Рабочая программа дисциплины (модуля) «Процессы и аппараты химической технологии», включая оценочные материалы

1. Требования к результатам обучения по дисциплине (модулю)

1.1. Перечень компетенций, формируемых дисциплиной (модулем) в процессе освоения образовательной программы

Группа компетенций	Категория компетенций	Коды и содержание компетенций
Универсальные	-	-
Общепрофессиональные	-	ОПК-1. Способен использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности
	-	ОПК-2. Способен использовать современное технологическое и аналитическое оборудование в профессиональной и научно-исследовательской деятельности
	-	ОПК-5. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
Профессиональные	-	-

1.2. Компетенции и индикаторы их достижения, формируемых дисциплиной (модулем) в процессе освоения образовательной программы

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Содержание индикатора компетенции
ОПК-1	ОПК-1.3	Решает задачи профессиональной деятельности, применяя инженерные знания и основы технического регулирования
ОПК-2	ОПК-2.1	Решает задачи профессиональной деятельности с использованием современного технологического и аналитического оборудования
ОПК-2	ОПК-2.2	Выбирает пути интенсификации технологических процессов производства и совершенствования современного технологического оборудования и приборов
ОПК-2	ОПК-2.3	Анализирует технологический процесс и выбирает технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ОПК-5	ОПК-5.1	Применяет средства современных информационных технологий для поиска, хранения, обработки, анализа и представления информации

1.3. Результаты обучения по дисциплине (модулю)

Цель изучения дисциплины (модуля) – связать общенаучную и общеинженерную подготовку химиков-технологов, что необходимо при подготовке бакалавров по данному направлению для научно-исследовательской и практической работы на предприятиях.

В результате изучения дисциплины (модуля) обучающийся должен

знать:

- основы теории переноса импульса, тепла и массы; принципы физического моделирования процессов; основные уравнения движения жидкостей; основы теории теплопередачи; основы теории массопередачи в системах со свободной и неподвижной границей раздела фаз; типовые процессы химической технологии, соответствующие аппараты и методы их расчета;
- методы построения эмпирических и теоретических моделей химико-технологических процессов;

уметь:

- определять характер движения жидкостей и газов; основные характеристики процессов тепло- и массопередачи; рассчитывать параметры и выбирать аппаратуру для конкретного технологического процесса;
- рассчитывать основные характеристики химико-технологического процесса, выбирать рациональную схему;

владеть:

- методами технологических расчетов отдельных узлов и деталей химического оборудования;
- навыками проектирования типовых аппаратов химической промышленности;
- методами определения рациональных технологических режимов работы оборудования.

2. Объем, структура и содержание дисциплины (модуля)

2.1. Объем дисциплины (модуля)

Виды учебной работы	*Формы обучения*
	Очная
Общая трудоемкость: зачетные единицы/часы	8/288
Контактная работа:	144
Занятия лекционного типа	72
Занятия семинарского типа	72
Консультации	0
Промежуточная аттестация: экзамен, зачет с оценкой	36
Самостоятельная работа (СР)	108

2.2. Темы (разделы) дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества часов по формам образовательной деятельности

Очная форма обучения

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Виды учебной работы (в часах)						
		Контактная работа						СР
		Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа				
		Л	Иные	ПЗ	С	ЛР	Иные	
1.	Гидродинамические процессы и аппараты химической технологии	18	0	18	0	0	0	27
2.	Тепловые процессы и аппараты химической технологии	18	0	18	0	0	0	27
3.	Процессы и аппараты разделения гомогенных систем (основные массообменные процессы)	18	0	18	0	0	0	27
4.	Процессы и аппараты разделения гетерогенных систем (основные гидромеханические процессы)	18	0	18	0	0	0	27

Примечания:

Л – лекции, ПЗ – практические занятия, С – семинары, ЛР – лабораторные работы, СР – самостоятельная работа.

2.3. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) и видам работ

Содержание лекционного курса

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Содержание лекционного курса
1.	Гидродинамические процессы и аппараты химической технологии	1.1. Введение в дисциплину. Основные понятия и определения. Предмет дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии». Классификация процессов. Непрерывные и периодические, стационарные и нестационарные процессы. Основные закономерности процессов и общие принципы расчета аппаратов химической технологии.

		Жидкости и газы. Классификация жидкостей. Идеальная жидкость. Капельные и упругие жидкости. Силы, действующие в жидкости: массовые и поверхностные. Напряжения в жидкостях и газах (тангенциальные и нормальные). Свойства жидкостей. Модель непрерывной среды. Понятие физического элементарного объема. 1.2. Основы теории переноса. Основы теории явлений переноса: анализ механизмов, моделирования и разработки обобщенных методов расчета гидромеханических, тепловых и массообменных процессов и аппаратов. Феноменологические законы переноса импульса, массы и энергии. Молекулярный и конвективный перенос. Общие закономерности гидродинамики, теплопередачи и массопередачи. Взаимосвязь этих процессов в промышленной аппаратуре. Роль явлений переноса при химических превращениях. Материальные и энергетические (тепловые) балансы; определение массовых потоков и энергетических затрат. Условия равновесия и определение направления процессов переноса. Общий вид уравнений скорости процессов; движущие силы и кинетические коэффициенты. Лимитирующие стадии. 1.3. Гидростатика. Дифференциальные уравнения равновесия Эйлера. Покоящаяся жидкость под действием силы тяжести. Основное уравнение гидростатики. Практические приложения основного уравнения гидростатики. 1.4. Гидродинамика. Баланс сил при движении вязкой несжимаемой жидкости. Уравнение неразрывности (сплошности) потока. Уравнение Навье-Стокса и его физический смысл. Подобное преобразование уравнения Навье-Стокса. Безразмерные переменные - критерии гидродинамического подобия (Эйлера, Рейнольдса, Фруда, гомохронности), их физический смысл; параметрические критерии. Критериальное уравнение движения вязкой жидкости. Уравнение движения Эйлера. Энергетический баланс стационарного движения идеальной жидкости. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости. Его практические приложения (истечение жидкостей, трубка Пито-Прандтля). Принципы измерения скоростей и расходов жидкости дроссельными приборами и пневмометрическими трубками. Определение расходов при истечении жидкостей через отверстия или насадки. Гидродинамические режимы движения жидкостей: ламинарный и турбулентный. Число Рейнольдса и его критические значения. Механизмы ламинарного и турбулентного течений. Понятие турбулентности. Представления о гидродинамическом пограничном слое при течении по трубам и каналам и при обтекании тел. Расчет диаметра трубопроводов и аппаратов; выбор скоростей потоков и оптимального диаметра трубопроводов. Распределение скоростей по радиусу трубы постоянного сечения при ламинарном стационарном течении. Течение в трубах и каналах. Определяющий поперечный размер потока в каналах произвольной формы: гидравлический радиус, эквивалентный диаметр. Гидравлическое сопротивление при течении жидкостей и газов. Расчет потерь на трение (уравнение Дарси-Вейсбаха) и на местные сопротивления. Соотношения и номограммы для расчета коэффициента трения. Зависимости между расходом и

		перепадом давления. Расчет напора для перемещения жидкостей через систему трубопроводов и аппаратов. 1.5. Перемещение жидкостей. Перемещение жидкостей с помощью машин, повышающих давление. Объемные (поршневые, ротационные и др.) и динамические (центробежные, осевые и др.) насосы. Основные параметры работы гидравлических машин: производительность, напор, мощность, КПД. Расчет напора и потребляемой мощности; подбор двигателя к насосу. Определение допустимой высоты всасывания. Явление кавитации и его предотвращение. Особенности работы, сопоставление и области применения основных типов насосов - центробежных, поршневых (плунжерных) и др. Связь напора, мощности и КПД с производительностью (характеристики насосов). Работа насосов на сеть и их выбор; регулирование производительности.
2.	Тепловые процессы и аппараты химической технологии	2.1. Основные понятия и определения в теплопередаче. Основные тепловые процессы в химической технологии: нагревание и охлаждение, конденсация паров и испарение жидкостей. Стационарный и нестационарный перенос теплоты. Температурное поле, градиент температуры и тепловой поток; теплопередача и теплоотдача. Температуропроводность – теплоинерционные свойства среды. 2.2. Перенос энергии в форме теплоты. Тепловой баланс как частный случай энергетического баланса. Определение тепловой нагрузки аппарата при изменении и без изменения агрегатного состояния. Расход теплоносителей. Дифференциальное уравнение переноса энергии в форме теплоты, уравнение Фурье-Кирхгофа и теплопроводности. Стационарный перенос теплоты через плоские и цилиндрические стенки. Сочетание механизмов переноса теплоты (теплопроводности, конвекции, излучения). Конвективный перенос теплоты. Безразмерные переменные – числа Нуссельта, Пекле, Прандтля, Грасгофа, Фурье. Расчет коэффициентов теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции. Теплообмен при изменении агрегатного состояния. Конденсация паров. Формула Нуссельта. Теплообмен при кипении. Радиантный теплоперенос. Взаимное излучение тел. Радиантно-конвективный перенос теплоты. Расчет потерь теплоты аппаратами в окружающую среду и тепловой изоляции. Основное уравнение теплопередачи. 2.3. Теплопередача в поверхностных теплообменниках. Теплопередача в поверхностных теплообменниках. Аддитивность термических сопротивлений. Средняя движущая сила теплопередачи. Определение средней движущей силы в аппаратах различных конструкций. Взаимное направление движения теплоносителей. Расчет поверхности теплообменников. Способы подвода и отвода теплоты в химической технологии. Требования, предъявляемые к теплоносителям. Обогрев водяным паром, высокотемпературными органическими теплоносителями, топочными газами. Способы электрообогрева. Отвод теплоты водой, воздухом и низкотемпературными теплоносителями. Теплообменные аппараты; их классификация. Основные типы поверхностных теплообменников (трубчатые, пластинчатые, аппараты с перемешивающими устройствами и т.д.) Смесительные теплообменники: градирни, конденсаторы смешения. Выбор оптимальных конструкций и условий

		эксплуатации теплообменных аппаратов. Основные тенденции совершенствования теплообменных аппаратов.
3.	Процессы и аппараты разделения гомогенных систем (основные массообменные процессы)	3.1. Основные понятия и определения в массопередаче. Классификация процессов массообмена. Основные понятия и определения. Процессы со свободной и фиксированной границей раздела фаз и с разделяющей фазы перегородкой (мембраной). Носители и распределяемые вещества. Способы выражения состава фаз. Физико-химические основы массообменных процессов. Равновесные условия и определение направления переноса вещества из фазы в фазу. Коэффициенты распределения. Понятие о массопередаче и массоотдаче. Концентрационное поле, градиент концентрации, общий и удельный поток массы. Молекулярная диффузия в жидкостях, газах (парах) и твердых телах. 3.2. Механизмы переноса массы. Уравнение неразрывности для двухкомпонентной системы. Дифференциальное уравнение конвективного переноса массы в бинарных средах. Диффузионный пограничный слой; профили концентраций и скоростей в потоках. Коэффициенты массоотдачи. Основные модельные представления о механизме массоотдачи. Моделирование конвективного массообмена. Числа Нуссельта, Пекле, Прандтля, Фурье и др., их физический смысл, аналогии с тепловым подобием применительно к газам и жидкостям. Расчет коэффициентов массоотдачи в аппаратах различных типов по уравнениям с безразмерными переменными. Массопередача. Основное уравнение массопередачи. Соотношение между коэффициентами массопередачи и массоотдачи, аддитивность диффузионных сопротивлений. Интенсификация массопередачи путем воздействия на лимитирующую стадию. Влияние условий (температуры, давления, концентраций) на направление массопереноса на примерах абсорбции; принципы выбора абсорбентов. 3.3. Фазовое равновесие. Материальный баланс непрерывного установившегося процесса при различных способах выражения составов фаз и их расходов; уравнения рабочих линий. Предельные концентрации распределяемого компонента в отдающей и извлекающей фазах для противоточных процессов. Максимально возможная степень извлечения, минимальный и оптимальный расходы извлекающей фазы. 3.4. Методы расчёта размеров массообменных колонных аппаратов. Расчет поперечного сечения (диаметра) колонны; предельно допустимая и экономически оптимальная скорости сплошной фазы. Рациональный выбор взаимного направления движения фаз и организации потоков в массообменных аппаратах. Расчет массообменных процессов и аппаратов для систем с одним распределяемым компонентом. Основы расчета высоты массообменных аппаратов с непрерывным и ступенчатым контактом фаз. Два основных метода расчета: на основе коэффициентов массопередачи и на основе понятия теоретической ступени разделения. Понятие числа единиц переноса и высоты единицы переноса. Фактор массопередачи. Средняя движущая сила массопередачи. Влияние продольного перемешивания на среднюю движущую силу массопередачи. Процедура расчета, основанная на объемных коэффициентах массопередачи. Графический и аналитический методы расчета.

		Расчет высоты массообменных аппаратов со ступенчатым контактом фаз. Эффективность ступени по Мэрфри. Связь числа единиц переноса и локального КПД ступени по Мэрфри. Численный расчет «от ступени к ступени» и его графическая интерпретация с использованием «кинетической линии». Учет структуры потоков и КПД тарелки. Особенности расчета тарельчатых колонн на основе понятия теоретической тарелки. Число действительных и теоретических тарелок. Эффективность тарелки. Рациональный выбор взаимного направления движения фаз и организации потоков в массообменных аппаратах. 3.5. Абсорбция. Общие принципы устройства и классификация аппаратов для массообменных процессов в системах "газ(пар)-жидкость". Особенности конструкций абсорберов. Основные типы и области применения абсорберов: насадочные и тарельчатые колонны, аппараты со сплошным и секционированным барботажным слоем, аппараты с диспергированием жидкости. Схемы абсорбционно-десорбционных установок с выделением извлеченного компонента и регенерацией абсорбента (десорбцией при повышенной температуре, понижением давления, отдувкой инертным носителем). 3.6. Дистилляция. Ректификация. Разделение дистилляцией жидких гомогенных смесей и сжиженных газов; области применения и особенности проведения процессов при различном давлении. Парожидкостное равновесие для систем с полной и ограниченной взаимной растворимостью и его влияние на возможность разделения компонентов дистилляционными методами. Расчет равновесия для идеальных бинарных смесей. Простая и фракционная перегонка; перегонка с дефлегмацией. Материальный баланс, расчет выхода продукта и его среднего состава при перегонке бинарных смесей. Схемы установок. Тепловые балансы и расчет расходов теплоносителей для этих процессов. Ректификация. Физико-химические основы и особенности условий проведения процессов. Схемы установок для непрерывной и периодической ректификации бинарных смесей. Особенности устройства аппаратов (насадочных и тарельчатых колонн) и выбора режимов их работы при ректификации (по сравнению с абсорбцией). Особенности устройства и варианты работы испарителей и дефлегматоров. Моделирование и расчет процессов и аппаратов при непрерывной ректификации бинарных систем. Основы численного и графоаналитического методов. Материальный баланс. Рабочие линии. Определение минимального и рабочего флегмового числа. Тепловой баланс и расчет расходов теплоносителей. Принципы технико-экономической оптимизации при расчете рабочего флегмового числа, размеров аппаратуры и энергетических затрат. Основы расчета тарельчатых и насадочных ректификационных колонн.
4.	Процессы и аппараты разделения гетерогенных систем (основные гидромеханические процессы)	4.1. Разделение гетерогенных систем. Основные понятия и методы. Классификация жидких и газовых гетерогенных систем: суспензии, эмульсии, пены, пыли, туманы. Материальный баланс процессов разделения гетерогенных систем. Оценка эффективности и выбор оптимальных процессов и аппаратов для разделения гетерогенных смесей. 4.2. Основы теории осаждения. Разделение жидких и газовых систем в поле сил тяжести. Расчет скоростей свободного и стесненного осаждения твердых частиц шарообразной и отличных от нее форм в поле силы тяжести.

