должны быть изложены внятно, простым и ясным языком.

При ответе на экзамене необходимо: продумать и четко изложить материал; дать определение основных понятий; дать краткое описание явлений; привести примеры. Ответ следует иллюстрировать схемами, рисунками и графиками.

Приложение 2 к рабочей программе учебной дисциплины



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

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии»
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
профиль «Технологии нефтеперерабатывающих и химических производств»
Форма подготовки очная

Владивосток
2017

Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
	ПК-1 способностью и готовностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции	Знает
Умеет		– находить оптимальные и рациональные технические режимы осуществления основных процессов и аппаратов химических производств; – выявлять основные факторы, определяющие скорость технологического процесса
Владеет		– методикой технологического расчета аппаратуры для проведения типовых химико-технологических процессов
ПК-4 способностью принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения	Знает	– основы теории расчета и проектирования машин и аппаратов химических производств, методы расчета процессов и основных размеров аппаратов; – способы осуществления основных технологических процессов и характеристики для оценки их интенсивности и эффективности
	Умеет	– выполнять основные расчеты технологических процессов и аппаратов химической технологии
	Владеет	– методами расчета аппаратуры для проведения химико-технологических процессов
ПК-8 готовностью к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования	Знает	– принципы осуществления современных типовых процессов и конструкции аппаратов.
	Умеет	– проводить сравнительный анализ конструктивных решений конкретных технологических процессов
	Владеет	– умением подобрать необходимую аппаратуру для проведения типовых химико-технологических процессов

№п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
3	Основные закономерности процессов и общие принципы расчета аппаратов химической	ПК-1	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 1 (УО-1)	Экзамен (вопросы 1-5)

	технологии		Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР (ПР-12)			
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР (ПР-12)			
		ПК-4	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 1 (УО-1)	Экзамен (вопросы 1-5)		
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР (ПР-12)			
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР (ПР-12)			
		ПК-8	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 1 (УО-1)	Экзамен (вопросы 1-5)		
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР (ПР-12)			
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР (ПР-12)			
		4	Механические процессы	ПК-1	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 2-3 (УО-1)	Экзамен (вопросы 6-13)

			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Решение РГР №1-2 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Решение РГР №1-2 (ПР-12)	
		ПК-4	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 2-3 (УО-1)	Экзамен (вопросы 6-13)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Решение РГР №1-2 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Решение РГР №1-2 (ПР-12)	
		ПК-8	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 2-3 (УО-1)	Экзамен (вопросы 6-13)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Решение РГР №1-2 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 1-3 (УО-1, ПР-6) Решение РГР №1-2 (ПР-12)	

5	Гидродинамические процессы	ПК-1	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 4-6 (УО-1)	Экзамен (вопросы 14-86)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 3-5 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 3-5 (ПР-12)	
		ПК-4	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 4-6 (УО-1)	Экзамен (вопросы 14-86)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 3-5 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 3-5 (ПР-12)	
		ПК-8	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 4-6 (УО-1)	Экзамен (вопросы 14-86)

			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 3-5 (ПР-12)		
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 4-6 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 3-5 (ПР-12)		
6	Тепловые процессы и аппараты химической технологии	ПК-1	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 8-10 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 7-12 (УО-1)	Экзамен (вопросы 87-107)	
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 7-10 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 6-7 (ПР-12)		
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 7-10 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 6-7 (ПР-12)		
		ПК-4	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 8-10 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 7-12 (УО-1)		Экзамен (вопросы 87-107)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 7-10 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 6-7 (ПР-12)		
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 7-10 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 6-7 (ПР-12)		

		ПК-8	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 8-10 (УО-1, ПР-6) Опрос на практическом занятии № 7-12 (УО-1)	Экзамен (вопросы 87-107)
	Умеет		Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 7-10 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 6-7 (ПР-12)		
	Владеет		Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 7-10 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 6-7 (ПР-12)		
7	Массообменные процессы и аппараты химической технологии	ПК-1	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6)	Экзамен (вопросы 108-135)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 8-9 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 8-9 (ПР-12)	
		ПК-4	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6)	Экзамен (вопросы 147-174)
			Умеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 8-9 (ПР-12)	
			Владеет	Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 8-9 (ПР-12)	

		ПК-8	Знает	Защита теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6)	Экзамен (вопросы 147-174)
	Умеет		Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 8-9 (ПР-12)		
	Владеет		Сдача теории и отчетов по лабораторным работам № 11-16 (УО-1, ПР-6) Решение РГР № 8-9 (ПР-12)		

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ПК-1 способностью и готовностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции	знает (пороговый уровень)	- закономерности протекания основных процессов химических производств	знание закономерностей протекания основных процессов химических производств	способность привести основные законы и уравнения описывающие процессы химических производств
	умеет (продвинутой)	- находить оптимальные и рациональные технические режимы осуществления основных процессов и аппаратов химических производств; - выявлять основные факторы, определяющие скорость технологического процесса	умение выявлять основные факторы, определяющие скорость технологического процесса и находить оптимальные и рациональные технические режимы осуществления основных процессов и аппаратов химических производств	способность производить расчеты и оценку их результатов для определения параметров процессов химических производств, выявлять основные факторы, влияющие на химико-технологических процесс
	владеет (высокий)	- методикой технологического расчета аппаратуры для проведения типовых химико-технологических процессов	владение методами расчета основной химико-технологической аппаратуры	способность производить технологические расчеты аппаратуры для проведения типовых химико-технологических процессов
ПК-4 способностью принимать конкретные технические решения при разработке технологических	знает (пороговый уровень)	- основы теории расчета и проектирования машин и аппаратов химических производств, методы	знание способов осуществления химико-технологических процессов, их основных характери-	способность привести основные этапы и порядок расчета химико-технологической аппаратуры; способы проведения химико-технологических

процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения		расчета процессов и основных размеров аппаратов; - способы осуществления основных технологических процессов и характеристики для оценки их интенсивности и эффективности	стик, в том числе определяющих эффективность и интенсивность работы; теоретических основ расчета процессов, машин и аппаратов химических производств	процессов; основные характеристики химико-технологических процессов и параметры работы химико-технологической аппаратуры; параметры, характеризующие эффективность и интенсивность их протекания и работы.
	умеет (продвинутый)	- выполнять основные расчеты технологических процессов и аппаратов химической технологии;	умение производить основные расчеты процессов и аппаратов химической технологии	способность рассчитать основные параметры химико-технологических процессов и аппаратуры для их осуществления
	владеет (высокий)	- методами расчета аппаратуры для проведения химико-технологических процессов	владение методами расчета и выбора аппаратуры для осуществления химико-технологических процессов	способность рассчитать и оценить параметры химико-технологических процессов и аппаратуры для их осуществления
ПК-8 готовностью к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования	знает (пороговый уровень)	- принципы осуществления современных типовых процессов и конструкции аппаратов	знание способов проведения и аппаратного оформления процессов химической технологии, основных конструкций аппаратов и их особенностей.	способность назвать способы осуществления основных технологических процессов и привести конструкции аппаратов для их осуществления со схематичными рисунками
	умеет (продвинутый)	- проводить сравнительный анализ конструктивных решений конкретных технологических процессов	умение сравнивать и анализировать конструктивные решения, для осуществления процессов химической технологии	способность сравнивать и анализировать конструктивные решения при выборе химико-технологической аппаратуры
	владеет (высокий)	- умением подобрать необходимую аппаратуру для проведения типовых химико-технологических процессов	умение обоснованно выбирать аппаратуру для осуществления конкретных процессов химической технологии	способность выбрать химико-технологическую аппаратуру на основании базовых сведений о протекании процесса

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Промежуточная аттестация студентов. Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Учебным планом предусмотрены следующие виды промежуточного контроля по семестрам:

- 3 семестр 2 курса –зачет и э экзамен;
- 4 семестр 2 курса – зачет;
- 5 семестр 3 курса – зачет и экзамен.

Оценочные средства для промежуточной аттестации

1 Вопросы к экзамену

Основные закономерности процессов и общие принципы расчета аппаратов химической технологии

- 1 Цель, предмет и задачи курса процессов и аппаратов. Понятие процесса и технологии.
- 2 Классификация основных процессов химической технологии (в зависимости от законов, определяющих скорость их протекания; по способу организации; в зависимости от изменения параметров во времени).
- 3 Основы теории переноса количества движения, энергии, массы.
- 4 Основы теории подобия: виды подобия.
- 5 Основы теории подобия: теоремы подобия.

Механические процессы

- 6 Классификация механических процессов химической технологии.
- 7 Классификация устройств для перемещения твердых материалов.
- 8 Процесс измельчения. Способы измельчения. Классификация методов измельчения.
- 9 Устройство и принцип действия машин и аппаратов для измельчения.
- 10 Крупное, среднее и мелкое дробление. Тонкое и сверхтонкое измельчение.
- 11 Классификация материалов. Ситовая классификация материалов и ситовой анализ. Способы грохочения, типы грохотов.
- 12 Устройство и принцип действия машин и аппаратов для классификации материалов.
- 13 Дозирование и смешивание материалов. Смесители. Дозаторы.

Гидравлика и гидравлические машины. Гидромеханические процессы

- 14 Идеализированные модели структуры потоков. Общие принципы анализа и расчета процессов и аппаратов. Материальный и энергетический балансы.
- 15 Движущая сила, скорость и интенсивность процесса. Основное уравнение процесса.
- 16 Гидростатика и предмет ее изучения. Понятие идеальной и реальной жидкости, их свойства. Капельные и упругие жидкости. Физические свойства жидкостей.
- 17 Классификация сил, действующих в жидкости. Гидростатическое давление и его свойства, единицы измерения в системе СИ.
- 18 Понятие абсолютного, внешнего (атмосферного), избыточного давления и величины вакуума. Физические и технические атмосферы, соотношения между различными единицами давления.
- 19 Основное уравнение гидростатики, его геометрическая и энергетическая интерпретация.
- 20 Уравнение Паскаля. Давление на дно и стенку сосуда.
- 21 Практические приложения основного уравнения гидростатики: принцип сообщающихся сосудов, пневматический измеритель уровня, работа гидравлического пресса.
- 22 Гидродинамика и предмет ее изучения. Внутренняя, внешняя и смешанная задачи гидродинамики. Понятие вязкости, мгновенной и средней скорости, расхода жидкости, единицы их измерения в системе СИ. Уравнения расхода.
- 23 Уравнение неразрывности (сплошности) потока.
- 24 Опыты Рейнольдса, режимы движения жидкостей и их характеристика, понятие эквивалентного диаметра и его расчет.
- 25 Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости Л.Эйлера.
- 26 Уравнение Д.Бернулли для идеальной жидкости (вывод), геометрический и энергетический смысл членов этого уравнения.
- 27 Уравнение Д.Бернулли для реальной жидкости, его физическая и геометрическая интерпретации.
- 28 Использование уравнения Бернулли для расчета процесса истечения жидкости из отверстия при постоянном уровне заполнения.
- 29 Гидравлические сопротивления в трубопроводах. Понятие местного сопротивления, типы местных сопротивлений, расчет потерь напора и давления на местных сопротивлениях.

- 30 Режимы трения жидкостей и их характеристика. Понятие абсолютной и относительной шероховатости, гладкости трубопровода. Расчет потерь напора и давления на трение.
- 31 Основы теории подобия, ее преимущества. Физическое и математическое моделирование. Условия и теоремы подобия.
- 32 Геометрическое, физическое, временное подобие. Подобие начальных и граничных условий. Понятие коэффициента подобия, инвариантов, симплексов и критериев подобия.
- 33 Подобие гидродинамических процессов. Обработка уравнения Навье-Стокса методом анализа размерностей. Критерии гидродинамического подобия. Обобщенное критериальное уравнение.
- 34 Классификация насосов. Основные параметры насоса: подача, напор, потребляемая мощность, КПД.
- 35 Схема насосной установки и ее описание. Напор, создаваемый насосом для проектируемой и действующей установки. Расчет напора по показаниям манометра и вакуумметра.
- 36 Расчет предельно допустимой высоты всасывания насоса. Явление кавитации. Выбор насоса.
- 37 Последовательное и параллельное включение насосов. Способы регулирования подачи насосов.
- 38 Устройство и принцип действия центробежного насоса, характеристики насоса при постоянном числе оборотов. Определение рабочей точки при работе насоса на трубопровод. Формулы пропорциональности.
- 39 Осевые, вихревые и шестеренчатые насосы. Устройство и принцип действия. Преимущества и недостатки.
- 40 Поршневые насосы: классификация, устройство, принцип действия, область применения. График подачи.
- 41 Перемещение и сжатие газов. Классификация компрессорных машин.
- 42 Термодинамические основы работы компрессоров.
- 43 Индикаторная диаграмма поршневого компрессора.
- 44 Теоретическая удельная работа, затрачиваемая на сжатие газа в компрессорной машине. Подача и мощность поршневого компрессора. Объемный КПД поршневого компрессора. Число ступеней сжатия.
- 45 Гидромеханические процессы. Понятие неоднородной системы. Классификация неоднородных систем.
- 46 Цели процесса разделения неоднородных систем. Выбор методов разделения. Классификация методов разделения неоднородных систем.
- 47 Материальный баланс процесса разделения. Стесненное осаждение.

