

Документ подписан простой электронной подписью  
 Информация о владельце:  
 ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
 Должность: Проректор по учебной и методической работе  
 Дата подписания: 01.09.2023 14:02:22  
 Уникальный программный ключ:  
 3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Фонд оценочных средств учебной дисциплины Процессы и аппараты

#### 1. Общие положения

Фонд оценочных средств (ФОС) предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины Процессы и аппараты.

ФОС включают контрольные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации в форме экзамена.

#### 2. Результаты освоения дисциплины, подлежащие проверке

Результаты обучения (освоенные умения, усвоенные знания)	Основные показатели оценки результатов
У 1. Читать, выбирать, изображать и описывать технологические схемы;	-составление технологических схем ректификации -составление технологических схем выпаривания -составление технологических схем сушки - составление технологических схем абсорбции
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков; -вычисление необходимой площади поверхности теплообмена;
У 3. Выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования;	-вычисление затрат энергии на транспортировку жидкостей и газов по трубопроводам -вычисление площади поверхности теплообмена -вычисление высоты и диаметра массообменных аппаратов
У 4. Обосновывать выбор конструкции оборудования для конкретного производства;	-выбор технологического оборудования по технологическим, экологическим и -обоснование выбора технологической схемы с указанием оптимальных параметров функционирования.
У 5 Обосновывать целесообразность выбранных технологических схем;	-выбор экономически оптимального диаметра трубопровода -выбор экономически оптимальной высоты массообменного аппарата
У 6 Осуществлять подбор стандартного оборудования по каталогам и ГОСТам.	-выбор стандартной трубопроводной арматуры

	-выбор стандартного теплообменного оборудования
3 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии;	-знание типов процессов химической технологии -знание физических основ гидравлики -знание физических основ теплопередачи -знание физико-химических основ массопередачи
3 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик трубопроводного оборудования -знание основных характеристик теплообменного оборудования -знание основных характеристик массообменного оборудования -знание основных характеристик оборудования для разделения неоднородных систем
3 3. Методики расчета материального и теплового баланса процессов и аппаратов	-знание методики расчета затрат энергии на транспортировку жидкостей и газов по промышленным трубопроводам -знание методики расчета теплового баланса теплообменных аппаратов -знание методики расчета материального баланса массообменных аппаратов -знание методики расчета теплового баланса массообменного аппарата
3 4. методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета технологических трубопроводов -знание принципов выбора оборудования для транспортировки жидкости и газа -знание метода расчета теплообменного оборудования -знание принципов выбора теплообменного оборудования -знание метода расчета насадочных массообменных колонн -знание метода расчета тарельчатых массообменных колонн -знание принципов выбора колонного оборудования -знание принципов выбора оборудования для разделения неоднородных систем
3 5. типичные технологические системы химических производств и их аппаратное оформление;	-знание аппаратного оформления процесса выпаривания -знание технологической системы организации процесса ректификации -знание аппаратного оформления процесса ректификации -знание технологической системы организации процесса сушки
3 6 Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов хими-	-знание типов насосов и принципа их действия

ческих производств;	<ul style="list-style-type: none"> <li>-знание типов вентиляторов и компрессоров и принципа их действия</li> <li>-знание типов теплообменников и принципа их действия</li> <li>-знание типов абсорберов и принципа их действия</li> <li>-знание типов ректификационных колонн и принципа их действия</li> <li>-знание типов экстракторов и принципа их действия</li> <li>-знание типов адсорберов и принципа их действия</li> <li>-знание типов сушилок и принципа их действия</li> <li>-знание типов фильтров и принципа их действия</li> </ul>
З 7. Принципы выбора аппаратов с различными конструктивными особенностями в процессах переработки нефти и газа.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-знание принципов выбора сложных ректификационных колонн</li> <li>-знание принципов выбора схем разделения сложных смесей углеводородов</li> </ul>
З 8. Правила отбора проб с использованием специального оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>-знание принципа выбора расположения пробоотборников</li> <li>-знание устройства и принципа действия пробоотборников</li> <li>-знание методики отбора проб</li> </ul>