		Процессы отстаивания и устройство аппаратов разделения суспензий, эмульсий и пылей. Расчет поверхности осаждения и производительности отстойников. Устройство и действие циклонов (простых и батарейных), гидроциклонов. 4.3. Течение жидкости через неподвижные зернистые и псевдоожиженные слои. Значение гидродинамики зернистых слоев в процессах фильтрования, тепло- и массообмена, гетерогенного катализа и др. Основные характеристики этих слоев: дисперсность, удельная поверхность, порозность, эквивалентный диаметр каналов. Расчет гидравлического сопротивления слоя. Гидравлическое сопротивление слоев насадок промышленных массо- и теплообменных аппаратов. Режимы течения потоков в насадочных колоннах. Гидравлическое сопротивление, явления подвисания, захлебывания и инверсии фаз и расчет соответствующих скоростей. Гидродинамика псевдоожиженных (кипящих) слоев. Область применения псевдоожижения. Основные характеристики псевдоожиженного состояния. Гидравлическое сопротивление. Расчет скоростей псевдоожижения и свободного витания, высоты псевдоожиженного слоя. Однородное и неоднородное псевдоожижение. Особенности псевдоожижения полидисперсных слоев. Пневмо- и гидротранспорт зернистых твердых материалов. 4.4. Фильтрование суспензий и очистка газов от пылей. Специфика поведения осадков как зернистых слоев: сжимаемые и несжимаемые осадки. Виды фильтровальных перегородок. Факторы, влияющие на скорость фильтрования. Фильтрование при постоянной скорости фильтрования. Экспериментальное определение констант уравнения фильтрования. Классификация и устройство основных типов непрерывно и периодически работающих фильтров и фильтрующих центрифуг.

Содержание занятий семинарского типа

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Тип	Содержание занятий семинарского типа
1.	Гидродинамические процессы и аппараты химической технологии	ПЗ	Основные свойства жидкостей и газов. Размерности величин. Расчет плотности и вязкости жидкостей и газов. Уравнение неразрывности потока. Массовый и объемный расходы, средняя скорость. Распределение скоростей по поперечному сечению канала. Режимы течения жидкостей и газов. Гидростатика. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Практическое приложение закона Паскаля. Идеальная жидкость. Применение уравнения Бернулли для решения практических задач. Определение расходов с помощью дроссельных приборов. Истечение жидкости из сосуда. Расчет гидродинамического сопротивления трубопроводов. Учет режимов течения жидкостей, шероховатости стенок труб и их кривизны, при различных режимах. Расчет параметров насосов: производительности, напора, мощности, высоты всасывания. Работа насоса на гидравлическую сеть. Выбор насосов.
2.	Тепловые процессы и аппараты химической технологии	ПЗ	Энергетические балансы в теплообменных аппаратах без изменения и с изменением агрегатного состояния теплоносителей.

			Расчет движущей силы теплопередачи. Взаимное направление движения теплоносителей. Уравнения теплопередачи. Коэффициенты теплопередачи и теплоотдачи. Размерность, порядок величин. Расчет поверхности теплообмена. Теплопроводность. Расчет тепловых потоков и профилей температур при переносе теплоты теплопроводностью через однослойные и многослойные плоские стенки. Расчет коэффициента теплопередачи через уравнение аддитивности термических сопротивлений. Ориентировочный и поверочный расчет теплообменников для процессов подогрева, охлаждения, конденсации и испарения.
3.	Процессы и аппараты разделения гомогенных систем (основные массообменные процессы)	ПЗ	Способы выражения состава фаз. Равновесные концентрации. Закон Генри. Направление массопередачи. Построение рабочих и равновесных линий на примере процесса абсорбции. Движущая сила массопередачи. Материальный баланс процесса абсорбции. Расчет расходов поглотителя и инертного носителя. Минимальный расход поглотителя. Расчет высоты массообменных аппаратов с непрерывным контактом фаз. Расчет коэффициентов массоотдачи и массопередачи. Аддитивность диффузионных сопротивлений. Расчет высоты массообменных аппаратов со ступенчатым контактом фаз. Эффективность ступени по Мэрфри. Ректификация бинарных смесей. Равновесные данные. Относительная летучесть. Материальный баланс. Непрерывная ректификация двухкомпонентных смесей. Минимальное и рабочее флегмовое число. Уравнения рабочих линий. Тепловой баланс ректификационной колонны. Тепловые нагрузки испарителя и дефлегматора. Определение основных размеров ректификационной колонны с непрерывным и ступенчатым контактом фаз.
4.	Процессы и аппараты разделения гетерогенных систем (основные гидромеханические процессы)	ПЗ	Разделение гетерогенных систем. Материальный баланс. Расчет расходов потоков. Осаждение. Элементы расчета аппаратов для осаждения. Элементы гидродинамики неподвижных зернистых слоев и псевдоожижение. Фильтрование. Элементы расчета фильтровальных аппаратов.

Содержание самостоятельной работы

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Содержание самостоятельной работы
1.	Гидродинамические процессы и аппараты химической технологии	Повторение лекционного материала. Подготовка к практическим занятиям
2.	Тепловые процессы и аппараты химической технологии	Повторение лекционного материала. Подготовка к практическим занятиям
3.	Процессы и аппараты разделения гомогенных систем (основные массообменные процессы)	Повторение лекционного материала. Подготовка к практическим занятиям
4.	Процессы и аппараты разделения гетерогенных систем (основные гидромеханические процессы)	Повторение лекционного материала. Подготовка к практическим занятиям

3. Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

По дисциплине (модулю) предусмотрены следующие виды контроля качества освоения:

- текущий контроль успеваемости;
- промежуточная аттестация обучающихся по дисциплине (модулю).

3.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации по дисциплине (модулю)

№ п/п	Контролируемые темы (разделы)	Наименование оценочного средства
1.	Гидродинамические процессы и аппараты химической технологии	Кейсы. Контрольная работа
2.	Тепловые процессы и аппараты химической технологии	Кейсы. Контрольная работа
3.	Процессы и аппараты разделения гомогенных систем (основные массообменные процессы)	Кейсы. Контрольная работа
4.	Процессы и аппараты разделения гетерогенных систем (основные гидромеханические процессы)	Кейсы. Контрольная работа

3.1.1 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в процессе текущего контроля успеваемости

Кейсы (ситуации и задачи с заданными условиями)

Задача 1

Методом линейной интерполяции по табличным данным определить плотность и вязкость органической жидкости (бензол) при температуре 23,6 °С.

Задача 2

Методом последовательных линейных интерполяций определить плотность и вязкость водного раствора этанола при температуре 14 °С, если массовая доля растворённого вещества в растворе 43 %.

Задача 3

Определить плотность и вязкость паров, полученных испарением 43 %-го (массовые %) раствора этанола. Температура паров 100°С, давление нормальное атмосферное.

Задача 4

Атмосферное давление составляет 750 мм рт. ст. Определите абсолютное давление в реакторе, если:

а) реактор работает под избыточным давлением, а показания установленного на реакторе манометра составляют 2 кгс/см^2;

б) реактор работает под вакуумом, а показания установленного на реакторе вакуумметра составляют 500 мм рт. ст.

Задача 5

Определить высоту столба жидкости, если в трубке Торричелли (ртутном барометре) использовать воду вместо ртути. Расчёт провести для трёх температур 20, 60 и 90 °С. Атмосферное давление принять равным 745 мм рт. ст.

Задача 6

Масса колокола мокрого газохранилища (газгольдера) составляет 2900 кг. Диаметр колокола 6 м. Объём газохранилища 200 м3. Вычислить избыточное давление внутри газохранилища и массу содержащегося в газохранилище метана. Температура метана 20 °С, внешнее атмосферное давление 745 мм рт. ст. Задача 7

Водный раствор аммиака перекачивается по трубопроводу в соседний цех при помощи монтежю. Ёмкость, в которую поступает раствор, находится на 6 м выше уровня раствора в монтежю. Сопротивление, которое преодолевает раствор, двигаясь по трубопроводу, составляет 15 кПа. Избыточное давление азота, подаваемого в монтежю, составляет 2,5 кгс/см2. Определить абсолютное давление в ёмкости, если атмосферное давление равно 750 мм рт. ст., а плотность 25 %-го (масс.) раствора аммиака при 25 °С составляет 907 кг/м^3.

Задача 8

По трубопроводу диаметром 38×4 мм при температуре 20 °С перекачивается вода. Расход

воды составляет 6 т/ч. Определить скорость воды в трубопроводе и критерий Рейнольдса.
Задача 9
Для условий задачи 8 определить коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси), если трубопровод стальной с незначительной коррозией. Определить потери давления и напора на трение, если общая длина трубопровода 20 м.
Задача 10
Для условий задачи 8 определить потери давления и напора на местные сопротивления, если трубопроводе установлены: диафрагма (с диаметром отверстия 15,87 мм), колено-угольник (4 шт.), нормальный вентиль.
Задача 11
Для условий задач 8-10 определить общие потери давления и напора в трубопроводе, а также давление в монтежю, с помощью которого осуществляется транспортировка жидкости. Ёмкость, в которую поступает жидкость, находится под избыточным давлением 0,2 кгс/см² и расположена на 5 м выше. Атмосферное давление 760 мм. рт. ст.
Задача 12
Центробежный насос перекачивает воду из нижней ёмкости в верхнюю. Температура жидкости 20 °С, расход жидкости 6 т/ч. Диаметр всасывающего трубопровода 45×4 мм, диаметр нагнетательного трубопровода 38×4 мм. Высота от уровня жидкости в нижней ёмкости до верхней точки подъёма жидкости 10 м. Гидравлическое сопротивление нагнетательной линии 0,5 ати. Потери напора во всасывающей линии 2,5 м. Нижняя ёмкость открыта в атмосферу, верхняя ёмкость находится под избыточным давлением 100 кПа. Определить напор насоса.
Задача 13
Для условий задачи 12 определить абсолютные давления во всасывающем и нагнетательном патрубке насоса, если атмосферное давление 755 мм рт. ст. Также определить показания вакуумметра (в мм рт. ст.), если манометр показывает избыточное давление 2,2 кгс/см². При расчёте принять, что точка подключения вакуумметра находится на одной высоте с насосом, а точка подключения манометра на 0,5 м выше насоса.
Задача 14
Для условий задачи 13 определить высоту всасывающей линии, запас на кавитацию и максимальную высоту всасывающей линии, если частота вращения вала центробежного насоса 2900 об/мин. Сравнив высоту всасывающей линии с максимальным её значением, сделать вывод о возможности работы насоса в заданных условиях.
Задача 15
По гидравлической сети требуется перекачивать воду, расход которой составляет 25 т/ч при температуре жидкости 20 °С. Скорость во всасывающем трубопроводе 1,5 м/с,
скорость в нагнетательном трубопроводе 2,5 м/с. Высота от уровня жидкости в нижней ёмкости до верхней точки подъёма жидкости 35 м. Потери напора в сети 27 м. Абсолютное давление в нижней ёмкости 100 кПа, абсолютное давление в верхней ёмкости 2,2 ата. Определить производительность сети и напор, необходимый для данной сети, подобрать центробежный насос для работы на данную сеть с частотой 2900 об/мин.

Контрольная работа №1 (по разделу 1)

ЗАДАЧА №1
Центробежный насос подаёт воду из открытого бака по новому стальному трубопроводу с производительностью 30 м3/ч и напором 60 м вод. ст. Температура воды 50°С. Атмосферное давление 0,94 атм (физических). Диаметр всасывающей линии 108´4 мм, её длина 10 м. Местными сопротивлениями на всасывающей линии можно пренебречь.
ОПРЕДЕЛИТЬ:
1) Предельную высоту всасывания воды при кавитационной поправке 2,2 м вод. ст.
2) Мощность на валу насоса, если его полный КПД составляет 0,7.
3) Как изменится мощность насоса, если частота вращения увеличится в полтора раза.
ЗАДАЧА №2

Плунжерный насос простого (одинарного) действия перекачивает при температуре 20°С 12 т/ч жидкой смеси имеющей вязкость 7,2 сПз и состоящей из 50% (масс.) метанола, 30% (масс.) глицерина и 20 % (масс.) бутанола. Смесь транспортируется по стальному трубопроводу диаметром 60□3,5 мм и длиной 62 м из ёмкости с атмосферным давлением в аппарат с избыточным давлением 1,1 ати. Высота подъёма жидкости 18 м. На трубопроводе имеется 3 колена (угольника) под углом 90°, два отвода под углом 45° (Ro/d = 2), два нормальных вентиля и один вентиль с наклонным шпинделем (прямоточный). Принять общий КПД насоса равным 0,65, КПД двигателя с передачей 0,815, коэффициент запаса мощности на возможные перегрузки 1,17.

ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Скорость жидкости в трубопроводе и критерий Рейнольдса.
2) Необходимый для данной сети напор насоса и потребляемую электродвигателем мощность.

ЗАДАЧА №3

В таблице приведена зависимость напора центробежного насоса от производительности при числе оборотов 1450 об/мин, взятая из его паспорта.

Производительность	л/сек	0	2	4	6	8	10
Напор	м. вод. ст.	17,5	16	15	13	11	8

Вода из ёмкости в резервуар подаётся насосом по новому стальному трубопроводу длиной 15 м и диаметром 88,5□4 мм, имеющему 3 поворота (отвода) под прямым углом с радиусом закругления 160 мм и один нормальный вентиль. Сопротивлением всасывающего трубопровода пренебречь.

ОПРЕДЕЛИТЬ: Сможет ли этот насос подать из открытой ёмкости 28,8 м^3/ч воды при температуре 20°С в резервуар, находящийся под давлением 0,75 ати, расположенный на 7 м выше.

ЗАДАЧА №4

Плунжерный насос простого (одинарного) действия с диаметром плунжера 250 мм, ходом его 400 мм и числом оборотов 100 об/мин при температуре 20°С перекачивает 1800 л/мин 10%-го раствора едкого натра из открытой ёмкости в аппарат, находящийся под давлением 7 ати, расположенный на 20 м выше ёмкости. Мощность на валу насоса 39 кВт. Манометр на нагнетательном патрубке насоса показывает 10 ати, а вакуумметр на всасывающем патрубке показывает 300 мм рт. ст. (манометр и вакуумметр присоединены в точках, практически находящихся на одной высоте).

ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Объёмный КПД насоса.
2) Необходимый для данной сети напор насоса и полный КПД насоса.
3) Потерю напора (гидравлическое сопротивление) в трубопроводе.

ЗАДАЧА №5

По трубопроводу диаметром 41□1,5 мм со змеевиком перекачивается снизу вверх 98%-ая серная кислота при температуре 70°С в количестве 8 т/ч. Перед змеевиком давление, под которым находится серная кислота, составляет 0,9 ати. На змеевике установлены два нормальных вентиля. Размеры змеевика: диаметр витка 1,5 м, число витков 8, шаг витка равен четырём наружным диаметрам трубы. Трубы стальные с незначительной коррозией.

ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Скорость жидкости и критерий Рейнольдса.
2) Длину змеевика с учётом шага витка.
3) Показания (в мм. рт. ст.) U-образного манометра, установленного на выходе из змеевика и соединённого с атмосферой.

ЗАДАЧА №6

Центробежный насос перекачивает в котельную водяной конденсат с температурой 60°С собирающийся в цехе в количестве 50 м^3/ч. Стальная всасывающая труба насоса диаметром 109□4 мм, общей длиной 6 м имеет два поворота (отвода) с радиусом закругления 150 мм

(под углом 90°) и приёмный клапан, коэффициент сопротивления которого 2,5. Атмосферное давление равно 760 мм рт. ст.

ОПРЕДЕЛИТЬ: Максимально возможную высоту установки насоса над уровнем воды в сборном колодце конденсата, приняв, что давление во всасывающем патрубке насоса во избежание кавитации должно быть не менее чем на 0,2 ати выше минимально возможного.

ЗАДАЧА №7

Для подачи бензола, имеющего температуру 10°С, на верх реакционной колонны, необходимо установить у её основания центробежный насос. Высота колонны 16 м. Количество подаваемой жидкости 1020 кг/мин. Внутренний диаметр стального трубопровода с незначительной коррозией 105 мм. Избыточное давление в верхней части колонны 0,5 ати. На трубопроводе имеются: нормальный вентиль и три поворота под углом 90° с радиусом закругления 210 мм. Общая длина трубопровода 22,5 м. Общий КПД насоса принять равным 0,65.

ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Скорость жидкости в трубопроводе и критерий Рейнольдса.
2) Потери напора на трение и местные сопротивления.
3) Необходимый для данной сети напор насоса и мощность на валу насоса.