- 48 Физические основы разделения неоднородных систем под действием силы тяжести. Режимы осаждения и их характеристика.
- 49 Осаждение частиц под действием силы тяжести. Расчет скорости осаждения частиц в любом режиме, недостаток метода. Формула Стокса.
- 50 Метод Лященко. Диаграмма Лященко. Порядок расчета скорости осаждения по диаграмме Лященко.
- 51 Сущность процесса отстаивания. Схема процесса отстаивания на примере простого отстойника-сгустителя. Расчет отстойника-сгустителя.
- 52 Классификация отстойников. Устройство и принцип работы отстойников: с наклонными перегородками, с гребковой мешалкой.
- 53 Классификация отстойников. Устройство и принцип работы отстойника для разделения эмульсий.
- 54 Очистка газов. Устройство и принцип работы пылеосадительной камеры. Расчет пылеосадительной камеры.
- 55 Физическая сущность мокрой очистки газов. Способы осуществления контакта запыленного газа с жидкостью. Устройство и принцип работы скруббера Вентури.
- 56 Устройство и принцип работы полого и насадочного скрубберов. Расчет аппаратов мокрой очистки газов.
- 57 Физические основы фильтрования (понятия: фильтрата, осадка; типы фильтрующих перегородок и требования, предъявляемые к ним; типы образующихся осадков; виды фильтрования и их характеристика).
- 58 Принципиальная схема фильтрования. Классификация фильтров. Движущая сила фильтрования и способы ее создания.
- 59 Дифференциальное уравнение фильтрования. Физический смысл входящих в него величин.
- 60 Уравнение фильтрования при постоянной движущей силе процесса (вывод).
- 61 Уравнение фильтрования при постоянной скорости процесса (вывод). Уравнение фильтрования при постоянных перепаде давления и скорости процесса (вывод).
- 62 Экспериментальное определения констант сжимаемых осадков. Определение показателя сжимаемости.
- 63 Классификация конструкций фильтров. Устройство и принцип работы нутч – фильтра, характеристика стадий процесса.
- 64 Конструкции фильтров для очистки газовых систем. Устройство и принцип работы рукавного фильтра.
- 65 Расчет фильтров. Расчет периодически действующих фильтров. Устройство и принцип работы вертикального листового фильтра.

- 66 Расчет непрерывно действующих фильтров. Устройство и принцип работы барабанного вакуум-фильтра.
- 67 Физические основы электроочистки газов. Сущность метода электроосаждения. Формы электродов для создания неоднородного электрического поля.
- 68 Скорость электроосаждения. Расчет электрофильтра. Устройство и принцип работы трубчатого электрофильтра.
- 69 Принцип разделения неоднородных систем в электрофильтрах. Устройство и принцип работы пластинчатого электрофильтра.
- 70 Разделение неоднородных систем под действием центробежной силы. Скорость осаждения под действием центробежной силы.
- 71 Определение скорости центробежного осаждения при ламинарном режиме. Фактор разделения. Определение скорости центробежного осаждения по методу Лященко.
- 72 Конструкции простейшего и батарейного циклонов. Преимущества и недостатки циклонов. Расчет циклонов.
- 73 Центрифугирование. Классификация центрифуг. Фактор разделения. Принцип работы отстойных центрифуг. Приведите схему и опишите конструкцию подвесной отстойной центрифуги.
- 74 Центрифугирование. Принцип работы фильтрующих центрифуг. Приведите схему и опишите конструкцию фильтрующей центрифуги с пульсирующим поршнем.
- 75 Приведите схему и опишите конструкцию центрифуги со шнековым устройством для выгрузки осадка. Расчет центрифуг.
- 76 Применение процесса центрифугирования для разделения эмульсий. Приведите схему и опишите принцип работы тарельчатого сепаратора.
- 77 Перемешивание в жидких средах. Цели процесса перемешивания. Способы перемешивания. Интенсивность и эффективность процесса.
- 78 Механическое перемешивание. Классификация мешалок. Конструкции механических мешалок, их характеристика.
- 79 Пневматическое и циркуляционное перемешивание. Перемешивание в трубопроводах.
- 80 Определение мощности, затрачиваемой на перемешивание. Расчет рабочей мощности механической мешалки (с выводом). Расчет пусковой мощности мешалки. Расчет мощности двигателя.
- 81 Основное критериальное уравнение процесса перемешивания с модифицированными критериями подобия. Режимы перемешивания. Определение констант критериального уравнения.

- 82 Принцип псевдооживления. Достоинства и недостатки кипящего слоя. Области применения. Типы зернистых слоев.
- 83 Разновидности псевдооживленного слоя.
- 84 Основные характеристики псевдооживленного слоя.
- 85 Кривые псевдооживления. Расчет критических и оптимальной рабочей скоростей.
- 86 Основные конструкции аппаратов с псевдооживленным слоем. Расчет аппаратов с псевдооживленным слоем.

Тепловые и массообменные процессы

- 87 Три способа переноса теплоты. Физические основы теплопередачи, основные понятия и определения. Тепловые балансы.
- 88 Передача теплоты теплопроводностью. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, его физический смысл, размерность.
- 89 Дифференциальное уравнение теплопроводности. Коэффициент температуропроводности, его физический смысл, размерность.
- 90 Уравнения теплопроводности плоской и цилиндрической стенок.
- 91 Уравнения теплопроводности плоской многослойной и цилиндрической многослойной стенок.
- 92 Тепловое излучение. Закон Стефана-Больцмана, закон Кирхгофа. Определение количества теплоты при взаимном излучении двух твердых тел.
- 93 Конвективный теплообмен. Закон теплоотдачи Ньютона. Коэффициент теплоотдачи, его физический смысл, размерность. От каких факторов зависит коэффициент теплоотдачи.
- 94 Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена.
- 95 Тепловое подобие. Основные критерии подобия и их физический смысл. Обобщенное критериальное уравнение.
- 96 Теплоотдача при конденсации паров и кипении жидкостей.
- 97 Теплопередача как сложный вид теплообмена. Уравнение теплопередачи. Коэффициент теплопередачи, его физический смысл, размерность и расчет.
- 98 Взаимные направления движения теплоносителей. Определение средней движущей силы процесса теплопередачи при различных взаимных направлениях теплоносителей.
- 99 Классификация теплообменных аппаратов. Кожухотрубчатые теплообменники. Разновидности конструкций, области применения.
- 100 Классификация теплообменных аппаратов. Спиральные, пластинчатые, оросительные теплообменники. Области применения.
- 101 Нагревающие агенты и способы нагревания.