### 3. Распределение оценивания результатов обучения по видам контроля

Наименование элемента умений или знаний	Виды аттестации	
	Текущий контроль	Промежуточная аттестация
У 1. Читать, выбирать, изображать и описывать технологические схемы;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Практическая работа.</li> <li>Лабораторная работа</li> <li>Тестирование</li> </ul>	Экзамен, Зачёт по лабораторным работам
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Практическая работа, защита отчёта, устный опрос</li> <li>Лабораторная работа</li> <li>Тестирование</li> </ul>	Экзамен, Зачёт по лабораторным работам
У 3. Выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Практическая работа, защита отчёта</li> <li>Лабораторная работа</li> <li>Тестирование</li> </ul>	Экзамен, Зачёт по лабораторным работам

У 4.Обосновывать выбор конструкции оборудования для конкретного производства;	Представление конспекта, Тестирование, Практическая работа. эскиз оборудования	Экзамен, Зачёт по лабораторным работам
У 5. Обосновывать целесообразность выбранных технологических схем;	Представление конспекта, эскиз оборудования	Экзамен, Зачёт по лабораторным работам
У 6 Осуществлять подбор стандартного оборудования по каталогам и ГОСТам.	представление конспекта, эскиз оборудования	Экзамен, Зачёт по лабораторным работам
З 1. Классификации и физико-химические основы процессов химической технологии;.	Представление конспекта, устный опрос Практическая работа. Лабораторная работа Тестирование	Экзамен, Зачёт по лабораторным работам
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	Устный опрос, Тестирование Практическая работа. Лабораторная работа	Экзамен, Зачёт по лабораторным работам
З 3. Методики расчета материального и теплового баланса процессов и аппаратов	Тестирование Практическая работа.	Экзамен, Зачёт по лабораторным работам
З 4. Методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	Представление конспекта, контрольная работа. Тестирование	Экзамен, Зачёт по лабораторным работам
З 5. Типичные технологические системы химических производств и их аппаратное оформление;	Практическая работа. Лабораторная работа Тестирование	Экзамен, Зачёт по лабораторным работам
З 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств;	Практическая работа. Лабораторная работа Тестирование	Экзамен, Зачёт по лабораторным работам
З 7. Принципы выбора аппаратов с различными конструктивными особенностями в процессах переработки нефти и газа	.Лабораторная работа. Тестирование	Экзамен, Зачёт по лабораторным работам
З 8. Правила отбора проб с использованием специального оборудования	.Лабораторная работа.	Зачёт по лабораторным работам

#### 4. Структура контрольного задания

#### 4.1. Практическая работа №1 «Гидростатика. Вязкость. Уравнение Бернулли. Потери давления на трение и местные сопротивления»

##### 4.1.1. Текст практической работы №1

**Вариант 1** Определить потери давления в трубе с внутренним диаметром 60 мм, если по трубе пропускают водород с расходом 300 м<sup>3</sup>/час (рабочие условия) при температуре 100 С и давлении 1.5 атм (изб.). Учесть острый вход в трубу, выход, нормальный вентиль и диафрагму ( $m=0.5$ ), установленные на трубопроводе. Давление в газгольдере, куда подается водород, на 0.01 атмосферу больше чем во всасывающей трубе. Высота подъема 5м. Потери давления на трение 2900 Па. Определить мощность вентилятора при К.П.Д. равном 0.6.

**Вариант 2** Определить потери давления в трубе с внутренним диаметром 140 мм, если по трубе пропускают воздух с расходом 1000м<sup>3</sup>/час (рабочие условия) при температуре 1000 С и давлении 1.5 атм (изб.). Учесть острый вход в трубу, выход, нормальный и прямооточный вентиль, а также диафрагму ( $m=0.5$ ), установленные на трубопроводе. Давление в калорифере, куда подается воздух, равно давлению во всасывающем трубопроводе. Высота подъема воздуха 2м. Потери давления на трение 2000 Па. Определить мощность вентилятора при К.П.Д. равном 0.55.