ЗАДАЧА №8

Центробежный насос перекачивает воду из резервуара по новому стальному трубопроводу в открытую ёмкость, расположенную на 18 м выше. На трубопроводе имеется фильтр, девять угольников (колен) по 90° и два нормальных вентиля. Диаметр трубопровода 56□3 мм, его длина (кроме змеевика) 76 м. Коэффициент сопротивления фильтра равен 25. Количество прикачиваемой воды составляет 16 м^3/ч. Температура воды 15°С. КПД насоса 0,6, двигателя 0,95.

ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Скорость жидкости в трубопроводе и критерий Рейнольдса.
2) Необходимый для данной сети напор насоса и мощность двигателя.
3) Как измениться производительность, напор и мощность насоса, если число оборотов рабочего колеса будет увеличено на 20%.

ЗАДАЧА №9

Поршневой насос двойного действия засасывает толуол из ёмкости, расположенной ниже насоса на 5 м. Атмосферное давление составляет 9500 мм водяного столба. Потеря давления за счёт трения и местных сопротивлений во всасывающем трубопроводе составляет 45 мм рт. ст. Диаметр трубопровода 48□4 мм. Объёмный расход толуола 4,5 м^3/ч. Зависимость давления насыщенных паров толуола от температуры

выражается соотношением lg p^* □ A □ B □t □ C □ , здесь p выражено в мм рт. ст; t в °С; A =

6,953; B = 1344; C = 219,4. Плотность толуола принять равной 810 кг/м^3. Кавитационным запасом пренебречь.

ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Скорость течения жидкости в трубопроводе.
2) Потери напора в трубопроводе.
3) Ниже какой предельной величины должна быть температура толуола, чтобы перекачивание в назначенных условиях было возможно.

ЗАДАЧА №10

По гидравлически гладкому трубопроводу длиной 90 м, диаметром 56□3 мм с помощью монтежю подаётся холодный рассол в аппарат, расположенный на высоте 5,5 м, находящийся под давлением 1,5 ати. Плотность рассола 1,2 кг/л, а его количество 10 т/ч. Вязкость рассола 20 сПз. На линии имеется 8 кранов, 5 отводов (Ro/d = 2, угол = 90º) и один нормальный вентиль.

ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Режим течения потока рассола в трубопроводе.

2) Потери давления в трубопроводе.

3) Необходимое избыточное давление воздуха в монтежю (выразить в мм рт. ст.).

ЗАДАЧА №11

Поршневой насос двойного действия с диаметром поршня 250 мм, диаметром штока 50,5 мм и ходом поршня 200 мм перекачивает воду с температурой 20°С из открытой ёмкости в резервуар с избыточным давлением. Манометр на нагнетательной линии показывает давление 2,6 ати, а вакуумметр на всасывающей линии – разрежение 310 мм рт. ст. Расстояние по вертикали между манометром и вакуумметром равно 0,69 м. Уровень воды в резервуаре на 4 м выше уровня воды в ёмкости. Напор, теряемый на преодоление сил трения и местных сопротивлений, составляет 2 м. Мощность на валу насоса 6,73 кВт, механический и гидравлический КПД равны соответственно 0,9 и 0,8.

ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Напор насоса.

2) Избыточное давление в резервуаре, выразив его в технических атмосферах.

3) Число оборотов привода насоса.

ЗАДАЧА №12

По стальному трубопроводу с незначительной коррозией диаметром 41□1,5 мм и длиной 9 м происходит выкачивание хлорбензола центробежным насосом из штуцера в дне закрытой ёмкости, заполненной на высоту 0,2 м (этот уровень считать постоянным). На трубопроводе имеются нормальный вентиль и два угольника (колена) под углом 90°. Производительность насоса, расположенного на 0,3 м ниже дна ёмкости, составляет 5 т/ч. Температура хлорбензола 40°С, давление во всасывающем патрубке насоса, во избежании кавитации, на 0,15 ати выше минимально физически возможного при рабочей температуре. Зависимость давления насыщенных паров хлорбензола от температуры выражается соотношением lg p^* □ A □ B /□t □ C□, здесь p выражено в мм рт. ст; t в °С; A = 7,498; B = 1654; C = 232,3.

ОПРЕДЕЛИТЬ: Абсолютное давление в ёмкости, выразив его в технических атмосферах.

ЗАДАЧА №13

По трубопроводу диаметром 57□3 мм со стальным змеевиком, не подвергавшемся значительной коррозии, перекачивается снизу вверх четырёххлористый углерод при температуре 25°С в количестве 12 т/ч. Манометр, установленный перед змеевиком, показывает давление 1,2 ати. На змеевике имеется нормальный вентиль. Размеры змеевика: диаметр витка 1,8 м; число витков 6, шаг витка равен четырём наружным диаметрам трубы.

ОПРЕДЕЛИТЬ: Показания манометра, установленного после змеевика и отградуированного в мм рт. ст.

ЗАДАЧА №14

Центробежный насос перекачивает воду из открытого резервуара в бак. Давление в баке 2 ата. Показания манометра, установленного на нагнетательном трубопроводе 1,4 ати. Потери напора во всасывающей и нагнетательной линии 2,5 м ст. воды. Геометрическая высота подъёма воды 6 м. Число оборотов рабочего колеса насоса 750 об/мин. Диаметры патрубков всасывающего и нагнетательного трубопроводов равны. Атмосферное давление 1 ата, температура 4°С.

ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Показание вакуумметра (в мм рт. ст.), установленного на всасывающем трубопроводе, если расстояние между местами присоединения манометра и вакуумметра 250 мм.
2) Как изменится показание вакуумметра, если число оборотов возрастёт до 1500 об/мин, а давление в нагнетательном патрубке до 6,8 ати.

ЗАДАЧА №15

Из штуцера в дне аппарата, работающего под вакуумом 0,8 ати, центробежным насосом необходимо выкачивать воду при температуре 50°С. В аппарате поддерживается постоянный уровень воды, равный 1,5 м. Насос расположен на 2 м ниже аппарата. Диаметр трубопровода, по которому должна откачиваться вода, равен 57□3,5 мм, его длина 2,5 м.

На трубопроводе имеется нормальный вентиль и одно колено (чугунный угольник под углом 90°). Коэффициент трения в трубопроводе принять равным 0,02. Атмосферное давление принять равным 1 ата.

ОПРЕДЕЛИТЬ: Сможет ли насос при этих условиях откачивать 13 $м^3$/ч воды, приняв, во избежание кавитации, что давление во всасывающем патрубке должно быть на 0,2 ати выше минимального физически возможного.

ЗАДАЧА №16

Из монтежю при температуре 20°С перекачивается 60%-ая серная кислота в реактор, расположенный на 10 м выше монтежю. Расход кислоты 16 $м^3$/ч, давление в монтежю 4,1 ати, внутренний диаметр и длина стального трубопровода с незначительной коррозией, по которому перекачивается кислота, равны соответственно 50 мм и 12 м. На трубопроводе имеется нормальный вентиль и одно колено (угольник под углом 90°).

ОПРЕДЕЛИТЬ: Максимально возможное давление в реакторе, выразив его в технических атмосферах.

ЗАДАЧА №17

Нитробензол при температуре 20°С должен подаваться в количестве 3 т/ч с помощью монтежю в реакционный аппарат, установленный на высоте 10 м, по трубопроводу с внутренним диаметром 25 мм и длиной 40 м. На трубопроводе, который можно считать гидравлически гладким, установлены два нормальных вентиля, восемь колен (угольников) под углом 90°. Давление воздуха, подаваемого компрессорами в монтежю, равно 3,5 ати.

ОПРЕДЕЛИТЬ: Достаточно ли этого давления для перекачки нитробензола в реакционный аппарат, если последний работает:

а) под избыточным давлением 800 мм рт. ст.;

б) под абсолютным давлением 1,2 кгс/$см^2$, если атмосферное давление составляет 740 мм рт. ст.

ЗАДАЧА №18

Поршневой насос перекачивает воду с температурой 20°С из резервуара, в котором поддерживается давление ниже атмосферного, в бак, с давлением 2 ата. Максимально возможная (предельная) высота всасывания насоса (без учёта кавитационной поправки) при этих условиях 4 м. Полная геометрическая высота подъёма воды 5 м. Потери напора на всасывающем трубопроводе 3,51 м вод. ст. Скорости во всасывающем и нагнетательном трубопроводах одинаковые и равны 2 м/с.

ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Давление в резервуаре.
2) Максимальную (предельную) высоту всасывания насоса, если температура воды поднимется до 40°С.
3) Полный напор насоса, пренебрегая потерями давления на линии нагнетания.

ЗАДАЧА №22

На горизонтальном стальном трубопроводе с незначительной коррозией длиной 50 м и внутренним диаметром 50 мм, по которому транспортируется вода при температуре 20°С, установлена нормальная диафрагма с диаметром отверстия 31,62 мм. Дифференциальный манометр показывает перепад давления на диафрагме 300 мм рт. ст.

ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Объёмный расход и скорость жидкости в трубопроводе, приняв коэффициент расхода диафрагмы равным 0,67.
2) Потери напора в трубопроводе, если помимо диафрагмы на трубопроводе установлены: вентиль прямоточный и четыре колена.

ЗАДАЧА №25

Водный раствор этилового спирта (массовая доля спирта 40% масс.) спускается из открытого бака по трубопроводу диаметром 35□2,5 мм в ёмкость, находящуюся под атмосферным давлением. На трубопроводе имеются кран и два колена под углом 90°. Общая длина трубопровода 50 м, разность высот 9 м. Коэффициент гидравлического трения

принять приближенно равным 0,036. Температура раствора 35ºС.
ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Скорость раствора в трубопроводе.
2) Проверить значение коэффициента гидравлического трения, считая трубопровод стальным с незначительной коррозией

ЗАДАЧА №26

Центробежный насос перекачивает 7,4 т/ч изопропанола из открытой ёмкости в реактор, расположенный на высоте 10,4 м и находящийся под избыточным давлением 2,44 ати. Аппараты соединены новым стальным трубопроводом диаметром 86×6 мм и длиной 26,2 м. На трубопроводе установлены: 11 прямоугольных отводов с радиусом закругления 30,8 см, 2 нормальных вентиля и устройство для регулирования расхода,
«степень открытости (ω)» которого связана с коэффициентом его сопротивления (ξ) соотношением: $\omega = (0{,}24/\xi)^{0{,}25}$. Температура изопропанола 45°С. При полностью открытом устройстве регулирования расхода насос сообщает жидкости напор 54,2 м.
ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Потери напора и скорость жидкости в трубопроводе при полностью открытом устройстве регулирования расхода.
2) Коэффициент сопротивления и «степень открытости» устройства регулирования, при указанном в условии задачи расходе.

ЗАДАЧА №27

Определить минимальный диаметр трубопровода, по которому насос с полезной мощностью 398 Вт может перекачивать до 4590 кг/ч 98%-ой серной кислоты при 15°С из открытого сборника в абсорбер на высоту 12,3 м. На стальном трубопроводе длиной 28,6 м сделано 10 прямоугольных отвода с радиусом закругления, равным четырём диаметрам трубы, установлены 2 полностью открытые задвижки и диафрагма, диаметр отверстия которой в 2,04 раза меньше диаметра трубы. Избыточное давление в абсорбере 2,45 кгс/см^2. При решении задачи принять наиболее вероятный гидродинамический режим течения жидкости, проверив в заключение принятый режим.

ЗАДАЧА №28

В аппарат, работающий под абсолютным давлением 3 ата, надо подавать насосом воду из открытого резервуара по трубопроводу внутренним диаметром 70 мм. Верхняя точка трубопровода выше уровня воды в резервуаре на 7 м. Расчётная длина трубопровода 320 м. Коэффициент гидравлического трения 0,03. На трубопроводе установлены пять колен (угольников) и прямоточный вентиль. Температура воды 20°С, атмосферное давление 760 мм рт. ст.
ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Зависимость между расходом воды, протекающей по трубопроводу, и потерей давления на преодоление всех сопротивлений трубопровода (получить уравнение характеристики сети).
2) Производительность насоса, если, работая на данную сеть, он создаёт напор 30 м.

ЗАДАЧА №29

По трубопроводу с внутренним диаметром 100 мм подаётся углекислый газ под абсолютным давлением 2 ата при средней температуре 75ºС с массовой скоростью 30 кг/(м^2·с) (массовая скорость – это отношение массового расхода к площади поперечного сечения трубы). Шероховатость трубы e = 0,7 мм. Определить гидравлическое сопротивление горизонтального трубопровода при длине его 90 м и при наличии четырёх колен под углом 90º и задвижки. Определить также мощность, потребляемую газодувкой для перемещения двуокиси углерода, если её КПД составляет 50%.

ЗАДАЧА №30

Центробежный насос, перекачивая 280 л/мин воды, создаёт напор 22 м.
Определить, пригоден ли этот насос для перекачивания хлорбензола при температуре 60°С

в количестве 15 м3/ч по чугунному трубопроводу диаметром 70×2,5 мм из ёмкости с атмосферным давлением в аппарат с избыточным давлением 0,3 кгс/см2. Геометрическая высота подъёма 8,5 м, длина трубопровода 124 м. На трубопроводе установлены семь колен-угольников и прямоточный вентиль. Определить также мощность, потребляемую электродвигателем, если общий КПД насосной установки составляет 55%.

ЗАДАЧА №31

Бинарную смесь бензол-толуол, содержащую 30 % массовых бензола, при температуре 40°С транспортируют по новому стальному трубопроводу при помощи монтежю. Аппарат, в который подаётся смесь, находится под избыточным давлением 4 кгс/см^2. Массовый расход смеси 10,6 т/ч, скорость потока в трубопроводе 2,5 м/с. Длина трубопровода 28 м, геометрическая высота подъёма 5 м. На трубопроводе установлены 11 колен-угольников, два нормальных вентиля и диафрагма, диаметр отверстия в которой в 2,5 раза меньше диаметра трубопровода.

ОПРЕДЕЛИТЬ:

1) Внутренний диаметр трубопровода.
2) Гидравлическое сопротивление трубопровода и избыточное давление в монтежю.

ЗАДАЧА №33

Поршневой насос двойного действия перекачивает воду из открытого резервуара в реактор, находящийся под избыточным давлением 15 кгс/см^2, и расположенный на 10 м выше. Диаметр поршня насоса 200 мм, диаметр штока 10 мм, ход поршня 400 мм, число оборотов привода 90 об/мин, объёмный КПД насоса 95 %. Транспортировка воды осуществляется по стальному трубопроводу с незначительной коррозией диаметром 133×4 мм и длиной 25 м. Температура воды 25 °С. На трубопроводе установлены пять колен (угольников), два вентиля нормальных и диафрагма, диаметр отверстия в которой в 2,5 раза меньше диаметра трубопровода. Атмосферное давление 740 мм рт. ст.

Определите:

1) производительность насоса и скорость воды в трубопроводе;
2) критерий Рейнольдса и коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси);
3) сумму коэффициентов местных сопротивлений и потерю напора в трубопроводе;
4) напор насоса и мощность на валу насоса, если его полный КПД равен 60 %;
5) максимальную высоту установки насоса, пренебрегая кавитационным запасом и приняв потери напора во всасывающем трубопроводе равными 6 м.

ЗАДАЧА №34

Дифференциальный манометр, подключённый к установленной на трубопроводе диафрагме, показывает перепад давления 350 мм рт. ст. Диаметр трубопровода 90×4 мм, диаметр отверстия в диафрагме 44,9 мм. По трубопроводу течёт вода при температуре 20 °С. Трубопровод новый стальной с незначительной коррозией. Помимо диафрагмы, на трубопроводе установлены, три прямоточных вентиля и десять колен (угольников). Транспортировка воды по трубопроводу длиной 45 м осуществляется с помощью центробежного насоса, КПД которого составляет 70 %. Вода перекачивается из одной открытой ёмкости в другую открытую ёмкость, находящуюся на 12 м выше. Атмосферное давление 750 мм рт. ст. Потери напора во всасывающей трубе составляют четверть от потерь напора по трубопроводу. Частота вращения рабочего колеса насоса 2900 об./мин.