- 102 Охлаждающие агенты, способы охлаждения и конденсации.
- 103 Физические основы выпаривания. Способы выпаривания.
- 104 Однокорпусное выпаривание. Тепловой и материальный балансы.
- 105 Температурные потери и полезная разность температур. Расчет температуры кипения раствора.
- 106 Физическая сущность многокорпусного выпаривания. Определение оптимального числа корпусов выпарной установки.
- 107 Материальный и тепловой балансы многокорпусных установок.
- 108 Классификация массообменных процессов. Основные понятия и определения. Способы выражения составов фаз.
- 109 Равновесие между фазами. Линия равновесия. Правило фаз. Закон Генри. Закон Рауля.
- 110 Материальный баланс массообменного аппарата (на примере противоточного абсорбера). Уравнение рабочей линии. Направление массопередачи и движущая сила массообменного процесса.
- 111 Молекулярная диффузия. Первый и второй законы Фика. Коэффициент молекулярной диффузии, его физический смысл и от каких факторов он зависит.
- 112 Массоотдача. Уравнение массоотдачи. Коэффициент массоотдачи.
- 113 Уравнение массопередачи. Коэффициент массопередачи. Понятие фазовых сопротивлений.
- 114 Уравнение массопередачи при переменной движущей силе процесса. Расчет среднего значения движущей силы процесса массопередачи. Число единиц переноса.
- 115 Подобие диффузионных процессов. Критерии диффузионного подобия. Обобщенное критериальное уравнение конвективно-массообмена.
- 116 Абсорбция: физическая сущность и разновидности процесса. Закон равновесия при абсорбции. Тепловой эффект абсорбции. Материальный баланс противоточного абсорбера.
- 117 Уравнение рабочей линии противоточного абсорбера. Влияние удельного расхода абсорбента на габариты аппарата.
- 118 Классификация абсорбционных аппаратов. Конструкции поверхностных и насадочных абсорберов.
- 119 Классификация абсорбционных аппаратов. Конструкции насадочных и барботажных абсорберов. Типы тарелок.
- 120 Дистилляция и ректификация: назначение и физическая сущность процессов. Иллюстрация принципа осуществления этих процессов на диаграмме температура-состав.

- 121 Простая дистилляция. Варианты осуществления и области применения процесса. Схема установки. Материальный баланс процесса.
- 122 Физические основы непрерывной ректификации. Схема установки и ее принцип работы. Общий материальный баланс.
- 123 Схема ректификационной установки непрерывного действия и ее принцип работы. Материальный баланс верхней части колонны, уравнение линии рабочих концентраций для этой части.
- 124 Схема ректификационной установки непрерывного действия и ее принцип работы. Материальный баланс нижней части колонны, уравнение линии рабочих концентраций для этой части.
- 125 Изображение процесса непрерывной ректификации на У-Х диаграмме. Построение рабочих линий, определение теоретического и действительного числа тарелок.
- 126 Сушка. Физическая сущность процесса. Способы тепловой сушки. Формы связи влаги с материалом.
- 127 Основные параметры влажного воздуха. I-x диаграмма влажного воздуха.
- 128 I-x диаграмма влажного воздуха. Изображение теоретического процесса сушки на I-x диаграмме. Определение температуры мокрого термометра и точки росы.
- 129 Способы количественной оценки влагосодержания материала. Материальный баланс процесса сушки.
- 130 Тепловой баланс воздушной калориферной сушилки. Изображение действительного процесса сушки на I-x диаграмме. Определение расхода воздуха и теплоты на сушку.
- 131 Изображение вариантов сушильного процесса I-x диаграмме: сушка с промежуточным подогревом воздуха по зонам, сушка с частичной рециркуляцией отработанного воздуха. Определение расхода воздуха и теплоты.
- 132 Кинетические закономерности процесса сушки. Скорость сушки. Кривые сушки и скорости сушки, температурная кривая. Их анализ. Периоды процесса сушки.
- 133 Конструкции туннельной и барабанной сушилок.
- 134 Конструкции ленточной и вальцевой сушилок.
- 135 Конструкции сушилок кипящего слоя и распылительной.

Критерии оценки вопросов к экзамену

Отметка "Отлично"

1. Глубокое и прочное усвоение материала, все предоставленные задания выполняются правильно.
2. Ответ сформирован полно, правильно обоснован ход суждения.
3. Материал изложен в определенной логической последовательности, литературным языком.
4. Ответ самостоятельный.

Отметка "Хорошо"

- 1, 2, 3 – аналогично отметке "Отлично".
4. Допущены 1-2 несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.

Отметка "Удовлетворительно"

1. Знание только основного материала, но не деталей.
2. Допущены ошибки и неточности в ответах.
3. Ответ неполный, хотя и соответствует требуемой глубине, имеет нарушения логической последовательности.

Отметка "Неудовлетворительно"

1. Незнание или непонимание наиболее существенной части учебного материала.
2. Не выполнена значительная часть задания, имеются существенные ошибки.

2 Примеры вопросов и тестовых заданий экзамена

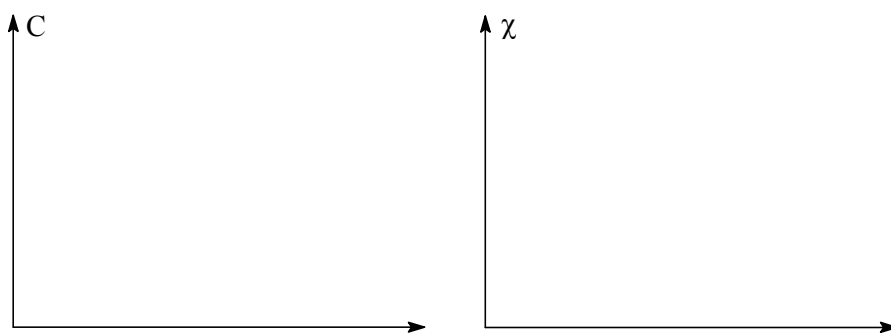
Часть А

Ответом заданий части «А» является изображение (рисунок, график, ...). В поле ответа дайте изображения и необходимые подписи.