**Вариант 3** Определить потери давления в трубе, если по трубе прокачивают воду с расходом 100 м<sup>3</sup>/час при температуре 10 С. Внутренний диаметр трубы 1м. Учесть острый вход в трубу, выход, а также три отвода под 90 градусов ( $R0/d=6$ ) на трубопроводе. Давление в емкости, куда подается вода атмосферное. Высота подъема воды 3 м. Потери давления на трение 20 Па. Определить мощность насосной установки при К.П.Д. равном 0.7.

**Вариант 4** Определить потери давления в трубе, если по трубе прокачивают водный раствор поваренной соли с концентрацией 25% масс с расходом 28 т/час при температуре 20 С. Диаметр трубы 86х3 мм. Учесть острый вход в трубу, выход, а также внезапное расширение и сужение на трубопроводе (соотношение  $F0/F1 = 0,5$ ). Высота подъема раствора 4 м. Потери давления на трение 400 Па. Определить мощность насосной установки при К.П.Д. равном 0.6.

##### 4.1.2. Время на выполнение: 1 ч

##### 4.1.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	

У 3. выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования;	-вычисление затрат энергии на транспортировку жидкостей и газов по трубопроводам	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик трубопроводного оборудования	
З 6 Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств	-знание типов насосов и принципа их действия -знание типов вентиляторов и компрессоров и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

## 4.2. Тестовое задание №1 «Гидростатика. Вязкость. Уравнение Бернулли.

### Потери давления на трение и местные сопротивления»

#### 4.2.1. Текст тестового задания №1

##### Вариант 1

№	Задание	Варианты ответа	
1	Физический смысл уравнения Бернулли	закон сохранения массы.	
		закон сохранения импульса.	
		закон сохранения энергии.	
2	Размерность динамического коэффициента вязкости:	$\frac{кг}{м^2}$	
		$\frac{кг}{м \cdot с}$	
		$\frac{кг}{м \cdot с}$	
		Па · с	
3	Плотность вещества	Это масса единицы объема вещества	
		Это объем единицы массы вещества	
		Это объем одного моля вещества	

##### Вариант 2

№	Задание	Варианты ответа	
1	Как изменится сопротивление трубопровода при увеличении скорости потока?	увеличится	
		уменьшится	
		не изменится	
2	Какой из критериев является мерой отношения силы инерции к силе вязкостного трения?	Eu,	
		Fr	
		Re	
3	Как меняется вязкость газов при увеличении температуры	увеличится	
		уменьшится	
		не изменится	

### Вариант 3

№	Задание	Варианты ответа	
1	Размерность коэффициента трения	безразмерный	
		$\frac{Па}{м}$	
		$\frac{м^2}{с}$	
2	При каких значениях критерия Рейнольдса наблюдается развитие турбулентное течение жидкостей в прямых трубах?	Re < 2300 b) c)	
		2300 < Re < 10000	
		Re > 10000	
3	Если диаметр трубы уменьшить в два раза при постоянном расходе жидкости, во сколько раз изменится скорость течения:	не изменится	
		В 2	
		В 4	

#### 4.2.2. Время на выполнение: 10 минут

#### 4.2.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	
У 3. выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования;	-вычисление затрат энергии на транспортировку жидкостей и газов по трубопроводам	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик трубопроводного оборудования	
З 6 Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств	-знание типов насосов и принципа их действия -знание типов вентиляторов и компрессоров и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов  
За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

**4.3 Лабораторная работа №1 «Гидростатика. Вязкость. Уравнение Бернулли. Потери давления на трение и местные сопротивления»:** «Определение режима течения жидкости».