Определите:

1) расход и скорость воды в трубопроводе;
2) коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси);
3) сумму коэффициентов местных сопротивлений и потерю напора в трубопроводе;
4) напор насоса и мощность на валу насоса;

5) запас на кавитацию и максимальную высоту всасывающей линии насоса.

ЗАДАЧА №35

Дифференциальный манометр, подключённый к установленной на трубопроводе диафрагме, показывает перепад давления 320 мм рт. ст. Диаметр трубопровода 133×4 мм, диаметр отверстия в диафрагме 68,4 мм. По трубопроводу течёт вода при температуре 25 °С. Трубопровод новый стальной с незначительной коррозией. Помимо диафрагмы, на трубопроводе установлены, два нормальных вентиля и семь колен (угольников). Транспортировка воды по трубопроводу длиной 40 м осуществляется с помощью центробежного насоса, КПД которого составляет 65 %. Вода перекачивается из одной открытой ёмкости в другую открытую ёмкость, находящуюся на 15 м выше. Атмосферное давление 740 мм рт. ст. Потери напора во всасывающей трубе составляют четверть от потерь напора по трубопроводу. Частота вращения рабочего колеса насоса 2900 об./мин.

Определите:

1) расход и скорость воды в трубопроводе;
2) коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси);
3) сумму коэффициентов местных сопротивлений и потерю напора в трубопроводе;
4) напор насоса и мощность на валу насоса;
5) запас на кавитацию и максимальную высоту всасывающей линии насоса.

Задача 16

В трубном пространстве кожухотрубчатого теплообменного аппарата производят нагрев 4 т/ч бинарной смеси бензол-толуол от начальной температуры 30 °С до конечной температуры 80 °С. Содержание низкокипящего компонента в бинарной смеси 40 % масс. В качестве теплагента используют насыщенный водяной пар, подаваемый в межтрубное пространство под избыточным давлением 0,5 кгс/см^2. Атмосферное давление 750 мм рт. ст. Потери тепла в окружающую среду составляют 10 % от тепловой нагрузки теплообменника. Определить тепловую нагрузку теплообменного аппарата и расход греющего пара.

Задача 17

В межтрубном пространстве кожухотрубчатого теплообменного аппарата производят конденсацию паров бинарной смеси бензол-толуол при температуре 110 °С.

Расход бинарной смеси 2 т/ч, содержание низкокипящего компонента в бинарной смеси 65 % масс. В качестве хладагента используется вода, подаваемая в трубное пространство при температуре 20 °С. Расход охлаждающей воды составляет 15 т/ч. Потери тепла в окружающую среду составляют 12 % от тепловой нагрузки теплообменника. Определить тепловую нагрузку теплообменного аппарата и конечную температуру охлаждающей воды.

Задача 18

В трубном пространстве кожухотрубчатого теплообменного аппарата производят испарение 12 кг/с бензола при нормальном атмосферном давлении. В качестве теплагента используют насыщенный водяной пар, подаваемый в межтрубное пространство под абсолютным давлением 2 кгс/см^2. Потери тепла в окружающую среду составляют 6 % от тепловой нагрузки теплообменника. Определить тепловую нагрузку теплообменного аппарата и расход греющего пара.

Задача 19

Определить среднюю движущую силу процесса теплопередачи и средние температуры теплоносителей для кожухотрубчатого теплообменника, где происходит нагрев жидкости от 20 °С до 70 °С с помощью насыщенного водяного пара, подаваемого под избыточным давлением 0,5 кгс/см^2. Атмосферное давление принять равным 750 мм рт. ст.

Задача 20

Определить среднюю движущую силу процесса теплопередачи и средние температуры теплоносителей для реактора с мешалкой, где происходит охлаждение жидкости от 80 °С до 60 °С с помощью хладагента, подающегося в змеевик, если хладагент при этом

нагревается 25 °С до 50 °С.

Задача 21

Определить среднюю движущую силу процесса теплопередачи и средние температуры теплоносителей для реактора с мешалкой, где происходит нагрев жидкости от 20 °С до 70 °С с помощью насыщенного водяного пара, подаваемого в рубашку реактора под избыточным давлением 0,5 кгс/см². Атмосферное давление принять равным 750 мм рт. ст.

Задача 22

В теплообменнике, обогреваемом насыщенным водяным паром, производится нагрев бензола от 20 °С до 70 °С. Избыточное давление насыщенного водяного пара составляет 1 кгс/см², атмосферное давление 750 мм рт. ст. Расход жидкого бензола составляет 49 м³/ч. Тепловые потери составляют 5 % от тепловой нагрузки теплообменника. Определить ориентировочную поверхность теплообменника и подобрать под неё стандартные кожухотрубчатый, двухтрубный и пластинчатый теплообменники.

Задача 23

В теплообменнике производится охлаждение 10 т/ч бензола от 75 °С до 35 °С. В качестве хладагента используется вода, температура которой меняется от 20 °С до 30 °С. Тепловыми потерями пренебречь. Определить ориентировочную поверхность теплообменника и подобрать под неё стандартные кожухотрубчатый, двухтрубный и пластинчатый теплообменники.

Задача 24

В двухтрубном теплообменнике производится охлаждение 0,7 т/ч бензола от 75 °С до 30 °С. В качестве хладагента используется вода, подаваемая в кольцевой зазор между трубами, температура воды меняется от 23 °С до 28 °С. Тепловыми потерями пренебречь. Неразборный двухтрубный теплообменник изготовлен из труб диаметром 57×4 мм и 25×3 мм и состоит из 9 секций длиной 3 м каждая. Выполнить поверочный расчёт теплообменника и определить коэффициент запаса теплообменника по поверхности теплопередачи.

Задача 25

В пластинчатом теплообменнике производится подогрев 10 т/ч бензола от 20 °С до 70 °С. В качестве теплагента используется насыщенный водяной пар, подаваемый под избыточным давлением 1 кгс/см². Атмосферное давление 750 мм рт. ст. Тепловыми потерями пренебречь. Пластинчатый теплообменник собран из 28 платин площадью 0,2 м² каждая. Хладагент движется по двухпакетной схеме. Выполнить поверочный расчёт теплообменника и определить коэффициент запаса теплообменника по поверхности теплопередачи.

Задача 26

В кубе-кипятильнике производится испарение 4 т/ч бензола при нормальном атмосферном давлении. В качестве теплагента используется насыщенный водяной пар, подаваемый под избыточным давлением 0,2 кгс/см². Тепловыми потерями пренебречь. Подобрать теплообменник и выполнить его поверочный расчёт.

Задача 27

Определить необходимую толщину тепловой изоляции плоской стенки дымохода квадратного сечения, по которому транспортируются дымовые газы при температуре 160 °С. Дымоход установлен в помещении, температура воздуха в котором составляет 20 °С. В качестве теплоизоляционного материала используется асбест. Дымоход изготовлен из листовой стали марки Ст3 толщиной 10 мм. На внутренней поверхности дымохода присутствует слой окалины (ржавчины) толщиной 1 мм. Коэффициент теплоотдачи от дымовых газов принять равным 8 Вт/(м²·К).

Задача 28

Определить необходимую толщину тепловой изоляции цилиндрической стенки паропровода, по которому транспортируется 1,5 т/ч насыщенного водяного пара при температуре 150 °С. Паропровод установлен в помещении, температура воздуха в котором

составляет 25 °С. В качестве теплоизоляционного материала используется стеклянная вата. Паропровод изготовлен из стальной трубы диаметром 108×4 мм, марка стали Ст3. Определить также долю тепловых потерь в окружающую среду от тепловой нагрузки паропровода, если длина трубопровода 100 м.

Контрольная работа №2 (по разделу 2)

ЗАДАЧА №1

Насыщенный пар толуола в количестве 2000 кг/ч конденсируется при давлении 760 мм. рт. ст. в кожухотрубном вертикальном конденсаторе. Жидкий толуол не переохлаждается. Тепло конденсации отводится водой, нагревающейся от 20 до 40°С. Вода движется в стальных трубах (марка стали Ст.3) диаметром 33□3 мм со скоростью 0,35 м/с. Коэффициент теплопередачи от пара к воде составляет 640 Вт/(м^2·К). Потерей тепла в окружающую среду и термическими сопротивлениями загрязнений пренебречь. Определить:

1) поверхность теплопередачи в аппарате; 2) расход охлаждающей воды;

3) коэффициенты теплоотдачи; 4) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №2

На наружной поверхности змеевика, изготовленного из стальной (марка стали Ст.3) трубы диаметром 28□2 мм и длиной 5 м, конденсируется при давлении 760 мм рт. ст. насыщенный пар изопропилового спирта. Диаметр витка змеевика составляет 0,3 м. В трубе змеевика протекает метанол, температура которого увеличивается от 12 до 29°С. Коэффициент теплопередачи от конденсирующегося пара к метанолу равен 600 Вт/(м^2·К). Потерями тепла и термическими сопротивлениями загрязнений пренебречь. Определить:

1) количество конденсирующегося изопропанола и охлаждающего метанола;

2) коэффициенты теплоотдачи; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №3

На наружной поверхности змеевика, изготовленного из стальной (марка стали Ст. 3) трубы диаметром 26□3 мм, конденсируется при давлении 760 мм рт. ст. 60 кг/ч насыщенного пара изопропилового спирта. Диаметр витка змеевика составляет 0,23 м. Отвод тепла осуществляется водой, нагревающейся от 10 до 22°С. Коэффициент теплоотдачи со стороны пара составляет 980 Вт/(м^2·К). Термическим сопротивлением загрязнений стенок пренебречь. Определить: 1) длину трубы, из которой изготовлен змеевик; 2) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №4

В стальном змеевике (марка стали Ст. 3) подогревается четырёххлористый углерод от 20°С до температуры кипения при атмосферном давлении. Диаметр трубы змеевика 56□3 мм, а диаметр витка змеевика 500 мм. Нагрев осуществляется конденсирующимся на внешней поверхности трубы насыщенным водяным паром. Давление пара 1,6 ата, его расход 16,5 кг/ч. Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке равен 12900 Вт/(м^2·К). Потери тепла и термические сопротивления загрязнений можно не учитывать. Определить: 1) количество нагреваемой жидкости (кг/ч); 2) поверхность теплопередачи змеевика; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №5

По кольцевому зазору двухтрубного холодильника протекает 30%-ный раствор HCl со скоростью 1,2 м/с, охлаждаясь от 52 до 29°С. Охлаждающая вода движется противотоком, нагреваясь от 13 до 29°С. Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде равен 5830 Вт/(м^2·К). Холодильник изготовлен из стальных (Х18Н10Т) незагрязнённых

труб диаметром 62□3 мм и 36□3 мм. Потери тепла можно не учитывать. Определить:

1) расход кислоты (кг/ч) и охлаждающей воды (м^3/ч); 2) поверхность теплопередачи;

3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №6

По внутренней трубе противоточного двухтрубного теплообменника длиной 4 м, состоящего из стальных (Х18Н10Т) труб диаметром 52□2 мм и 33□2,5 мм, протекает вода,

нагреваясь от 24 до 32°С. По внешней – уксусная кислота, охлаждаясь от 91 до 83°С. Расход уксусной кислоты 4,82 т/ч. Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде равен 4880 Вт/(м^2·К). Потерями тепла и загрязнениями можно пренебречь. Определить:
1) расход охлаждающей воды (м^3/ч); 2) запас поверхности в теплообменнике (%);
3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №7

В трубе змеевика охлаждается 750 кг/ч 100%-ной уксусной кислоты от температуры её конденсации при 760 мм рт. ст до 36°С. Поверхность теплопередачи змеевика 5 м^2, диаметр стальной (Х18Н10Т) трубы змеевика 52□3 мм, диаметр витка 450 мм. Охлаждение производится водой, которая нагревается от 15 до 27°С. Потери тепла и загрязнения стенок можно не учитывать. Определить: 1) коэффициенты теплоотдачи, предварительно найдя коэффициент теплопередачи; 2) расход охлаждающей воды (кг/ч); 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №8

В двухтрубном холодильнике по кольцевому зазору между стальными (Ст.3) трубами диаметром 59□3,5 мм и 28□2,5 мм протекает изопропиловый спирт со скоростью 0,76 м/с. Температура спирта на входе в аппарат 81°С, на выходе 29°С. Охлаждающая вода движущаяся противотоком изменяет свою температуру от 15 до 23°С. Коэффициент теплоотдачи от поверхности стенки к воде равен 6340 Вт/(м^2·К). Потерями тепла и термическими сопротивлениями загрязнений пренебречь. Определить: 1) расход охлаждаемого спирта (кг/ч) и воды (м^3/ч); 2) поверхность теплопередачи; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №9

В стальном (Ст.3) двухтрубном теплообменнике по внутренней трубе диаметром 33□3 мм протекает хлорбензол со скоростью 0,8 м/с. Температура хлорбензола на входе в аппарат 24°С, на выходе 68°С. По зазору кольцевого сечения противотоком протекает горячая вода с температурой на входе 90°С, на выходе 46°С. Коэффициент теплоотдачи от воды к поверхности внутренней трубы равен 1870 Вт/(м^2·К). Потерей тепла в окружающее пространство и термическими сопротивлениями загрязнений пренебречь. Определить:
1) расход нагреваемой жидкости (кг/ч) и греющей воды (м^3/ч); 2) поверхность теплопередачи; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №10

В змеевиковом подогревателе по стальной (марка стали Х18Н10Т) трубе диаметром 33□3 мм течёт хлороформ со скоростью 0,6 м/с, нагреваясь от 18 до 86°С. С внешней стороны змеевик обогревается насыщенным водяным паром под давлением 3 ата. Коэффициент теплоотдачи от пара к трубе змеевика равен 9300 Вт/(м^2·К). Диаметр
витков змеевика 270 мм. Потерями тепла и загрязнениями стенок можно пренебречь. Определить: 1) количество нагреваемой жидкости и расход пара (кг/ч); 2) поверхность теплопередачи; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №11

В кольцевом зазоре двухтрубного теплообменника, состоящего из стальных труб (марка стали Х18Н10Т) диаметром 57□3,5 мм и 25□2 мм, охлаждается 1350 кг/ч ацетона от 56 до 44°С. Охлаждающая вода движется противотоком и нагревается от 22 до 28°С. Коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к воде составляет 4950 Вт/(м^2·К). Термическими сопротивлениями загрязнений и потерями тепла пренебречь. Определить:
1) расход охлаждающей воды (м^3/ч); 2) длину трубы теплообменника; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №12

В вертикальном кожухотрубном конденсаторе на внешней поверхность стальных (Ст.3) труб диаметром 33□3 мм конденсируется насыщенный водяной пар при давлении 1,5 ата. Конденсат удаляется при температуре конденсации. Коэффициент теплоотдачи от пара к трубам составляет 9300 Вт/(м^2·К). По трубам протекает охлаждающая вода со скоростью

0,4 м/с. Число труб в конденсаторе 19. Температура воды на входе 15°С, на выходе 45°С. Потерями тепла пренебречь. Определить: 1) расход охлаждающей воды ($м^3$/ч) и греющего пара (кг/ч); 2) поверхность теплопередачи; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №13

В межтрубном пространстве кожухотрубного теплообменника конденсируется при 760 мм рт. ст. 1730 кг/ч насыщенного пара этанола. Теплообменник выполнен из стальных труб диаметром 26□3 мм, число которых 61. Охлаждающая вода нагревается от 25 до 35°С. Коэффициент теплоотдачи от пара к поверхности стенок труб 1390 Вт/($м^2$·К). Стенки труб считать незагрязнёнными, потерями тепла пренебречь. Определить: 1) расход охлаждающей воды; 2) высоту труб аппарата; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №14

В вертикальном кожухотрубном теплообменнике при давлении 760 мм рт. ст. конденсируется 2140 кг/ч насыщенного пара этанола. Теплообменник выполнен из стали (Ст.3), содержит 127 стальных труб диаметром 29□3 мм. Охлаждающая вода подаётся с начальной температурой 25°С и проходит по трубам со скоростью 0,45 м/с. Коэффициент теплоотдачи со стороны пара 1630 Вт/($м^2$·К). Потерями тепла пренебречь, стенки труб считать незагрязнёнными. Определить: 1) высоту труб аппарата; 2) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №15