Для обратимых экзотермической и эндотермической реакций изобразите зависимости степеней превращения от температуры



Изобразите графически зависимости $\alpha = f(x, y, z)$ и $\chi = f(x, y, z)$ для РИС и РИВ



Изобразите схемы рецикла и байпаса:

Часть В

Ответом заданий части «В» могут быть слова, фразы или формулы, пропущенные в высказываниях, приведенных в заданиях. (Ответ должен дополнять утверждение, приведенное в задании, так, чтобы оно превратилось в истинное).

Нагревание глухим паром означает

Рекуператоры – это

Содержание низкокипящего компонента в парах снизу вверх по ректификационной колонне

Содержание высококипящего компонента в жидкой фазе снизу вверх по ректификационной колонне

Верхняя и нижняя части ректификационной колонны называются соответственно

Флегмовое число – это

Часть С

В заданиях части «С» в поле ответа рядом с числом, обозначающим объект из первого столбца, напишите буквы, обозначающие соответствующие объекты из второго столбца. Одному числу может соответствовать несколько букв. Если элементу левого столбца не соответствует ни одного элемента правого столбца, поставьте прочерк.

С1. Движущей силой ... процесса является	1. механического 2. гидродинамического 3. теплообменного 4. массообменного 5. химического	А. концентрации веществ – продуктов реакции Б. концентрации реагирующих веществ В. разность между рабочей и равновесной концентрациями веществ Г. разность между концентрациями исходных веществ и веществ – продуктов реакции Д. разность давлений Е. разность температур
---	---	---

1 – 2 – 3 – 4 – 5 –

С2.	1. Пример критериального уравнения для вычисления скорости осаждения частиц в поле сил тяжести 2. Пример критериального уравнения для вычисления константы теплообмена 3. Пример критериального уравнения для вычисления константы массообмена	А. $\varepsilon = \left(\frac{18 Re + 0.36 Re^2}{Ar} \right)^{0.21}$ Б. $Q = KF \frac{(\Delta t_H - \Delta t_K)}{\ln(\Delta t_H / \Delta t_K)}$ В. $Nu' = 0.035 Re_y^{0.8} (Pr')^{0.3}$ Г. $Re = \frac{Ar}{18 + 0.61 \sqrt{Ar}}$ Д. $Nu = 0.008 Re^{0.9} Pr^{0.43}$
------------	--	---

1 – 2 – 3 –

С3. Размерность величины соответствует	1. $\frac{Вт}{м \cdot К}$ 2. $\frac{кВт \cdot м^3}{м^2 \cdot с \cdot кмоль}$ 3. $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	А. коэффициенту теплопередачи Б. коэффициенту массопередачи В. коэффициенту теплопроводности Г. коэффициенту теплоотдачи
---	--	---

1 – 2 – 3 –

С4.	1. Тарелка – это 2. Теоретическая тарелка – это 3. Теоретическая ступень изменения концентрации – это	А. гипотетический участок массообменного аппарата, на котором потоки фаз, покидающие этот участок, находятся в равновесии Б. изменение концентрации, соответствующее процессу полного обмена распределяемого вещества между фазами В. специально организованная горизонтальная перегородка в массообменной колонне Г. специально организованная вертикальная поверхность в массообменной колонне
------------	---	---

1 – 2 – 3 –

C5.	1. Перенос вещества из одной фазы в другую – 2. Перемещение вещества с потоком фазы – 3. Массоперенос нормально к поверхности раздела фаз через пограничную пленку –	А. массообмен Б. массопроводность В. массопередача Г. массоотдача Д. потоковый массоперенос
------------	--	---

1 – 2 – 3 –

C6. Балансовая линия соответствует процессу при относительном движении потоков	1. 	3. 	А. прямоток Б. противоток В. идеальное перемешивание фазы x Г. идеальное перемешивание фазы y Д. идеальное перемешивание обеих фаз
	2. 	4. 	

1 – 2 – 3 – 4 –

C7. Рабочая линия соответствует процессу при относительном движении потоков	1. 	4. 	А. прямоток Б. противоток В. идеальное перемешивание фазы x Г. идеальное перемешивание фазы y Д. идеальное перемешивание обеих фаз
	2. 	5. 	
	3. 	6. 	

1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 –

<p>С8. Сети ректификационных колонн, наиболее подходящие для перегонки четырехкомпонентных смесей (К,Л,М,Н) с приблизительно равным содержанием веществ, если температуры кипения этих веществ отличаются следующим образом</p>	<p>1. $K > L \gg M \approx N$ 2. $K \gg L \approx M > N$ 3. $K \approx L > M \gg N$</p>	
--	---	--

1 – 2 – 3 –

Часть D

В поле ответа для заданий части «D» запишите последовательность цифр, которые соответствуют закономерному изменению характеристики объектов, указанных в заданиях.

Д1. Ориентировочные наивысшие значения коэффициентов теплоотдачи увеличиваются в ряду:

- а) кипение органических жидкостей
- б) пленочная конденсация паров воды
- в) нагревание и охлаждение газов
- г) кипение воды и водных растворов
- д) нагревание и охлаждение органических жидкостей
- е) нагревание и охлаждение масел

.....

Д2. Содержание низкокипящего компонента в дистилляте возрастает в ряду:

- а) ректификация с малым флегмовым числом
- б) ректификация с большим флегмовым числом
- в) однократная перегонка с частичной дефлегмацией
- г) простая перегонка

Критерии оценки экзаменационных тестовых заданий

Комплексный экзаменационный билет формируется из 20 заданий различных типов разделенных на 4 части (А, В, С, D). Каждое задание блоков А, В, D оценивается в 1 балл, каждое задание блока С оценивается в 2 балла. Из общей суммы баллов рассчитывается процент выполнения работы, на основании которого выставляется итоговая оценка по следующей шкале:

100-86 % – "отлично"

85-76 % – "хорошо"

76-61 % – "удовлетворительно"

менее 60 % – "неудовлетворительно"

3 Критерии выставления оценки на зачете

Оценка "зачтено" выставляется студенту, если он:

- сдал все письменные работы (решения домашних задач, отчеты о выполнении лабораторных работ);
- защитил все теории и отчеты по лабораторным работам (успешно ответил на вопросы для самостоятельной подготовки по темам лабораторных работ)
- набрал не менее 61 % рейтинговой оценки по результатам лабораторных работ и практических занятий.