**4.3.1. Лабораторная работа 1.** «Определение режима течения жидкости».

При различных расходах жидкости в трубе визуально определить режим течения и рассчитать критерий Re.

**4.3.2. Время на выполнение: 3 ч**

**4.3.3. Перечень объектов контроля и оценки**

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов  
За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

**4.4 Лабораторная работа №2 «Гидростатика. Вязкость. Уравнение**

**Бернулли. Потери давления на трение и местные сопротивления»:** «Определение гидравлических сопротивлений трубопровода»

**4.4.1. Лабораторная работа 2.** «Определение гидравлических сопротивлений трубопровода»

При разных скоростях потока в трубопроводе замерить гидравлические сопротивления и по экспериментальным данным определить численные значения коэффициента трения и коэффициентов местных сопротивлений наиболее характерных элементов трубопровода.

**4.4.2. Время на выполнение: 3 ч**



#### 4.4.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	
У 3. выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования;	-вычисление затрат энергии на транспортировку жидкостей и газов по трубопроводам	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик трубопроводного оборудования	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

**4.5 Лабораторная работа №3 «Гидростатика. Вязкость. Уравнение Бернулли. Потери давления на трение и местные сопротивления»:** «Изучение гидравлики взвешенного слоя».

##### 4.5.1. Лабораторная работа 3. «Изучение гидравлики взвешенного слоя».

Определить основные характеристики взвешенного слоя по экспериментально найденной зависимости перепада давления на слое от скорости газа.

##### 4.5.2. Время на выполнение: 3 ч

##### 4.5.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии.	-знание физических основ гидравлики	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

**4.6 Лабораторная работа №4 «Разделение жидких и газовых неоднородных систем»:** «Изучение работы барабанного вакуум-фильтра непрерывного действия».

**4.6.1. Лабораторная работа 4.** «Изучение работы барабанного вакуум-фильтра непрерывного действия».

Определить константы уравнения фильтрования по полученным экспериментальным данным.

**4.6.2. Время на выполнение: 3 ч**

**4.6.3. Перечень объектов контроля и оценки**

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии;	-знание физических основ гидравлики	
З 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств;	-знание типов фильтров и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

**4.7 Лабораторная работа №5 «Разделение жидких и газовых неоднородных систем»:** «Определение скорости витания частиц и коэффициентов сопротивления циклона».

**4.7.1. Лабораторная работа 5.** «Определение скорости витания частиц и коэффициентов сопротивления циклона».

Определить экспериментально скорость витания частиц различной формы и рассчитать коэффициент формы. Измерить при различных расходах газа гидравлическое сопротивление циклона и рассчитать коэффициент гидравлического сопротивления.

**4.7.2. Время на выполнение: 3 ч**

### 4.7.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии;.	-знание физических основ гидравлики	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

### 4.8. Лабораторная работа №6 «Сжатие и транспортировка газов»: «Определение характеристик центробежного вентилятора».

#### 4.8.1. Лабораторная работа 4. «Определение характеристик центробежного вентилятора».

Построить экспериментально найденные характеристики вентилятора в зависимости от последовательности вентилятора, построить характеристику сети и определить параметры рабочей точки вентилятора.

#### 4.8.2. Время на выполнение: 4 ч

### 4.8.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков	
З1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии;.	-знание физических основ гидравлики	
З6 Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств;	-знание типов вентиляторов и компрессоров и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

## 4.9. Практическая работа №2 «Значение процессов теплообмена в химической промышленности. Виды переноса теплоты, их характеристика. Основы теплопередачи»

### 4.9.1. Текст практической работы №2

**Вариант 1** Воздух под атмосферным давлением нагревается в калорифере водяным паром с 10°C до 80°C. Расход воздуха 200 м<sup>3</sup>/час(р.у) Давление греющего пара 2 атм (изб). Определить расход греющего пара и площадь поверхности калорифера. Коэффициент теплопередачи 50 Вт/м<sup>2</sup> К.