В вертикальном кожухотрубном теплообменнике со стальными (Ст.3) трубами диаметром 42□2 мм и длиной 1 м протекает водяной раствор, нагреваясь от 20 до 80°С. Коэффициент теплоотдачи от внутренних стенок труб к раствору равен 930 Вт/($м^2$·К). Число труб в аппарате равно 20. Обогрев ведётся насыщенным водяным паром с давлением 3 ати. Температуру наружных стенок труб (со стороны пара) принять равной 135°С, проверив впоследствии справедливость этого допущения. Термическими сопротивлениями загрязнений поверхности пренебречь. Определить: 1) расход греющего пара; 2) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №16

В горизонтальном кожухотрубном теплообменнике в межтрубном пространстве охлаждается жидкость от 95 до 35°С. Теплоёмкость жидкости 2,92 кДж/(кг·К). Коэффициент теплоотдачи от этой жидкости к трубам равен 585 Вт/($м^2$·К). По стальным (Ст.3) трубам теплообменника (диаметр труб 27□2,5 мм) протекает охлаждающая вода, температура которой увеличивается от 15 до 45°С. Скорость воды в трубах 0,4 м/с. Число труб 19. Потерями тепла в окружающую среду пренебречь. Термические сопротивления загрязнений стенок не учитывать. Определить: 1) количество охлаждаемой жидкости (кг/ч); 2) поверхность теплопередачи теплообменника; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №17

В двухтрубном холодильнике по внутренней стальной (Ст.3) трубе диаметром 27□2,5 мм протекает жидкость со скоростью 1 м/с. Температура жидкости на входе 80°С, на выходе 30°С. Теплоёмкость жидкости 2,94 кДж/(кг·К), плотность 800 кг/$м^3$, теплопроводность 0,41 Вт/($м^2$·К), вязкость 0,4 сПз. По зазору кольцевого сечения протекает охлаждающая вода, нагреваясь от 15 до 50°С. Коэффициент теплоотдачи от внутренней трубы к охлаждающей воде 935 Вт/($м^2$·К). Стенки трубы считать незагрязнёнными, потерями тепла пренебречь. Определить: 1) расходы охлаждаемой и охлаждающей жидкостей; 2) поверхность теплопередачи; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №18

В вертикальном кожухотрубном теплообменнике, имеющем 19 труб диаметром 18□2 мм и высотой 1,2 м, при давлении 760 мм рт. ст. конденсируется насыщенный пар этанола. Охлаждающая вода нагревается от 15 до 35°С. Коэффициент теплопередачи 700 Вт/($м^2$·К). Определить: 1) достаточна ли поверхность теплопередачи для конденсации 350 кг/ч пара этанола (потери тепла не учитывать); 2) какое количество пара этанола (кг/ч) сконденсируется в аппарате, если на поверхности труб образуется слой накипи толщиной

0,5 мм; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №19

В стальном (марка стали Ст.3) двухтрубном теплообменнике по внутренней трубе диаметром 33□3 мм протекает жидкость со скоростью 0,8 м/с. Температура жидкости на входе 20°С, на выходе 60°С. Плотность жидкости 700 кг/м^3, теплоёмкость 2,1 кДж/(кг·К), вязкость 0,45 сПз, теплопроводность 0,41 Вт/(м·К). По зазору кольцевого сечения протекает горячая вода с температурой на входе 90°С, на выходе 50°С. Коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней трубе 875 Вт/(м^2·К). Потерями тепла пренебречь. Термические загрязнения стенок не учитывать. Определить: 1) расходы теплоносителей;
2) поверхность теплопередачи; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №20

В змеевиковом подогревателе по стальной трубе (марка стали Ст.3) диаметром 36□3 мм протекает жидкость со скоростью 0,6 м/с. Температура жидкости на входе 15°С, на выходе 85°С. Плотность жидкости 800 кг/м^3, теплоёмкость 2,1 кДж/(кг·К), вязкость 0,4 сПз, теплопроводность 0,35 Вт/(м·К). С внешней стороны трубы змеевика обогревается насыщенным водяным паром с давлением 2 ати. Конденсат пара удаляется при температуре насыщения. Коэффициент теплоотдачи от пара к трубе змеевика 9300 Вт/(м^2·К). Диаметр витка змеевика 2700 мм. Термическими сопротивлениями загрязнений стенок и тепловыми потерями пренебречь. Определить: 1) количество нагреваемой жидкости; 2) расход пара; 3) поверхность теплопередачи аппарата;
4) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №21

В горизонтальном кожухотрубном теплообменнике в межтрубном пространстве охлаждается жидкость от 95°С до 35°С. Теплоёмкость жидкости 2,92 кДж/(кг·К). Коэффициент теплоотдачи от этой жидкости к трубам 585 Вт/(м^2·К). По стальным (марка стали Ст.3) трубам диаметром 27□2,5 мм протекает охлаждающая вода, температура которой увеличивается от 15°С до 45°С. Скорость воды в трубах 0,4 м/с. Число труб 19. Потерями тепла в окружающую среду пренебречь. Термические загрязнения стенок не учитывать. Определить: 1) количество охлаждаемой жидкости; 2) поверхность теплопередачи теплообменника; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №22

По внутренней трубе диаметром 36□3 мм стального (марка стали Ст.3) двухтрубного подогревателя протекает жидкость со скоростью 1 м/с. Начальная температура жидкости 25°С, конечная 85°С. Плотность жидкости 850 кг/м^3, вязкость 0,4 сПз, теплоёмкость 3,14 кДж/(кг·К), теплопроводность 0,41 Вт/(м·К). В зазоре кольцевого сечения конденсируется насыщенный водяной пар с давлением 1 ати. Конденсат удаляется при температуре пара, коэффициент теплоотдачи от пара к внутренней трубе 7000 Вт/(м^2·К). Потерями тепла и термическими сопротивлениями загрязнений стенок пренебречь. Определить: 1) расход греющего пара; 2) поверхность теплопередачи; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №23

Жидкий толуол в количестве 866 кг/ч подогревается от 20°С до 60°С бензолом, конденсирующимся при нормальном атмосферном давлении в кольцевом пространстве двухтрубного теплообменника. Диаметр внутренней стальной (марка стали Ст.3) трубы теплообменника 44□3,5 мм. Коэффициент теплоотдачи от бензола к стенке составляет 990 Вт/(м^2·К). Определить: 1) поверхность теплопередачи; 2) наружную температуру стенки внутренней трубы теплообменника; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №24

В стальном (марка стали Ст.3) двухтрубном теплообменнике во внутренней трубе диаметром 36□2 мм протекает толуол в количестве 1500 кг/ч и охлаждается от 90°С до 35°С. Между трубами движется охлаждающая вода, нагреваясь от 15°С до 40°С. Коэффициент теплоотдачи от стенки внутренней трубы к воде 580 Вт/(м^2·К). Потерями тепла и термическими сопротивлениями загрязнений стенок пренебречь. Определить:

1) расход воды на охлаждение; 2) поверхность теплопередачи; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №25

На наружной поверхности стального (марка стали Ст.3) змеевика диаметром 28□2 мм и длиной 5 м конденсируется при 760 мм рт. ст. изопропанол. Диаметр витка змеевика составляет 0,3 м. В трубе змеевика протекает вода, температура которой увеличивается от 8°С до 22°С. Коэффициент теплопередачи 700 Вт/(м^2·К). Потери тепла незначительны, загрязнениями стенок пренебречь. Определить: 1) количество конденсирующегося спирта (кг/ч); 2) коэффициент теплоотдачи со стороны пара;

3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №26

На наружной поверхности змеевика, изготовленнго из стальной (марка стали Ст.3) трубы диаметром 26□3 мм конденсируется при 760 мм рт. ст. 60 кг/ч насыщенного пара изопропилового спирта. Отвод тепла конденсации производится водой, нагревающейся от 10°С до 22°С. Коэффициент теплоотдачи со стороны пара составляет 980 Вт/(м^2·К). Диаметр витка змеевика равен 0,23 м. Термическим сопротивлением загрязнений стенок пренебречь. Потери тепла незначительны. Определить: 1) длину трубы, из которой изготовлен змеевик; 2) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №27

В стальных трубах диаметром 20□2 мм и длиной 2 м кожухотрубного теплообменника со скоростью 0,8 м/с проходит бензол и нагревается от 20°С до температуры кипения при 760 мм рт. ст. Греющий насыщенный водяной пар давления 0,8 ати в количестве 3300 кг/ч конденсируется на наружной поверхности труб и его конденсат отводится при температуре конденсации. Коэффициент теплоотдачи со стороны пара равен 10500 Вт/(м^2·К). Из-за наличия загрязнений стенок труб коэффициент теплопередачи в аппарате на 25% меньше рассчитанного без учёта этих загрязнений. Определить: 1) поверхность теплопередачи; 2) число труб и число ходов в теплообменнике; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №28

В стальном (марка стали Ст.3) змеевике подогревается бензол от 20°С до температуры кипения при нормальном атмосферном давлении. Диаметр трубы 56□3 мм, диаметр витка 500 мм. Нагревание осуществляется конденсирующимся на внешней поверхности трубы змеевика насыщенным водяным паром с давлением 0,6 ати. Расход пара составляет 86,5 кг/ч, а коэффициент теплоотдачи от пара к стенке равен 12900 Вт/(м^2·К). Потери тепла и термические сопротивления загрязнений стенок не учитывать. Определить: 1) поверхность теплопередачи змеевика; 2) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №29

Бензол в количестве 880 кг/ч охлаждается от температуры кипения при 760 мм рт. ст. до 20°С во внутренней трубе двухтрубного теплообменника. Длина трубы, изготовленной из стали (марка стали Ст.3), 0,74 м, отношение длины к внутреннему диаметру равно 20, а толщина стенки 4 мм. Хладоагент – толуол – движется противотоком в кольцевом зазоре. Коэффициент теплопередачи от бензола к толуолу 210 Вт/(м^2·К). Термические сопротивления загрязнений стенок учесть по их средним значениям для органических жидкостей. Определить: 1) коэффициенты теплоотдачи; 2) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №30

В стальной (марка стали Ст.3) кожухотрубный кипятильник, имеющий 61 трубу диаметром 25□2 мм и высотой 1 м, поступает при температуре кипения и испаряется при 760 мм рт. ст. толуол. Тепло подводится от конденсирующегося в межтрубном пространстве насыщенного водяного пара с давлением 2 ати. Конденсат не охлаждается. Коэффициенты теплоотдачи со стороны пара и кипящего толуола равны соответственно 10500 и 1630 Вт/(м^2·К). Потерями тепла пренебречь, поверхности труб считать незагрязнёнными. Определить: 1) расход греющего пара; 2) расход испаряемого толуола;

3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №31

Во внутренней трубе диаметром 29□3 мм стального (марка стали Ст.3) горизонтального двухтрубного теплообменника нагревается 0,75 $м^3$/ч воды от 20°С до 50°С. Нагревание проводится насыщенным водяным паром с давлением 2 ата. Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке внутренней трубы 12200 Вт/($м^2$·К). Термические сопротивления загрязнений стенок учесть по их средним значениям для воды среднего качества и водяного пара. Определить: 1) длину трубы теплообменника;

2) расход греющего пара; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №32

Во внутренней трубе диаметром 27□2,5 мм стального (марка стали Ст.3) двухтрубного теплообменника охлаждается 2000 кг/ч толуола от его температуры кипения до 40°С. Давление 760 мм рт. ст. Охлаждение производится водой, движущейся противотоком. Температура воды на входе в аппарат 15°С. Расход воды 6,1 $м^3$/ч. Коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к воде составляет 1400 Вт/($м^2$·К). Термическими сопротивлениями загрязнений стенок пренебречь. Определить: 1) температуру воды на выходе их теплообменника; 2) длину трубы теплообменника;

3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №33

В трубе змеевика охлаждается 3500 кг/ч 100%-ной уксусной кислоты от температуры 60°С до 36°С. Поверхность теплопередачи змеевика 15 $м^2$, диаметр витка 450 мм. Конструкционный материал змеевика – нержавеющая сталь. Охлаждение производится водой, движущейся противотоком, которая нагревается от 15°С до 27°С. Диаметр труб змеевика 51□3 мм. Потери тепла не учитывать. Термические сопротивления загрязнений стенок трубы змеевика учесть по средним их значениям для указанных теплоносителей. Потери тепла не учитывать. Определить: 1) коэффициент теплоотдачи от поверхности труб змеевика к воде; 2) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №34

Насыщенный пар толуола в количестве 1000 кг/ч конденсируется при 760 мм рт. ст. в кольцевом пространстве двухтрубного теплообменника. По внутренней трубе протекает 4000 кг/ч воды с начальной температурой 10°С. Коэффициенты теплоотдачи со стороны пара толуола и воды равны соответственно 1160 и 960 Вт/($м^2$·К). Толщина стенки трубы, выполненной из стали (марка стали Ст. 3), составляет 4 мм. Потерями тепла пренебречь, стенки труб считать незагрязнёнными. Определить: 1) средние температуры внутренней и внешней поверхностей стенки внутренней трубы; 2) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №35

В кольцевом пространстве стального (марка стали Ст.3) двухтрубного теплообменника конденсируется при 760 мм рт. ст. насыщенный пар изопропилового спирта. Отвод тепла конденсации производится водой, нагревающейся от 12°С до 26°С. Расход воды во внутренней трубе диаметром 36□3 мм составляет 1300 кг/ч. Коэффициент теплоотдачи со стороны пара равен 1080 Вт/($м^2$·К), потери тепла в окружающую среду составляют 3350 кДж/ч. Термическими сопротивлениями загрязнений стенок труб пренебречь. Определить: 1) длину внутренней трубы теплообменника; 2) расход греющего пара; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №36

Метанол в количестве 80 т/ч поступает в трубное пространство одноходового кожухотрубчатого теплообменника, где нагревается от 15 до 40°С горячей водой, поступающей в межтрубное пространство и охлаждающейся от 90 до 40°С. Теплообменник имеет 111 труб диаметром 25□2 мм. Коэффициент теплоотдачи от воды к наружной поверхности труб 930 Вт/($м^2$·К). Определить: 1) коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности труб к метанолу; 2) длину труб теплообменника.

ЗАДАЧА №37

Для охлаждения воды, поступающей во внешнюю трубу двухтрубного теплообменника,

используется холодильный рассол (раствор хлорида кальция с концентрацией 24,7% масс.) нагревающийся от -25°С до -15°С. Средняя температура воды 4°С. Диаметр внутренней трубы теплообменника 25□2 мм, длина 3 м. Определить во сколько раз увеличится коэффициент теплоотдачи от рассола к поверхности трубы, если скорость движения рассола увеличить с 0,1 м/с до 1,2 м/с.

ЗАДАЧА №38

В трубном пространстве одноходового кожухотрубчатого теплообменника нагревается от 15 до 42°С метиловый спирт, расход 81 т/ч. В межтрубном пространстве противотоком проходит вода, температура которой изменяется от 90 до 40°С. Коэффициент теплоотдачи от воды к наружной поверхности труб 840 Вт/(м^2·К). Число труб теплообменника 111, их внутренний диаметр 25×2 мм. При расчете учесть термические сопротивления загрязнений стенок. Определить: 1) объёмный расход воды (м^3/ч); 2) коэффициент теплоотдачи от поверхности труб к метанолу; 3) коэффициент теплопередачи; 4) поверхность теплопередачи и длину теплообменника.

ЗАДАЧА №39

По кольцевому пространству горизонтального двухтрубного теплообменника со скоростью 0,9 м/с движется 98%-ная серная кислота, охлаждаясь от 80 до 64°С. Во внутренней трубе теплообменника противотоком движется вода, нагреваясь от 20 до 50°С. Диаметры труб 54□4,5 и 26□3 мм. Коэффициент теплоотдачи от поверхности трубы к воде 1400 Вт/(м^2·К). Определить: 1) коэффициент теплоотдачи от серной кислоты к поверхности трубы; 2) коэффициент теплопередачи; 3) длину труб теплообменника.