Вопросы по темам лабораторных работ и для подготовки к практическим занятиям приведены в Приложении 1.

Оценочные средства для текущей аттестации

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

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется преподавателем.

Вопросы для самостоятельной подготовки к практическим и лабораторным занятиям, расчетно-графические задачи, требования к оформлению отчетов, а также критерии их оценивания приведены в Приложении 1.

1. Пример тестовых заданий для контроля знаний по разделу I

1. Критериальным уравнением является:

а) $Re = \frac{\rho w d}{\mu}$

б) $Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}$

в) $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 0,88 \ln(Re\sqrt{\lambda}) - 0,91$

г) $z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g} = const$

2. Основой материального баланса является

- а) закон сохранения массы
- б) закон сохранения энергии
- в) уравнение неразрывности потока
- г) уравнение Бернулли

3. Плотность идеального газа может быть рассчитана при использовании:

- а) закона Рауля
- б) закона Генри
- в) уравнения Клапейрона-Менделеева
- г) уравнения Бернулли

4. Какого вида давления не существует:

- а) абсолютное,
- б) избыточное,
- в) барометрическое,
- г) верного варианта нет

2. Пример тестовых заданий для контроля знаний по разделу II

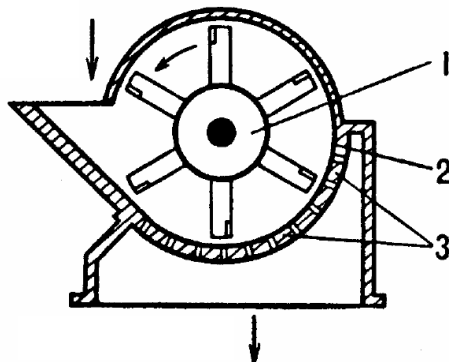
1. Гранулометрический состав нельзя определить:

- а) седиментацией;
- б) ситовым анализом;
- в) коагуляцией;
- г) нет правильного ответа.

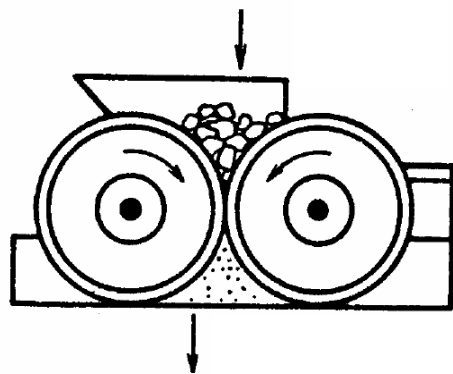
2. Для измельчения крупнокускового материала используют:

- а) щековые мельницы;
- б) щековые дробилки;
- в) барабанные мельницы;
- г) барабанные дробилки.

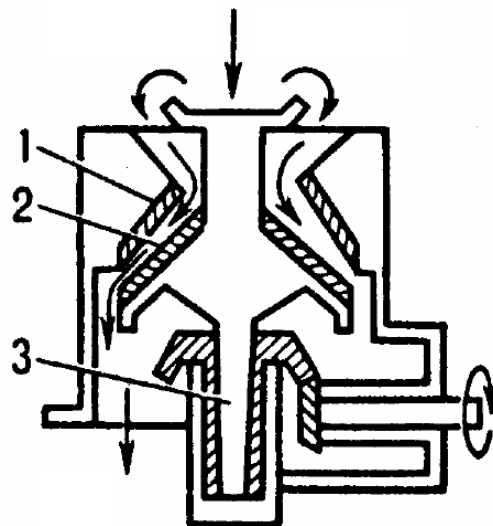
3. Роторная дробилка представлена на рисунке:



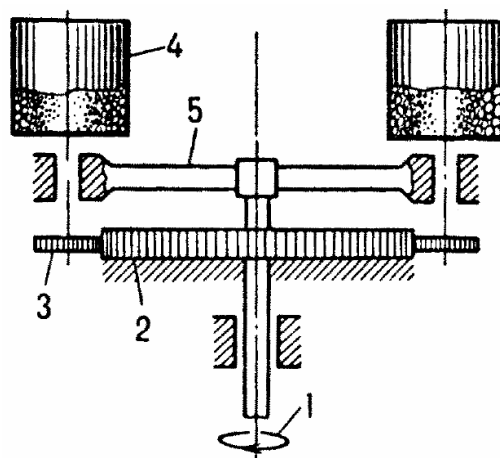
а)



б)

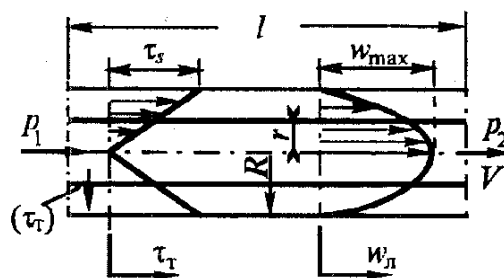


в)



г)

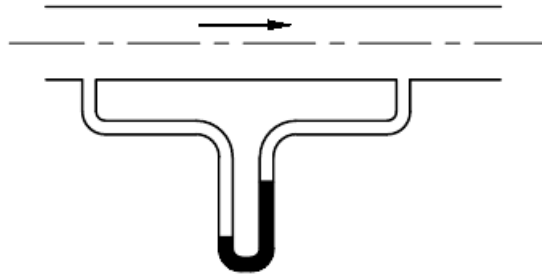
3. Пример тестовых заданий для контроля знаний по разделу III



4. На рисунке представлен ... режим движения ньютоновской жидкости в круглой трубе.

а) ламинарный;

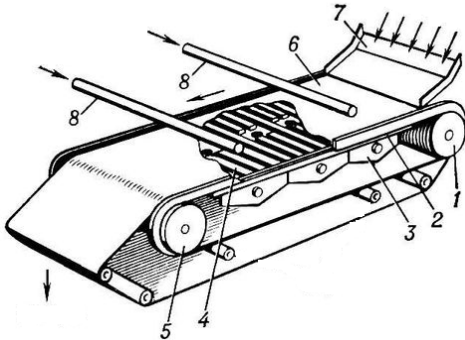
- б) переходный;
- в) турбулентный;
- г) любой.