**Вариант 2** Азот под атмосферным давлением нагревается в теплообменнике водяным паром с 0°C до 50°C. Расход азота 300м<sup>3</sup>/час(р.у.). Давление греющего пара 3 атм (изб). Определить расход греющего пара и площадь поверхности теплообменника. Коэффициент теплопередачи 30 Вт/м<sup>2</sup> К.

**Вариант 3** Вода нагревается в теплообменнике водяным паром с 0°C до 50°C. Расход воды 200 м<sup>3</sup>/час. Давление греющего пара 3 атм (изб). Определить расход греющего пара и площадь поверхности теплообменника. Коэффициент теплопередачи 1500 Вт/м<sup>2</sup> К.

**Вариант 4** Бензол нагревается в теплообменнике водяным паром с 30°C до 80°C. Расход бензола 70 м<sup>3</sup>/час. Давление греющего пара 2 атм (изб). Определить расход греющего пара и площадь поверхности теплообменника. Коэффициент теплопередачи 150 Вт/м<sup>2</sup> К.

### 4.9.2. Время на выполнение: 1 ч

### 4.9.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков; -вычисление необходимой площади поверхности теплообмена;	
У 3. выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования	-вычисление необходимой площади поверхности теплообмена;	
У 4. обосновывать выбор конструкции оборудования для конкретного производства;	-выбор технологического оборудования по технологическим, экологическим	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик теплообменного оборудования	

3.3. Методики расчета материального и теплового баланса процессов и аппаратов	-знание методики расчета теплового баланса теплообменных аппаратов	
---	--	--

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

#### 4.10. Практическая работа №3 «Значение процессов теплообмена в химической промышленности. Виды переноса теплоты, их характеристика. Основы теплопередачи»

##### 4.10.1. Текст практической работы №3

**Вариант 1** Хлор под атмосферным давлением охлаждается в теплообменнике водой с 40°C до 12°C. Расход хлора 1000 м<sup>3</sup>/час(р.у.). Вода нагревается с 10С до 30С. Определить расход воды и площадь поверхности теплообменника. Коэффициент теплопередачи 30 Вт/м<sup>2</sup> К. Хлор и вода движутся противотоком.

**Вариант 2** Пары толуола конденсируются в теплообменнике под атмосферным давлением. Расход толуола 1700 кг/час. Температура воды меняется от 10°C до 30°C. Определить расход воды и площадь поверхности теплообменника-конденсатора. Коэффициент теплопередачи 650 Вт/м<sup>2</sup> К.

**Вариант 3** Хлор под атмосферным давлением охлаждается в холодильнике водой с 60°C до 40°C. Расход хлора 1200 м<sup>3</sup>/час(р.у.). Вода нагревается с 10°C до 30°C. Определить расход воды и площадь поверхности холодильника. Коэффициент теплопередачи 100 Вт/м<sup>2</sup> К. Хлор и вода движутся прямотоком

**Вариант 4** Пары пропилового спирта конденсируются в теплообменнике под атмосферным давлением. Расход спирта 2000 кг/час. Температура воды меняется от 10°C до 30°C. Определить расход воды и площадь поверхности конденсатора. Коэффициент теплопередачи 500 Вт/м<sup>2</sup> К.

##### 4.10.2. Время на выполнение: 1 ч

##### 4.10.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков; -вычисление необходимой площади поверхности теплообмена;	

У 3. Выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования	-вычисление необходимой площади поверхности теплообмена;	
У 4. Обосновывать выбор конструкции оборудования для конкретного производства;	-выбор технологического оборудования по технологическим, экологическим	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик теплообменного оборудования	
З 3. Методики расчета материального и теплового баланса процессов и аппаратов	-знание методики расчета теплового баланса теплообменных аппаратов	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

#### 4.11. Тестовое задание №2 «Значение процессов теплообмена в химической промышленности. Виды переноса теплоты, их характеристика. Основы теплопередачи»