ЗАДАЧА №40

В стальных трубах диаметром 25□2 мм одноходового кожухотрубчатого теплообменника со скоростью 0,75 м/с проходит толуол, нагреваясь от 20°С до температуры кипения. Нагрев осуществляется насыщенным водяным паром, имеющем давление 1 ати. Расход пара 3 т/ч. Коэффициент теплоотдачи со стороны пара равен 10000 Вт/(м^2·К). Определить: 1) поверхность теплопередачи; 2) число и длину труб теплообменника; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №41

В кольцевом зазоре двухтрубного теплообменника движется вода со скоростью 0,5 м/с, нагреваясь от 22 до 46ºС. Во внутренней трубе диаметром 45□2 мм противотоком движется хлорбензол охлаждаясь от температуры кипения до 50ºС. Расход хлорбензола 3 т/ч. Коэффициент теплоотдачи со стороны хлорбензола 530 Вт/(м^2·К). Тепловыми потерями пренебречь. При расчёте учесть термические сопротивления загрязнений. Определить: 1) диаметр внешней трубы; 2) поверхность теплопередачи; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №42

В стальных трубах (марка стали Х18Н10Т) четырёхходового кожухотрубчатого теплообменника движется нитробензол нагреваясь от 20ºС до температуры кипения, насыщенным водяным паром, находящимся под давлением 50 ата и поступающим в межтрубное пространство. Расход пара 10 т/ч. Коэффициент теплоотдачи со стороны пара 9000 Вт/(м^2·К). При расчёте пренебречь тепловыми потерями и термическими сопротивлениями загрязнений. Определить: 1) поверхность теплопередачи; 2) число и длину труб теплообменника; 3) составить схему аппарата.

ЗАДАЧА №43

Для подогрева 0,25 л/с метанола от 20°С до температуры кипения используется насыщенный водяной пар под давлением 4 ата. Нагрев осуществляется в змеевике диаметром 20□2 мм, длиной 5 м, состоящим из 5 витков с диаметром витка 310 мм. Определить: 1) расход пара; 2) запас по поверхности теплопередачи.

ЗАДАЧА №44

По змеевику проходит 1,5 т/ч толуола, охлаждающегося от 90 до 30°С. Охлаждение производится водой, нагревающейся от 15 до 40°С. Труба змеевика стальная диаметром 57□3,5 мм. Коэффициент теплоотдачи со стороны воды 580 Вт/(м^2·К). Диаметр витка

змеевика 0,4 м. Определить необходимую длину змеевика и расход воды, учтя термические сопротивления загрязнений стенок.

ЗАДАЧА №45

В теплообменнике «труба в трубе» производится охлаждение этанола от температуры кипения до 20°С, водой, подающейся в кольцевой зазор и имеющей начальную температуру 7°С. Скорость течения метанола 1,5 м/с, воды – 2 м/с. Теплообменник состоит из труб диаметрами 42□3,5 и 25□3 мм. Трубы теплообменника загрязнённые. Определить: 1) конечную температуру воды; 2) коэффициент
теплопередачи; 3) площадь поверхности теплопередачи и длину теплообменника.

ЗАДАЧА №46

В межтрубное пространство кожухотрубчатого конденсатора подаётся при нормальном атмосферном давлении пары бензола. Образующийся конденсат отводится без охлаждения. В качестве хладагента используется вода, поступающая во внутритрубное пространство и нагревающаяся от 20 до 30°С. Скорость воды во внутритрубном пространстве составляет 1,5 м/с. Характеристики конденсатора: диаметр труб 25□2 мм, длина труб 3 м, число труб 384, число ходов 6. Термическими сопротивлениями загрязнений стенок пренебречь. Определить: 1) расход бензола; 2) коэффициент теплоотдачи; 3) запас по площади поверхности теплопередачи.

ЗАДАЧА №47

В теплообменнике «труба в трубе» производится охлаждение метанола от температуры кипения до 25°С, водой, подающейся во внутреннюю трубу и имеющей начальную температуру 10°С. Скорость течения метанола 0,5 м/с, воды – 1 м/с. Теплообменник состоит из труб диаметрами 42□3,5 и 25□3 мм. Термическими сопротивлениями загрязнений пренебречь. Определить: 1) конечную температуру воды;
2) коэффициент теплопередачи; 3) площадь поверхности теплопередачи и длину теплообменника.

ЗАДАЧА №48

В стальных трубах диаметром 25×2 мм одноходового кожухотрубчатого теплообменника со скоростью 0,75 м/с проходит толуол, нагреваясь от 20°С до температуры кипения. Нагрев осуществляется насыщенным водяным паром, имеющем давление 1 ати. Расход пара 3 т/ч. Коэффициент теплоотдачи со стороны пара равен 10000 Вт/(м^2·К). Определить: 1) поверхность теплопередачи; 2) число и длину труб теплообменника; 3) составить схему аппарата.

Задача 29

Определите коэффициент диффузии азота в воздухе при температуре 30 °С и давлении 1 кгс/см^2. Сравните полученное расчётное значение с экспериментальным.

Задача 30

Определите коэффициент диффузии этанола в воде при температуре 50 °С. Сравните полученное расчётное значение с экспериментальным.

Задача 31

Определите коэффициент диффузии этанола в воде при температуре 50 °С, считая раствор сильно разбавленным. Сравните полученное расчётное значение с экспериментальным.

Задача 32

В абсорбере под давлением 1 кгс/см^2 производится поглощение аммиака водой из его смеси с воздухом. Считая равновесную линию прямой, найдите уравнение равновесной линии в относительных массовых и относительных мольных концентрациях, если константа Генри в условиях абсорбции составляет 1507 мм рт. ст.

Задача 33

Для условий задачи 32 определите количество поглощённого абсорбтива, если степень поглощения составляет 80 %, а на абсорбцию подаётся 10 000 м^3/ч газовой смеси при температуре 20 °С, содержащей 15 % абсорбтива.

Задача 34

Для условий задач 32 и 33 определите расход абсорбента (поглотителя) и состав жидкой фазы на выходе из абсорбера, если коэффициент избытка поглотителя 1,4. Орошение абсорбера производится чистым поглотителем.

Задача 35

Для условий задач 33 и 34 построить рабочую и равновесную линии и определить движущую силу процесса абсорбции.

Задача 36

Воду насыщают углекислым газом при температуре 15°С и давлении 2 кгс/см2. Полученный раствор подаётся в десорбер, где происходит удаление углекислого газа при температуре 40°С и давлении 1 кгс/см2. Определить концентрацию углекислого газа в воде на выходе из десорбера и степень извлечения.

Задача 39

Рассчитать потоки, составы и физико-химические свойства (плотность, вязкость, теплоёмкость, удельную теплоту фазового перехода) в ректификационной колонне, где производится разделение 1000 кг/ч смеси метанол-вода. Содержание метанола в исходной смеси 20% мол., в дистилляте 95% мол., в кубовой жидкости 5% мол. Коэффициент запаса флегмы определить по упрощённому уравнению Андервуда-Джилиленда. Построить x-y и t-x,y диаграммы, на x-y диаграмме построить рабочие линии.

Задача 40

Для условий задачи 39 определить тепловую нагрузку дефлегматора и кипятильника ректификационной колонны. Смесь подаётся на ректификацию нагретой до температуры кипения. Потери тепла составляют 5% от тепловой нагрузки кипятильника.

Задача 41

Для условий задачи 39 рассчитать диаметр ректификационной колонны, если:

а) колонна насадочная, заполнена в навал кольцами Рашига размером 50×50×5 мм; б) колонна тарельчатая с ситчатыми тарелками;

в) колонна тарельчатая с колпачковыми тарелками, диаметр колпачка 60 мм, расстояние от верхнего края колпачка до вышерасположенной тарелки 0,5 м.

Задача 42

Для условий задачи 41 рассчитать число единиц переноса, высоту единицы переноса и высоту насадки, если коэффициент массопередачи для верхней части колонны составляет 0,033 кмоль/(м^2·с), для нижней 0,041 кмоль/(м^2·с).

Задача 43

Для адсорбционной очистки 40 %-го водного раствора этилового спирта от примесей в адсорбер диаметром 0,8 м загружено 180 кг активированного угля марки СКТ- 4.

Цилиндрические гранулы угля имеют диаметр 1 мм, высоту 3 мм. Кажущаяся плотность частиц 670 кг/м^3; насыпная плотность гранул 430 кг/м^3.

За 1 час в аппарате очищается 90 м^3 жидкости при температуре 20 °С. Определить:

1) Режим течения жидкости в слое.
2) Гидравлическое сопротивление зёрен.

Раздел 4. Процессы и аппараты разделения гетерогенных систем. (Основные гидромеханические процессы)

Задачи для самостоятельной работы на семинарах

Задача 44

При фильтровании водной суспензии при температуре 20 °С получен осадок с влажностью 14 %масс. (до просушки!).

Твёрдые частицы осадка имеют плотность □S = 1600 кг/м^3; размер частиц (диаметр эквивалентного шара) *d*o = 200 мкм; фактор формы □ = 0,3.

Рассчитать удельное сопротивление слоя осадка.

Задача 45

Фильтровальный патрон изготовлен прокаткой и спеканием порошка титана. Лист патрона толщиной 4 мм имеет поры размером 5 мкм; сопротивление этой фильтровальной

перегородки, найденное при лабораторных испытаниях, составляет $2{,}8\cdot10^{10}$ м$^{-1}$.
Рассчитать долю свободного сечения перегородки.

Задача 46

Рассчитать удельное сопротивление осадка, сопротивление фильтрующей перегородки и время фильтрования на промышленном нутч-фильтре площадью 10 м^2 при избыточном давлении 1,5 ати и температуре 20°С 15 м^3 водной суспензии, содержащей 10% (об.) твёрдой фазы, если при лабораторном испытании на фильтре диаметром 10 см за 5 минут было получено 0,4 л фильтрата, а за 30 минут – 1,2 л. Поразность осадка составляет 0,3. Определить время промывки осадка, если объём промывной воды втрое меньше объёма фильтрата.

Задача 47

Рассчитать поверхность барабанного вакуум-фильтра, на котором производится разделение 15 т/ч суспензии мела в воде при температуре 20°С. Доля твёрдой фазы в суспензии 10% (масс.), влажность полученного осадка 20% (масс.), фильтрат практически свободен от твердой фазы. Доля погруженной поверхности фильтрата 0,35. Показания вакуумметра 650 мм рт. ст. Частота вращения барабана 0,4 мин$^{-1}$. Удельное сопротивление осадка $5\cdot10^{14}$ м$^{-2}$, сопротивление фильтровальной перегородки $8\cdot10^{11}$ м$^{-1}$.

Задача 48

Определить необходимое число параллельно работающих нутч-фильтров диаметром 1,2 м каждый, в которых отделяются кристаллы соды от её насыщенного водного раствора при температуре 20 °С. Насыщенный раствор содержит 20 %масс. растворённой соды; плотность раствора 1168 кг/м^3. Содержание твёрдой фазы в суспензии 5 %масс.; влажность получаемого осадка 45 %масс.

Не более чем за 60 минут надо получать 5,4 м^3 фильтрата, практически свободного от твёрдых частиц.

Фильтрование проводить при разрежении 510 мм рт. ст.

Опытами установлено, что удельное сопротивление осадка составляет $8{,}64\cdot10^{11}$ м$^{-2}$, а сопротивление фильтровальной перегородки $2{,}03\cdot10^{9}$ м$^{-1}$.

Определить так же, какая масса осадка будет получена, и какова будет его высота на фильтре по окончании процесса?

Задача 49

На фильтр-прессе, состоящим из рам размером 1000□1000□45 мм и имеющим общую площадь поверхности фильтрования 80 м^2, предполагается разделять 18 т водной суспензии нерастворимого вещества, содержащей 8 %масс. твёрдой фазы с плотностью частиц 2000 кг/м^3.

Конечная влажность осадка может быть 36 % масс.

Температура разделяемой суспензии 30 °С.

Известно, что удельное сопротивление слоя осадка составляет $2{,}91\cdot10^{14}$ м$^{-2}$, а сопротивление фильтровальной перегородки $1{,}22\cdot10^{11}$ м$^{-1}$.

Определить, какое давление суспензии на входе её в фильтр (по показанию манометра) должен создавать насос, чтобы стадия фильтрования занимала не более 20 минут.

Возможно ли отфильтровать на данном фильтре все 18 тонн при заданных условиях без остановки аппарата на очистку?

Задача 50

В вертикальном цилиндрическом аппарате «КС» производится охлаждение сферических гранул нитрата аммония в потоке атмосферного воздуха. Воздух, имеющий температуру 23 °С, при атмосферном давлении 733 мм рт. ст. подаётся под решётку аппарата с расходом 150000 м^3/ч (в пересчёте на нормальные условия!).

Охлаждаемые гранулы с кажущейся плотностью □S = 1660 кг/м^3 имеют следующий фракционный состав:

Фракция, мм	1…2	2…3	3…4	4…5
Содержание частиц, %масс.	11,3	82,7	4,3	1,7

Средний диаметр гранул фракции, мм	1,41	2,45	3,46	4,47

Насыпная плотность этих гранул □*нас* = 860 кг/м^3.

Определить нижний и верхний пределы скорости воздуха, при которых возможен режим псевдоожижения.

Контрольный работа

Контрольная работа по теме 1

Центробежный насос подаёт органическую жидкость (анилин) из открытой ёмкости в напорный бак, находящийся выше на 2 м. Расход жидкости составляет 0,5 т/ч. Напорный бак находится под избыточным давлением 1,8 ати. Атмосферное давление составляет 741 мм. рт. ст., температура 40 °С. Всасывающий трубопровод имеет диаметр 20×2,5 мм и длину 5 м, нагнетательный трубопровод диаметр 14×3 мм и длину 8 м. Коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси) принять для обоих трубопроводов равным 0,06. Сумма местных сопротивлений всасывающего трубопровода 6,5, нагнетательного трубопровода 37.

Определите:

1) потери напора во всасывающем и нагнетательном трубопроводах
2) напор насоса, необходимый для работы на данную сеть
3) максимальную высоту всасывающей линии, если число оборотов рабочего колеса центробежного насоса 2900 об/мин

Контрольная работа по теме 2

Выполните поверочный расчёт вертикального кожухотрубчатого подогревателя, в котором производится нагрев 124 т/ч органической жидкости (метанол) от 20 °С до 58 °С. Для нагревания используется насыщенный водяной пар, подающийся в межтрубное пространство теплообменника под избыточным давлением 2 кгс/см². Атмосферное давление 745 мм рт. ст. Тепловыми потерями пренебречь. При расчёте учесть загрязнения стенок труб теплообменника.

Характеристики теплообменника:

Площадь поверхности A = 61 м^2, диаметр кожуха D = 600 мм, длина труб L = 3 м,
диаметр труб 25х2 мм, число ходов k = 1, число труб N = 257

Контрольная работа по теме 3

В непрерывно действующем насадочном абсорбере производится улавливание паров бензола из паровоздушной смеси чистым соляровым маслом при следующих условиях:

1) Производительность абсорбера 1000 м^3/ч паровоздушной смеси;
2) Давление в абсорбере 760 мм рт. ст, температура 30°С;
3) Содержание бензола в исходной смеси 5% об.;
4) Улавливается 80% поступающего в абсорбер бензола;
5) Концентрация бензола в вытекающем из абсорбера масле составляет 75%, от равновесной с концентрацией входящего газа $\bar{X}_K = 0,75 \cdot \bar{X}^*(Y_H)$;
6) Диаметр абсорбера 1 м;
7) Насадка из колец Рашига 25×25×3;
8) Коэффициент смачивания насадки 0,95;
9) Коэффициент массопередачи K_y = 0,7 кг бензола/(м^2·час·кг бензола/кг возд.);
10) Уравнение равновесной линии $\bar{Y}^* = 0,5 \cdot \bar{X}$ (относительные массовые доли).

Определить:

1) Высоту насадки
2) Расход поглотителя

Составить схему аппарата

Контрольная работа по теме 4

В ректификационную колонну с ситчатыми переливными тарелками поступает на разделение бинарная смесь бензол-толуол, содержание бензола в которой 35 % масс. В процессе разделения получают 3,6 т/ч дистиллята, содержащего 94 % масс. бензола, и

кубовую жидкость, содержащую 94 % масс. толуола. Давление в колонне нормальное атмосферное. Относительная летучесть компонентов постоянна и равна 2,5.