5. На рисунке представлен:
- а) дифференциальный манометр;
 - б) интегральный манометр;
 - в) дифференциальный термометр;
 - г) интегральный термометр.

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g} = const$$

6. Это уравнение:
- а) Бернулли;
 - б) Дарси-Вейсбаха;
 - в) Эйлера;
 - г) Архимеда.



7. На рисунке представлен:
- а) фильтр-пресс;
 - б) нутч-фильтр;
 - в) барабанный фильтр;
 - г) ленточный фильтр.

4. Пример тестовых заданий для контроля знаний по разделу IV

1. Уравнение, определяющее тепловой поток, который необходим для изменения температуры потока на Δt °С:

а) $Q = kF\Delta t_{cp}$

- б) $Q = cG\Delta t$
- в) $Q = cF\Delta t$
- г) $Q = kG\Delta t_{cp}$

2. Аккумулирующая теплоту насадка характерна для

- а) рекуператора
- б) регенератора
- в) тепловой трубы
- г) контактного теплообменника

3. Поток энергии в Джоулях, отнесённый к одной секунде, это –

- а) тепловой поток
- б) плотность теплового потока
- в) количество теплоты
- г) теплопроводность
- д) теплоперенос

4. При проектировании теплообменников предпочтительным является ... режим течения жидкости.

- а) ламинарный;
- б) переходный;
- в) турбулентный;
- г) любой.

5. Пример тестовых заданий для контроля знаний по разделу V

1. Основная цель создания массообменных устройств:

- а) увеличение объема удерживаемой фазы
- б) уменьшение турбулизации потоков контактирующих фаз
- в) увеличение поверхности межфазного контакта
- г) уменьшение гидравлического сопротивления

2. Основными характеристиками насадки в массообменных процессах являются:

- а) удельная поверхность и порозность;
- б) порозность и плотность;
- в) плотность и геометрические размеры;
- г) геометрические размеры и удельная поверхность.

3. При высокой концентрации растворенного вещества, предпочтительным для его извлечения будет метод:

- а) адсорбции;
- б) абсорбции;
- в) экстракции;
- г) коагуляции.

4. Движущей силой массообменных процессов является:
- а) разность химических потенциалов;
 - б) разность температур;
 - в) разность давлений;
 - г) все вышеперечисленное.
5. Основное требование предъявляемое к экстрагентам:
- а) высокая температура кипения;
 - б) низкая плотность;
 - в) активность;
 - г) селективность.

6. Пример тестового задания для контроля знаний по разделу 1 тем для самостоятельного изучения.

1. Внутренний макроскопический параметр равновесной термодинамической системы, характеризующий ее термическое состояние
- д) давление
 - е) температура
 - ж) энтропия
 - з) энтальпия
 - и) внутренняя энергия
 - к) нет ответа
2. Уравнение состояния в пространстве состояний $p-V-T$ изображается
- а) поверхностью
 - б) координатной плоскостью
 - в) кривой
 - г) энтальпией
 - д) точкой
3. Термодинамическая система, не обменивающаяся со средой массой и энергией, называется
- а) механически изолированной
 - б) открытой
 - в) изолированной
 - г) адиабатически изолированной
 - д) закрытой
4. Сопло, используемое для достижения сверхзвуковых скоростей
- а) комбинированное
 - б) сужающееся
 - в) постоянного сечения

5. Скорость звука для идеальных газов возрастает в последовательности
- а) кислород
 - б) гелий
 - в) азот
 - г) воздух
 - д) водород

7. Пример тестового задания для контроля знаний по разделу 2 тем для самостоятельного изучения.

1. Толщина пограничного слоя при увеличении вязкости потока
 - а) уменьшится
 - б) увеличится
 - в) усредняется
 - г) останется неизменной
2. Побудителем естественного движения среды является
 - а) разность плотностей среды
 - б) внешние силы, действующие на среду
 - в) изменение теплопроводности среды
 - г) изменение вязкости среды
3. Аккумулирующая теплоту насадка характерна для
 - д) рекуператора
 - е) регенератора
 - ж) тепловой трубы
 - з) контактного теплообменника
4. Поток энергии в Джоулях, отнесённый к одной секунде, это –
 - е) тепловой поток
 - ж) плотность теплового потока
 - з) количество теплоты
 - и) теплопроводность
 - к) теплоперенос

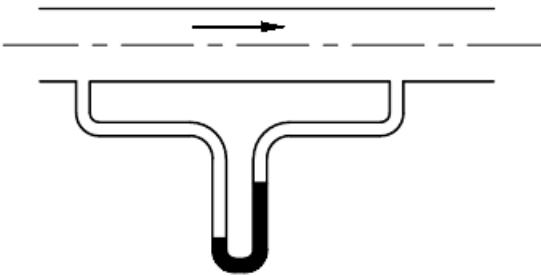
Критерии оценки тестирования

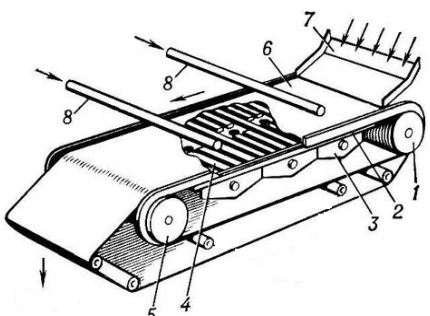
Из списка вопросов студенту выдается случайным образом 20 вопросов. Оценивание проводится по двадцатибалльной шкале.

Тест включает 20 заданий, максимальная оценка по тесту – 20.

В рамках контроля уровня усвоения знаний по дисциплине допускается результат тестирования, не ниже 11 баллов.