##### 4.11.1. Текст тестового задания №2

##### Вариант 1

№	Задание	Варианты ответа	
1	Сколько нужно знать температур для определения средней движущей силы при теплообмене конденсирующийся пар – воздух:	2	
		3	
		4	
2	Какое уравнение позволяет рассчитать количество тепла, выделяющегося в процессе конденсации:	$Q=G*c*(t_1-t_2)$	
		$Q=G*r$	
3	Физический смысл уравнения теплопроводности:	закон сохранения энергии	
		закон сохранения массы	
		скорость переноса теплоты	

### Вариант 2

№	Задание	Варианты ответа	
1	Давление греющего пара по манометру $P=0 \frac{кгс}{см^2}$ . Какова температура пара:	50°C	
		0°C	
		100°C	
2	Что является движущей силой процесса теплоотдачи :	разность начальной и конечной температур одного из теплоносителей	
		разность температур теплоносителей	
		разность температур теплоносителя и стенки	
3	Механизм переноса тепла в твердых телах	конвекция	
		теплопроводность	
		излучение	

### Вариант 3

№	Задание	Варианты ответа	
1	Как изменится коэффициент теплоотдачи нагреваемой среды при увеличении скорости потока	увеличится	
		уменьшится	
		останется без изменений	
2	Как изменится коэффициент теплоотдачи охлаждаемой среды при увеличении вязкости	увеличится	
		уменьшится	
		останется без изменений	
3	Размерность удельного потока теплоты	$\frac{Дж}{м^2 \cdot К}$	
		$\frac{Вт}{м^2}$	
		$\frac{Вт}{м \cdot К}$	

4.11.2. Время на выполнение: 10 минут

4.11.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков; -вычисление необходимой площади	

	поверхности теплообмена;	
У 3. Выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования	-вычисление необходимой площади поверхности теплообмена;	
У 4. Обосновывать выбор конструкции оборудования для конкретного производства;	-выбор технологического оборудования по технологическим, экологическим	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик теплообменного оборудования	
З 3. Методики расчета материального и теплового баланса процессов и аппаратов	-знание методики расчета теплового баланса теплообменных аппаратов	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

**4.12. Лабораторная работа №7 «Значение процессов теплообмена в химической промышленности. Виды переноса теплоты, их характеристика. Основы теплопередачи»: «Изучение процесса теплоотдачи в кожухотрубном теплообменнике».**

**4.12.1. Лабораторная работа 7 «Изучение процесса теплоотдачи в кожухотрубном теплообменнике».**

Определить экспериментально зависимость коэффициента теплоотдачи к движущему в трубах воздуха от скорости его движения.

**4.12.2. Время на выполнение: 4 ч**

**4.12.3. Перечень объектов контроля и оценки**

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков; -вычисление необходимой площади поверхности теплообмена;	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физических основ теплопередачи	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.



## 4.13. Практическая работа №4 «Промышленные способы нагрева и охлаждения в химической технологии»

### 4.13.1. Текст практической работы №4

**Вариант 1** Воздух с давлением 1 атм (изб.) нагревается паром в кожухотрубчатом калорифере от температуры 0 С до 70 С. Воздух подается в трубное пространство, пар в межтрубное. Диаметр теплообменных труб равен 25x2.5 мм, материал труб - сталь, количество 121. Расход воздуха 1000 м<sup>3</sup>/час(р.у.) Давление греющего пара 3 атм (изб.), пар загрязнен маслом. Коэффициент теплоотдачи от пара 10000 Вт/м<sup>2</sup> К. Определить площадь поверхности калорифера и расход греющего пара

**Вариант 2** Анилин охлаждается в кольцевом пространстве теплообменника «труба в трубе» от температуры 70 С до 25 С. Противотоком в трубное пространство подается загрязненная охлаждающая вода. Теплообменник состоит из стальных трубок диаметром 104x3мм и 57x3мм. Расход анилина 16 т/час. Температура стенки трубы со стороны анилина 40 С. Вода нагревается с 10 С до 30 С. Тепловую проводимость загрязнений стенки трубы со стороны анилина считать равной 3000 Вт/м<sup>2</sup> К. Коэффициент теплоотдачи от воды 950 Вт/м<sup>2</sup> К. Определить площадь поверхности теплообменника и расход охлаждающей воды.