Определить:

1) Массовые расходы исходной смеси и кубовой жидкости

2) Флегмовое число, найдя предварительно минимальное флегмовое число, и воспользовавшись корреляцией Джиллиленда $R = 1,3 \cdot R_{\min} + 0,3$

3) Диаметр колонны по её нижнему сечению, приняв температуру жидкости и пара в этом сечении приблизительно равными 110 °С

4) Высоту колонны, если тарельчатый КПД колонны составляет 60%, а расстояние между тарелками 0,5 м

5) Построить рабочие линии ректификационной колонны

3.1.2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в ходе текущего контроля успеваемости

Кейсы (ситуации и задачи с заданными условиями)

Обучающийся должен уметь выделить основные положения из текста задачи, которые требуют анализа и служат условиями решения. Исходя из поставленного вопроса в задаче, попытаться максимально точно определить проблему и соответственно решить ее.

Задачи могут решаться устно и/или письменно. При решении задач также важно правильно сформулировать и записать вопросы, начиная с более общих и, кончая частными.

Критерии оценивания – оценка учитывает методы и средства, использованные при решении ситуационной, проблемной задачи.

Оценка *«отлично»* ставится в случае, когда обучающийся выполнил задание (решил задачу), используя в полном объеме теоретические знания и практические навыки, полученные в процессе обучения.

Оценка *«хорошо»* ставится, если обучающийся в целом выполнил все требования, но не совсем четко определяется опора на теоретические положения, изложенные в научной литературе по данному вопросу.

Оценка *«удовлетворительно»* ставится, если обучающийся показал положительные результаты в процессе решения задачи.

Оценка *«неудовлетворительно»* ставится, если обучающийся не выполнил все требования.

Контрольная работа

Оценивается не только глубина знаний поставленных вопросов, но и умение изложить письменно.

Критерии оценивания: последовательность, полнота, логичность изложения, анализ различных точек зрения, самостоятельное обобщение материала. Изложение материала без фактических ошибок.

Оценка *«отлично»* ставится в случае, когда соблюдены все критерии.

Оценка *«хорошо»* ставится, если обучающийся твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, знает практическую базу, но допускает несущественные погрешности.

Оценка *«удовлетворительно»* ставится, если обучающийся освоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении материала, затрудняется с ответами, показывает отсутствие должной связи между анализом, аргументацией и выводами.

Оценка *«неудовлетворительно»* ставится, если обучающийся не отвечает на поставленные вопросы.

3.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

3.2.1. Критерии оценки результатов обучения по дисциплине (модулю)

Шкала	Результаты	Показатели оценивания результатов обучения

оценивания	обучения	
ОТЛИЧНО	Знает:	- обучающийся глубоко и всесторонне усвоил материал, уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает, опираясь на знания основной и дополнительной литературы, - на основе системных научных знаний делает квалифицированные выводы и обобщения, свободно оперирует категориями и понятиями.
	Умеет:	- обучающийся умеет самостоятельно и правильно решать учебно-профессиональные задачи или задания, уверенно, логично, последовательно и аргументировано излагать свое решение, используя научные понятия, ссылаясь на нормативную базу.
	Владеет:	- обучающийся владеет рациональными методами (с использованием рациональных методик) решения сложных профессиональных задач, представленных деловыми играми, кейсами и т.д.; При решении продемонстрировал навыки - выделения главного, - связкой теоретических положений с требованиями руководящих документов, - изложения мыслей в логической последовательности, - самостоятельного анализа факты, событий, явлений, процессов в их взаимосвязи и диалектическом развитии.
ХОРОШО	Знает:	- обучающийся твердо усвоил материал, достаточно грамотно его излагает, опираясь на знания основной и дополнительной литературы, - затрудняется в формулировании квалифицированных выводов и обобщений, оперирует категориями и понятиями, но не всегда правильно их верифицирует.
	Умеет:	- обучающийся умеет самостоятельно и в основном правильно решать учебно-профессиональные задачи или задания, уверенно, логично, последовательно и аргументировано излагать свое решение, не в полной мере используя научные понятия и ссылки на нормативную базу.
	Владеет:	- обучающийся в целом владеет рациональными методами решения сложных профессиональных задач, представленных деловыми играми, кейсами и т.д.; При решении смог продемонстрировать достаточность, но не глубинность навыков, - выделения главного, - изложения мыслей в логической последовательности, - связки теоретических положений с требованиями руководящих документов, - самостоятельного анализа факты, событий, явлений, процессов в их взаимосвязи и диалектическом развитии.
УДОВЛЕТВО-РИТЕЛЬНО	Знает:	- обучающийся ориентируется в материале, однако затрудняется в его изложении; - показывает недостаточность знаний основной и дополнительной литературы; - слабо аргументирует научные положения; - практически не способен сформулировать выводы и обобщения; - частично владеет системой понятий.
	Умеет:	- обучающийся в основном умеет решить учебно-профессиональную задачу или задание, но допускает ошибки, слабо аргументирует свое решение, недостаточно использует научные понятия и руководящие документы.
	Владеет:	- обучающийся владеет некоторыми рациональными методами решения сложных профессиональных задач, представленных деловыми играми, кейсами и т.д.; При решении продемонстрировал недостаточность навыков - выделения главного, - изложения мыслей в логической последовательности, - связки теоретических положений с требованиями руководящих документов, - самостоятельного анализа факты, событий, явлений, процессов в их взаимосвязи и диалектическом развитии.

НЕУДОВЛЕТВО-РИТЕЛЬНО	Знает:	- обучающийся не усвоил значительной части материала; - не может аргументировать научные положения; - не формулирует квалифицированных выводов и обобщений; - не владеет системой понятий.
	Умеет:	обучающийся не показал умение решать учебно-профессиональную задачу или задание.
	Владеет:	не выполнены требования, предъявляемые к навыкам, оцениваемым «удовлетворительно».

3.2.2. Контрольные задания и/или иные материалы для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов для устных ответов (варианты теста). Тексты проблемно-аналитических и (или) практических учебно-профессиональных задач

1. Вывод уравнения неразрывности. Какой вид имеет это уравнение при стационарном течении несжимаемой среды и при неустановившемся течении.
2. Вывод уравнения Навье – Стокса для одномерного движения. Каков физический смысл слагаемых?
3. Проведите подобное преобразование уравнений Навье-Стокса для неустановившегося течения с получением обобщенных переменных (критериев гидродинамического подобия). Каков общий вид критериального уравнения применительно к задаче определения потерь напора (давления)? Физический смысл критериев подобия.
4. Преобразование уравнений Навье – Стокса для покоящейся жидкости. Как получить уравнения Эйлера, основное уравнение гидростатики.
5. Вывод дифференциальных уравнений Эйлера для течения идеальной жидкости. Чем отличается идеальная жидкость от реальной?
6. Вывод дифференциальных уравнений Эйлера для равновесия жидкости.
7. Выведите основное уравнение гидростатики. Назовите практические приложения этого уравнения. Закон Паскаля.
8. Вывод уравнения для распределения скорости по радиусу трубы при стационарном ламинарном течении.
9. Вывод уравнения постоянства расхода для канала (трубопровода) с переменным поперечным сечением.
10. Вывод уравнения для расчета коэффициента гидравлического трения при ламинарном движении жидкости в трубе круглого поперечного сечения.
11. Вывод уравнения Бернулли для идеальной жидкости. Каков физический смысл слагаемых этого уравнения? Приведите примеры практического использования этого уравнения (измерение расхода).
12. Вывод уравнения Бернулли для идеальной жидкости. Опишите особенности движения реальной жидкости. Приведите вид уравнения Бернулли для реальной жидкости. Каков его энергетический смысл?
13. Напор насоса, его энергетический смысл. Вывод формулы для расчета напора проектируемого к установке насоса. Вывод формулы для расчёта напора действующего насоса (через показания манометра и вакуумметра).
14. Вывод формулы для расчета высоты всасывания насоса. От каких факторов зависит допустимая высота всасывания насосов? Ответ обоснуйте анализом формулы для расчета высоты всасывания.
15. Закон внутреннего трения Ньютона, приведите его вид с необходимыми пояснениями; Динамический и кинематический коэффициенты вязкости.
16. Что такое гидравлический радиус и эквивалентный диаметр? Расчет эквивалентного диаметра в канале с некруглым поперечным сечением. Приведите примеры.
17. Охарактеризуйте ламинарное и турбулентное течения. Общие характеристики турбулентного течения. Изобразите, поясните и сопоставьте профили скоростей в трубопроводе при турбулентном и ламинарном режимах течения жидкости.

18. Расчет диаметра трубопровода, выбор расчетных скоростей потока и примерные численные их значения для капельных жидкостей, газов, паров.
19. Определение гидравлического сопротивления в трубопроводах и аппаратах. Как определяются потери напора на трение при ламинарном и турбулентном движении?
20. Приведите и поясните графическую зависимость коэффициента гидравлического трения от критерия Рейнольдса и шероховатости стенки трубопровода при различных режимах течения жидкости.
21. Что такое «гидравлическая гладкость» при течении жидкостей по трубопроводам? Каковы условия, в которых она проявляется?
22. Приведите с необходимыми пояснениями расчетную формулу для определения потерь давления (напора) при течении жидкостей через трубопроводы и каналы. (С учетом трения и местных сопротивлений.) Принципы измерения скоростей и расходов жидкостей в трубопроводах, основанные на определении перепада давления.
23. Изобразите графически и сопоставьте зависимости между производительностью и напором центробежного и поршневого насоса.
24. Характеристика центробежного насоса и характеристика сети. Покажите, как определяется напор и мощность насоса при работе его на данную сеть.
25. Полезная и потребляемая мощность насоса. Коэффициент полезного действия насоса и его составляющие, поясните физический смысл каждого из них. Приведите с необходимыми пояснениями формулу для расчета мощности двигателя насоса.
26. Как влияет температура перекачиваемой жидкости на предельную высоту всасывания насосов? Ответ обоснуйте анализом формулы для расчета высоты всасывания.
27. Какие вы знаете насосы объемного типа? Изобразите схему устройства и опишите действие одного из них.
28. Изобразите схему устройства и опишите действие поршневого насоса, сопоставив его с насосами других типов.
29. Изобразите схему устройства и опишите действие плунжерного насоса, сопоставив его с насосами других типов.
30. Изобразите схему устройства и опишите действие плунжерного насоса двойного действия, сопоставив его с насосом простого действия.
31. Изобразите схему устройства и опишите действие мембранного (диафрагмового) поршневого насоса, назвав области его применения.
32. Насосы для перекачки химически агрессивных жидкостей. Изобразите схему устройства и опишите действие одного из них (по выбору).
33. Изобразите схему устройства и опишите действие монтежю, сопоставив его с насосами других типов и назвав области применения.
34. Изобразите схему устройства и опишите действие шестеренчатого насоса, сопоставив его с насосами других типов.
35. Изобразите схему устройства и опишите действие центробежного насоса, сопоставив его с насосами других типов.
36. Сопоставьте достоинства и недостатки центробежных и поршневых насосов, назвав основные области их применения.
37. Изобразите схему устройства и опишите действие одноступенчатого центробежного насоса, сопоставив его с многоступенчатым центробежным насосом.
38. Изобразите схему устройства и опишите действие осевого (пропеллерного) насоса, сопоставив его с насосами других типов.
39. Потенциал переноса энергии. Вывод уравнение переноса.
40. Вывод дифференциального уравнения конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа. Вид уравнения для стационарного и нестационарного теплообмена.

41. Перенос тепла конвекцией. Уравнение теплоотдачи. Подобное преобразование дифференциального уравнения конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа. Критерии Фурье, Нуссельта, Пекле, Прандтля.
42. Вывод дифференциального уравнения теплопроводности для установившегося и неустановившегося процесса (из уравнения Фурье-Кирхгофа). Каковы размерность и физический смысл коэффициента теплопроводности?
43. Вывод уравнения аддитивности термических сопротивлений при теплопередаче с постоянными температурами теплоносителей для плоской стенки.
44. Связь коэффициента теплопередачи и коэффициентов теплоотдачи при теплопередаче с постоянными температурами теплоносителей для плоской стенки. Какова размерность и каков физический смысл этих коэффициентов?
45. Вывод уравнений теплопроводности через однослойные и многослойные плоские стенки для стационарного процесса. Изобразите графически профили изменения температуры по толщине таких стенок, различающихся коэффициентами теплопроводности.
46. Вывод уравнений теплопроводности через цилиндрические стенки для стационарного процесса. При каких условиях можно практически пренебречь кривизной цилиндрической стенки, сведя задачу к теплопроводности через плоскую стенку?
47. Вывод уравнения для расчета движущей силы теплопередачи при переменных температурах теплоносителей вдоль поверхности теплообмена.
48. Механизмы переноса энергии в форме теплоты в жидкостях и газах. Феноменологический закон переноса энергии Фурье.
49. Температурное поле и температурный градиент.
50. Порядок расчёта поверхности теплопередачи теплообменников. приведите соответствующие пояснения, входящих в формулы величин.
51. Опишите молекулярный механизм переноса энергии. Приведите уравнение для удельного потока теплоты.
52. Определение толщины слоя тепловой изоляции.
53. Взаимное направление движения теплоносителей. Сравнение прямотока с противотоком.
54. Физический смысл тепловых критериев Нуссельта и Прандтля. Назовите примерные численные значения критерия Прандтля для газов и капельных жидкостей.
55. Как определяется количество теплоты, передаваемой лучеиспусканием при взаимном излучении двух тел?
56. Уравнения тепловых балансов при изменении и без изменения фазового состояния систем.
57. Напишите уравнения теплопередачи и теплоотдачи. Что является движущими силами этих процессов? Каковы размерности и физический смысл коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи?
58. Уравнения тепловых балансов при изменении и без изменения фазового состояния систем.
59. Определение потерь тепла стенками аппаратов в окружающую среду.
60. Каковы достоинства и недостатки использования топочных газов в качестве теплоносителей для подвода тепла?
61. Водяной пар как теплоноситель. Назовите области его применения, преимущества и недостатки перед другими теплоносителями. Какой пар и почему чаще используется в качестве теплоносителя – насыщенный или перегретый? Как определяется расход пара при заданной тепловой нагрузке?
62. Каков общий вид критериального уравнения для расчета коэффициента теплоотдачи при принудительной конвекции без изменения агрегатного состояния. Приведите выражения соответствующих обобщенных переменных (критериев подобия).

63. Графически изобразите зависимости коэффициента теплоотдачи при кипении от разности температур между стенкой и кипящей жидкостью и от удельной тепловой нагрузки. Опишите основные режимы кипения.
64. Как осуществляется отвод конденсата при использовании водяного пара в качестве теплоносителя? Каково назначение и принципы действия конденсатоотводчиков?
65. Назовите и сопоставьте друг с другом основные теплоносители, используемые в химической промышленности для отвода теплоты.
66. Назовите и сопоставьте друг с другом основные теплоносители, используемые в химической промышленности для подвода теплоты.
67. Применение высокотемпературных промежуточных теплоносителей. Назовите области и способы их применения. Приведите примеры таких теплоносителей.
68. Взаимное излучение тел. Как определяется коэффициент взаимного излучения?
69. Каков общий вид критериального уравнения для расчета коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции? Опишите, как получено выражение для критерия Грасгофа (с необходимыми пояснениями и обозначениями входящих в него величин).
70. Как и почему влияет гидродинамический режим течения жидкости в трубе на коэффициент теплоотдачи? Изобразите и поясните примерные профили изменения скорости и температуры в поперечном сечении трубы при ламинарном и при турбулентном режимах.
71. Влияние взаимного направления движения теплоносителей на среднюю движущую силу процесса. В каких случаях средняя движущая сила не зависит от взаимного направления потоков?
72. Определение температуры стенок теплообменных аппаратов. Для каких целей требуется знать температуры стенок в ходе расчета теплообменных аппаратов?
73. Теплоотдача при конденсации (описание процесса). Что такое пленочная и капельная конденсация? От каких параметров зависит коэффициент теплоотдачи при конденсации.
74. Теплоотдача при кипении (описание процесса). Общий вид уравнений для определения коэффициента теплоотдачи при кипении.
75. Приведите схемы обогрева аппаратов «острым» и «глухим» паром.
76. Объясните принцип действия конденсатоотводчика. Приведите схему устройства.
77. Изобразите схему устройства кожухотрубного теплообменника.
78. Изобразите многоходовой по межтрубному пространству кожухотрубный теплообменник.
79. Изобразите любую конструкцию многоходового кожухотрубного теплообменника. Чем отличаются одноходовые теплообменники от многоходовых?
80. Какие Вы знаете конструкции теплообменников с компенсацией температурных удлинений труб и кожуха. Изобразите любую конструкцию по вашему выбору.
81. Изобразите схему устройства кожухотрубного и двухтрубного («труба в трубе») теплообменников. Сопоставьте достоинства и недостатки этих аппаратов и назовите области их применения.
82. Изобразите схему устройства и опишите принцип действия теплообменника «труба в трубе». Сопоставьте эти теплообменники с кожухотрубными.
83. Изобразите схему устройства и опишите принцип действия пластинчатого теплообменника для жидкостей. Сопоставьте достоинства и недостатки этого аппарата с кожухотрубным теплообменником.
84. Изобразите схему устройства спирального теплообменника. Укажите достоинства и недостатки этого аппарата.
85. Изобразите схему устройства и опишите принцип действия оросительных холодильников. Укажите их достоинства и недостатки.