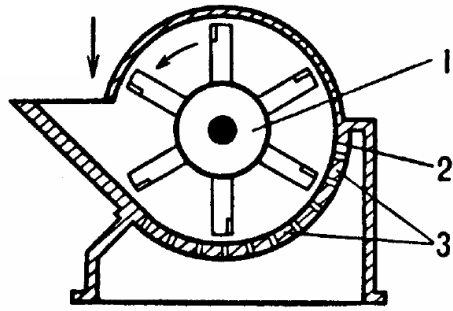
Образец заданий для проверки сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Вопросы	
<p>ПК-1</p> <p>способностью и готовностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции</p>	<p>Температура может быть измерена на основании следующего физического явления:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) изменение объема жидкого тела при изменении температуры; 2) изменение сопротивления полупроводника при изменении температуры; 3) разного линейного расширения двух металлов; 4) всё вышеперечисленное. 	4
	<div style="text-align: center;">  </div> <p>На рисунке представлен:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) дифференциальный манометр; 2) интегральный манометр; 3) дифференциальный термометр; 4) интегральный термометр. 	1
	<p>На основании какого явления не может быть измерен расход жидкости:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) возникновение перепада давления при прохождении через диафрагму (сужение трубопровода); 2) изменение времени прохождения звуковых колебаний при изменении скорости потока; 3) изменения уровня в закрытой емкости; 4) изменение скорости вращения крыльчатки. 	3
	<p>Какого вида давления не существует:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) абсолютное, 2) избыточное, 3) барометрическое, 4) верного варианта нет 	4
	<p>Данный метод измерения используется для проверки датчиков давления и не применяется в технологических схемах:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) жидкостные, 2) деформационные, 3) грузопоршневые 4) электрические 	3

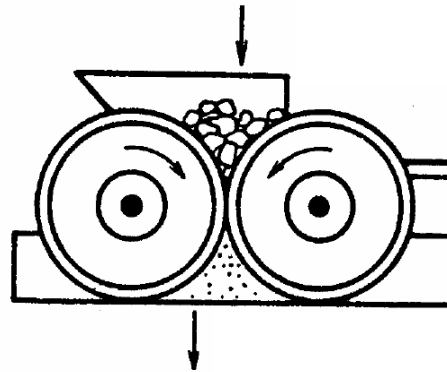
ПК-4 способностью принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения	$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g} = const$ <p>Это уравнение:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Бернулли; 2) Дарси-Вейсбаха; 3) Эйлера; 4) Архимеда. 	1
	<p>При высокой концентрации растворенного вещества, предпочтительным для его извлечения будет метод:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) адсорбции; 2) абсорбции; 3) экстракции; 4) коагуляции. 	3
	<p>Для измельчения крупнокускового материала используют:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) щековые мельницы; 2) щековые дробилки; 3) барабанные мельницы; 4) барабанные дробилки. 	2
	<p>При проектировании теплообменников предпочтительным является ... режим течения жидкости.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ламинарный; 2) переходный; 3) турбулентный; 4) любой. 	3
	<p>Движущей силой массообменных процессов является:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) разность химических потенциалов; 2) разность температур; 3) разность давлений; 4) все вышеперечисленное. 	1
	<p>Основное требование предъявляемое к экстрагентам:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) высокая температура кипения; 2) низкая плотность; 3) активность; 4) селективность. 	4
ПК-8 готовностью к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования	 <p>На рисунке представлен:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) фильтр-пресс; 2) нутч-фильтр; 3) барабанный фильтр; 4) ленточный фильтр. 	4

Роторная дробилка представлена на рисунке:

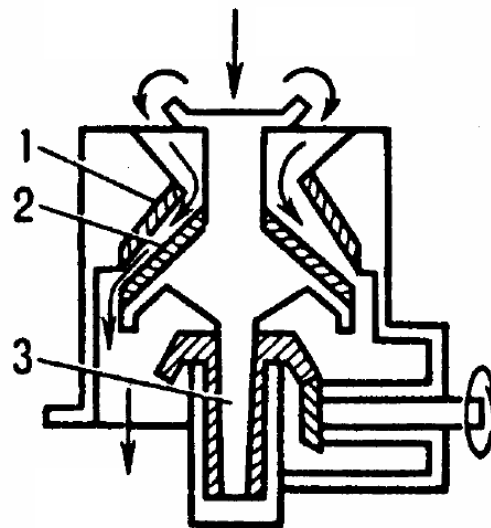
1



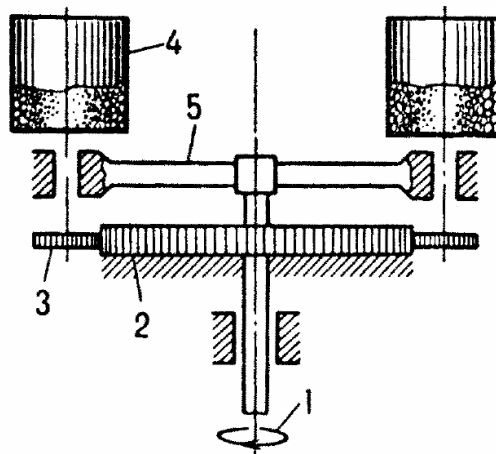
1)



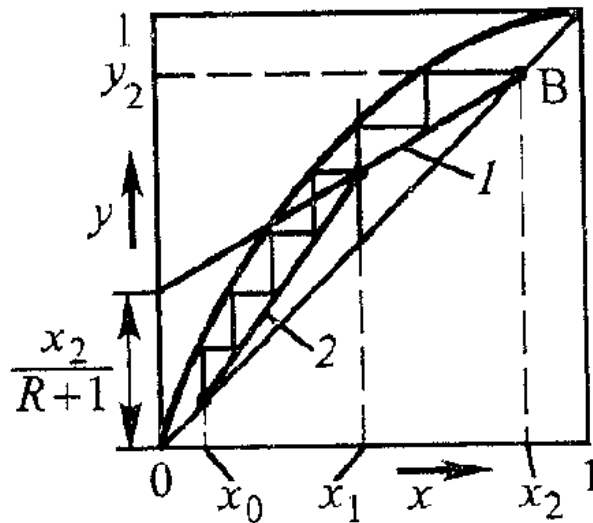
2)



3)



4)



3

На данной диаграмме приведены:

- 1) рабочая и балансовые линии для установки непрерывной ректификации;
- 2) рабочая и балансовые линии для установки периодической ректификации;
- 3) рабочая линия и линия равновесия для установки непрерывной ректификации;
- 2) рабочая линия и линия равновесия для установки периодической ректификации.

Основными характеристиками насадки в массообменных процессах являются:

- 1) удельная поверхность и порозность;
- 2) порозность и плотность;
- 3) плотность и геометрические размеры;
- 4) геометрические размеры и удельная поверхность.

1

Гранулометрический состав нельзя определить:

- 1) седиментацией;
- 2) ситовым анализом;
- 3) коагуляцией;
- 4) нет правильного ответа.

3