86. Изобразите схему устройства и опишите принцип действия погружных (змеевиковых) теплообменников. Укажите их достоинства и недостатки, области применения.
87. Приведите схему устройства любого известного вам смесительного теплообменника.
88. Изобразите известные вам схемы устройства градирен. Для чего они используются?
89. Вывести дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Рассмотреть частный случай диффузии в неподвижной среде.
90. Первый закон Фика. Вывести дифференциальное уравнение конвективной диффузии.
91. Получить диффузионные критерии подобия. Определяемый и определяющие критерии. Физический смысл массообменных критериев подобия.
92. Получить уравнение аддитивности диффузионных сопротивлений. Сформулировать допущения при выводе.
93. Вывести соотношение между коэффициентами массопередачи и массоотдачи. Из каких уравнений получают коэффициенты массоотдачи?
94. Материальный баланс и уравнение рабочей линии при абсорбции. Вывести это уравнение при противотоке газа и жидкости. Как определяется минимальный удельный расход абсорбента?
95. Вывести уравнение рабочей линии для массообменных аппаратов (на примере абсорберов) при противоточном движении фаз идеальным вытеснением в условиях неизменности их расхода.
96. Вывести уравнения для расчета средней движущей силы массопередачи.
97. Расчет высоты и диаметра противоточных колонных аппаратов с непрерывным контактом фаз.
98. Расчет высоты и диаметра противоточных колонных аппаратов со ступенчатым контактом фаз.
99. Методы расчета высоты противоточных колонных аппаратов с непрерывным контактом фаз. Понятие теоретической ступени разделения и числа единиц переноса.
100. Методы расчета высоты противоточных колонных аппаратов со ступенчатым контактом фаз. Понятие теоретической ступени разделения. КПД по Мэрфри.
101. Получить систему уравнений, описывающих процесс простой перегонки.
102. Материальный баланс процесса простой перегонки. Расчет количества кубового остатка, количества и среднего состава дистиллата.
103. Вывести уравнения рабочих линий ректификационной колонны непрерывного действия.
104. Вывести уравнение рабочей линии для укрепляющей части ректификационной колонны. Описать, как строят рабочие линии на диаграмме y–x, сформулировав необходимые допущения.
105. Вывести уравнения рабочих линий для ректификационной колонны непрерывного действия при постоянстве мольных расходов фаз (с необходимыми пояснениями, указав обозначения и допущения). Как зависит положение этих линий на диаграмме y–x от флегмового числа?
106. Эффективность (КПД) ступени по Мэрфри. Вывести (на примере абсорбции) зависимость между эффективностью по Мэрфри и числом единиц переноса при идеальном смешении жидкости и идеальном вытеснении газа.
107. Вывести формулу для расчёта минимального флегмового числа при непрерывной ректификации. Какие принципы используют для оптимизации при определении флегмового числа?

108. Зависимость между флегмовым числом, размерами колонны и расходом теплоты при ректификации. Каковы принципы выбора оптимального флегмового числа? (Выражение для минимального флегмового числа – вывести).
109. Вывести уравнение теплового баланса ректификационной колонны непрерывного действия. Как определяется расход греющего пара в кипятильнике?
110. Вывести уравнение теплового баланса ректификационной колонны непрерывного действия. Как определяется расход теплоносителя в дефлегматоре?
111. Основное уравнение массопередачи. Уравнение массоотдачи. Коэффициенты массопередачи и массоотдачи. Их размерности и физический смысл.
112. Метод кинетической линии расчета высоты массообменных аппаратов со ступенчатым контактом фаз. Порядок построения кинетической линии. Эффективность по Мэрфри.
113. Что такое теоретическая ступень разделения («теоретическая тарелка»)? Как это понятие применяется для оценки эффективности и расчета массообменных аппаратов со ступенчатым и непрерывным контактом фаз?
114. Диффузионное сопротивление массопереносу. В каких случаях сопротивление массопереносу лимитируется переносом в одной из фаз?
115. Критерии подобия массообменных процессов. Их физический смысл.
116. Массообменный (диффузионный) критерий Нуссельта. Каковы его вид и физический смысл?
117. Написать с необходимыми пояснениями и обозначениями выражение для расчета средней движущей силы массопередачи в аппаратах с непрерывным контактом фаз при условии линейности рабочей и равновесной линий (на примере процесса абсорбции). Структура потоков соответствует модели идеального вытеснения.
118. Определение минимального и оптимального расхода поглотителя при абсорбции.
119. Гидродинамические режимы в насадочных аппаратах.
120. Описать с указанием необходимых обозначений и допущений построение рабочих линий для ректификационной колонны непрерывного действия при постоянстве расходов фаз.
121. Влияние флегмового числа на размеры ректификационной колонны и расход греющего пара. Определение оптимального флегмового числа при расчете ректификационных колонн.
122. Назвать (и обосновать их необходимость) основные допущения, принимаемые при анализе и расчете установок для непрерывной ректификации бинарных смесей. Как зависит высота колонны от флегмового числа?
123. Сопоставить друг с другом тарельчатые и насадочные колонные аппараты. Каковы преимущественные области применения каждого из этих типов колонн?
124. Сравнить полый распыливающий и барботажный абсорберы.
125. Распылительные абсорберы. Описать принцип действия, достоинства, недостатки.
126. Привести схему устройства и описать принцип действия насадочной колонны. Для чего используется насадка? Какие бывают насадки?
127. Привести схему устройства и описать принцип действия насадочной колонны. Каковы требования, предъявляемые к насадке колонных аппаратов?
128. Привести схему устройства и описать принцип действия насадочной колонны. Сравнить насадочные и тарельчатые колонные. Указать недостатки насадочных колонн.
129. Описать гидродинамические режимы работы насадочных абсорберов. Сопоставить насадочные и тарельчатые аппараты.

130. Изобразите схему устройства и опишите действие ректификационных и абсорбционных колонн с провальными тарелками.
131. Привести схему устройства и описать принцип действия любого известного вам тарельчатого колонного аппарата. В чем отличие аппаратов с переточными устройствами и без них.
132. Привести схему устройства и описать принцип действия любого известного вам тарельчатого аппарата с переточными устройствами
133. Привести схему устройства и описать принцип действия абсорбционной или ректификационной колонны с ситчатыми тарелками.
134. Привести схему устройства и описать принцип действия абсорбционной или ректификационной колонны с клапанными тарелками.
135. Привести схему устройства и описать принцип действия абсорбционной или ректификационной колонны с колпачковыми тарелками.
136. Изобразить с необходимыми обозначениями и пояснениями схемы установок для простой перегонки.
137. Изобразите с необходимыми обозначениями и пояснениями схему установки для непрерывной ректификации бинарных жидких смесей.
138. Составить уравнения материального баланса при разделении суспензий и вывести из них выражения для расчета массового расхода осветленной жидкости и осадка.
139. Вывод формулы для расчета производительности отстойников для запыленных газов и суспензий.
140. Осаждение под действием силы тяжести. Силы, действующие на частицу. Вывести уравнения для определения скорости свободного осаждения шара.
141. Расчет скорости осаждения частиц сферической формы под действием силы тяжести.
142. Вывод формулы для расчета потребной поверхности осаждения частиц в отстойниках для запыленных газов и суспензий.
143. Критерий Архимеда при осаждении, его физический смысл, использование в расчетах скорости осаждения.
144. Кинетика осаждения. Гидродинамические режимы обтекания тел. Привести график зависимости коэффициента сопротивления среды от критерия Рейнольдса.
145. Привести уравнение фильтрования при постоянном перепаде давления к виду, удобному для экспериментального определения сопротивления осадка и фильтровальной перегородки.
146. Основные параметры, характеризующие зернистый слой. Получить выражения эквивалентного диаметра через удельную поверхность и диаметр частиц.
147. Действительная и фиктивная (приведенная) скорости потока в зернистом слое. Каково соотношение между ними?
148. Охарактеризовать состояние зернистого слоя в зависимости от скорости восходящего потока газа или жидкости. Сопроводите ответ графическими изображениями зависимостей потери давления и высоты слоя от скорости потока.
149. Охарактеризовать состояние зернистого слоя в зависимости от скорости восходящего потока газа или жидкости. Как рассчитать потерю давления в псевдоожиженном слое?
150. Назвать и сопоставить основные способы разделения суспензий. Указать их преимущественные области применения.
151. Охарактеризовать основные способы очистки газов от пыли. Указать их преимущественные области применения.
152. Какие вы знаете типы аппаратов для очистки газов от пыли? Изобразить схему устройства и описать действие одного из них (по выбору).

153. Изобразить схему устройства и описать действие одноярусного гребкового непрерывно действующего отстойника.
154. Аппараты для мокрой очистки газов от пылей. Изобразить схему устройства и описать действие одного из таких аппаратов.
155. Изобразить схему устройства и описать действие тарельчатого (пенного) пылеуловителя.
156. Изобразить схему устройства циклона или гидроциклона (по выбору), назвав основные области их применения.
157. Изобразить схему устройства и описать действие гидроциклона.
158. Какие вы знаете фильтры для суспензий периодического действия? Изобразить схему устройства и описать действие одного из них.
159. Изобразить схему устройства и описать действие нутч – фильтра.
160. Изобразить схему устройства и описать действие пылеосадительных камер и газоходов.

3.2.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков в ходе промежуточной аттестации

Процедура оценивания знаний (тест)

Предлагаемое количество заданий	20
Последовательность выборки	Определена по разделам
Критерии оценки	- правильный ответ на вопрос
«5» если	правильно выполнено 90-100% тестовых заданий
«4» если	правильно выполнено 70-89% тестовых заданий
«3» если	правильно выполнено 50-69% тестовых заданий

Процедура оценивания знаний (устный ответ)

Предел длительности	10 минут
Предлагаемое количество заданий	2 вопроса
Последовательность выборки вопросов из каждого раздела	Случайная
Критерии оценки	- требуемый объем и структура - изложение материала без фактических ошибок - логика изложения - использование соответствующей терминологии - стиль речи и культура речи - подбор примеров их научной литературы и практики
«5» если	требования к ответу выполнены в полном объеме
«4» если	в целом выполнены требования к ответу, однако есть небольшие неточности в изложении некоторых вопросов
«3» если	требования выполнены частично – не выдержан объем, есть фактические ошибки, нарушена логика изложения, недостаточно используется соответствующая терминологии

Процедура оценивания умений и навыков (решение проблемно-аналитических и практических учебно-профессиональных задач)

Предлагаемое количество заданий	1
Последовательность выборки	Случайная
Критерии оценки:	- выделение и понимание проблемы - умение обобщать, сопоставлять различные точки зрения - полнота использования источников - наличие авторской позиции - соответствие ответа поставленному вопросу - использование социального опыта, материалов СМИ, статистических данных - логичность изложения - умение сделать квалифицированные выводы и обобщения с точки зрения решения профессиональных задач - умение привести пример - опора на теоретические положения - владение соответствующей терминологией
«5» если	требования к ответу выполнены в полном объеме

«4» если	в целом выполнены требования к ответу, однако есть небольшие неточности в изложении некоторых вопросов. Затрудняется в формулировании квалифицированных выводов и обобщений
«3» если	требования выполнены частично – пытается обосновать свою точку зрения, однако слабо аргументирует научные положения, практически не способен самостоятельно сформулировать выводы и обобщения, не видит связь с профессиональной деятельностью

4. Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

4.1. Электронные учебные издания

1. Комиссаров, Ю. А. Процессы и аппараты химической технологии. В 5 ч. Часть 1 : учебник для вузов / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент ; под редакцией Ю. А. Комиссарова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 216 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09099-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/515341.
2. Комиссаров, Ю. А. Процессы и аппараты химической технологии. В 5 ч. Часть 2 : учебник для вузов / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент ; под редакцией Ю. А. Комиссарова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 227 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09101-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/515481.
3. Комиссаров, Ю. А. Процессы и аппараты химической технологии. В 5 ч. Часть 3 : учебник для вузов / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент ; под редакцией Ю. А. Комиссарова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 246 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09102-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/515482.
4. Комиссаров, Ю. А. Процессы и аппараты химической технологии. В 5 ч. Часть 4 : учебник для вузов / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент ; под редакцией Ю. А. Комиссарова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 323 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09103-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/515900.
5. Комиссаров, Ю. А. Процессы и аппараты химической технологии. В 5 ч. Часть 5 : учебник для вузов / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент ; под редакцией Ю. А. Комиссарова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 208 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09104-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/515901.

4.2. Электронные образовательные ресурсы

1. Электронная библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» Biblio-online.ru (ЭБС «Юрайт») [Электронный ресурс]. – URL: https://urait.ru/.
2. Электронно-библиотечная система ZNANIUM [Электронный ресурс]. – URL: https://znanium.com/.
3. Электронная библиотечная система «Консультант студента» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.studentlibrary.ru/.
4. e-Library.ru: Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – URL: http://elibrary.ru/.
5. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» [Электронный ресурс]. – URL: http://cyberleninka.ru/.

6. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]. – URL: http://window.edu.ru/.
7. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов [Электронный ресурс]. – URL: http://fcior.edu.ru/.

4.3. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к ниже следующим современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам:

1. Словари и энциклопедии на Академике [Электронный ресурс]. – URL: http://dic.academic.ru.
2. Система информационно-правового обеспечения «Гарант» [Электронный ресурс]. – URL: http://ivo.garant.ru/.

4.4. Комплект лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

1. Лицензионное программное обеспечение: операционная система Microsoft Windows, пакет офисных приложений Microsoft Office.
2. Свободно распространяемое программное обеспечение: свободные пакеты офисных приложений Apache Open Office, LibreOffice.
3. Программное обеспечение отечественного производства: справочно-правовая система «Гарант» (Электронный периодический справочник «Система ГАРАНТ»), образовательная платформа ЮРАЙТ (Электронная библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» Biblio-online.ru (ЭБС «Юрайт»)), электронно-библиотечная система ZNANIUM, электронная библиотечная система «Консультант студента».

4.5. Оборудование и технические средства обучения

Для реализации дисциплины (модуля) используются учебные аудитории для проведения учебных занятий, которые оснащены оборудованием и техническими средствами обучения, и помещения для самостоятельной работы обучающихся, которые оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду РХТУ им. Д.И. Менделеева. Допускается замена оборудования его виртуальными аналогами.

Наименование учебных аудиторий для проведения учебных занятий и помещений для самостоятельной работы*	**Оснащенность учебных аудиторий для проведения учебных занятий и помещений для самостоятельной работы оборудованием и техническими средствами обучения**
Учебные аудитории для проведения учебных занятий	Учебная аудитория укомплектована специализированной мебелью, отвечающей всем установленным нормам и требованиям, оборудованием и техническими средствами обучения (мобильное мультимедийное оборудование).
Помещение для самостоятельной работы	Помещение оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РХТУ им. Д.И. Менделеева и к ЭБС.

* Номер конкретной аудитории указан в приказе об аудиторном фонде, расписании учебных занятий и расписании промежуточной аттестации.