**Вариант 3** 100% Этиловый спирт охлаждается в межтрубном пространстве кожухотрубчатого теплообменника от температуры 70 С до 30 С. Противотоком в трубное пространство подается охлаждающая вода среднего качества. Теплообменник состоит из 110 трубок из нержавеющей стали диаметром 20x2 мм, расположение трубок - шахматное, площадь проходного сечения межтрубного пространства 0.015 м<sup>2</sup>. Расход спирта 8 т/час. Температура стенки трубы со стороны спирта 20 С. Вода нагревается с 5 С до 25 С. Тепловую проводимость загрязнений стенки трубы со стороны спирта считать равной 2000 Вт/м<sup>2</sup> К. Коэффициент теплоотдачи от воды 850 Вт/м<sup>2</sup> К. Определить площадь поверхности теплообменника и расход охлаждающей воды.

**Вариант 4** Пары бензола конденсируются в межтрубном пространстве вертикального кожухотрубчатого теплообменника под атмосферным давлением. В трубное пространство подается охлаждающая вода среднего качества. Теплообменник состоит из 37 стальных трубок диаметром 20x2 мм. и длиной 3м Расход пара 70 кг/час. Температура стенки трубы со стороны конденсата 50 С. Вода нагревается с 15 С до 35 С. Тепловую проводимость загрязнений стенки трубы со стороны конденсата считать равной 3000 Вт/м<sup>2</sup> К. Коэффициент теплоотдачи от воды 900 Вт/м<sup>2</sup> К. Определить площадь поверхности теплообменника и расход охлаждающей воды.

### 4.13.2. Время на выполнение: 1 ч

### 4.13.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	

	-вычисление необходимой площади поверхности теплообмена;	
У 3. Выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования	-вычисление необходимой площади поверхности теплообмена;	
У 4. Обосновывать выбор конструкции оборудования для конкретного производства;	-выбор технологического оборудования по технологическим, экологическим	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик теплообменного оборудования	
З 3. Методики расчета материального и теплового баланса процессов и аппаратов	-знание методики расчета теплового баланса теплообменных аппаратов	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

#### 4.14. Практическая работа №5 «Выпаривание»

##### 4.14.1. Текст практической работы №5

**Вариант 1** Рассчитать вакуум-выпарную установку для выпаривания раствора хлористого кальция. Сделать подробный расчет выпарного аппарата. Поверхность греющей камеры, подогревателя исходной смеси и барометрический конденсатор рассчитать приближенно.

##### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

1. Коэффициент теплопередачи в греющей камере 1100 Вт/м<sup>2</sup> К.
2. Производительность установки по слабому раствору 14 т/час.
3. Концентрация хлорида кальция в слабом растворе 12% масс.
4. Концентрация хлорида кальция в упаренном растворе 25% масс.
5. Исходная температура слабого раствора 35 С.
6. Температура, с которой раствор поступает в аппарат 60 С.
7. Давление в барометрическом конденсаторе 0.3 ат (абс.).
9. Давление греющего пара 1 атм (изб).
10. Гидравлическая депрессия 1 С.

**Вариант 2** Рассчитать вакуум-выпарную установку для выпаривания раствора поташа. Сделать подробный расчет выпарного аппарата. Поверхность греющей камеры, подогревателя исходной смеси и барометрический конденсатор рассчитать приближенно.

##### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

1. Коэффициент теплопередачи в греющей камере 1000 Вт/м<sup>2</sup> К.
2. Производительность установки по слабому раствору 16 т/час.
3. Концентрация поташа в слабом растворе 8% масс.
4. Концентрация поташа в упаренном растворе 20% масс.
5. Исходная температура слабого раствора 30 С.
6. Температура, с которой раствор поступает в аппарат 70 С.
7. Давление в барометрическом конденсаторе 0.35 ат (абс.).
9. Давление греющего пара 2 атм (изб).
10. Гидравлическая депрессия 1.5 С.

11. Коэффициент теплопередачи в подогревателе исходной смеси 900 Вт/м<sup>3</sup> К.

**Вариант 3** Рассчитать вакуум-выпарную установку для выпаривания раствора хлористого калия. Сделать подробный расчет выпарного аппарата. Поверхность греющей камеры, подогревателя исходной смеси и барометрический конденсатор рассчитать приближенно.

**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА**

1. Коэффициент теплопередачи в греющей камере 1200 Вт/м<sup>3</sup> К.
2. Производительность установки по слабому раствору 20 т/час.
3. Концентрация хлористого калия в слабом растворе 5 %масс.
4. Концентрация хлористого калия в упаренном растворе 30 %масс.
5. Исходная температура слабого раствора 15 С.
6. Температура, с которой раствор поступает в аппарат 65 С.
7. Давление в барометрическом конденсаторе 0.4 ат (абс.).
9. Давление греющего пара 1 атм (изб).
10. Гидравлическая депрессия 1.2 С.
11. Коэффициент теплопередачи в подогревателе исходной смеси 800 Вт/м<sup>3</sup> К.

**Вариант 4** Рассчитать вакуум-выпарную установку для выпаривания раствора сульфата натрия. Сделать подробный расчет выпарного аппарата. Поверхность греющей камеры, подогревателя исходной смеси и барометрический конденсатор рассчитать приближенно.

**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА**

1. Коэффициент теплопередачи в греющей камере 1000 Вт/м<sup>3</sup> К.
2. Производительность установки по слабому раствору 12 т/час.
3. Концентрация сульфата натрия в слабом растворе 10 %масс.
4. Концентрация сульфата натрия в упаренном растворе 25 %масс.
5. Исходная температура слабого раствора 15 С.
6. Температура, с которой раствор поступает в аппарат 55 С.
7. Давление в барометрическом конденсаторе 0.3 ат (абс.).
9. Давление греющего пара 1 атм (изб).
10. Гидравлическая депрессия 1 С.
11. Коэффициент теплопередачи в подогревателе исходной смеси 900 Вт/м<sup>3</sup> К.

**4.14.2. Время на выполнение: 1 ч**

**4.14.3. Перечень объектов контроля и оценки**

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 1. Читать, выбирать, изображать и описывать технологические схемы;	-составление технологических схем выпаривания	
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков; -вычисление необходимой площади поверхности теплообмена;	
З 5. Типичные технологические системы химических производств и их аппаратурное оформление;	-знание аппаратурного оформления процесса выпаривания	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов  
 За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

#### 4.15. Тестовое задание №3 «Выпаривание»

##### 4.15.1. Текст тестового задания №3

###### Вариант 1

№	Задание	Варианты ответа
1	Температурной депрессией называется:	разность температур кипения на среднем уровне кипящего раствора и при давлении в сепараторе разность температур кипения раствора и чистого растворителя разность температур вторичного пара в сепараторе выпарного аппарата и в барометрическом конденсаторе
2	Давление греющего пара по манометру $P=0 \frac{кгс}{см^2}$ . Какова температура пара:	$0^{\circ}C$ $100^{\circ}C$ $50^{\circ}C$
3	При уменьшении давления в выпарном аппарате движущая сила процесса:	увеличивается уменьшается не изменяется

###### Вариант 2

№	Задание	Варианты ответа
1	Движущей силой процесса выпаривания является:	разность температур разность давлений разность концентраций
2	В многокорпусных выпарных установках давления в корпусах по ходу пара	одинаковы уменьшаются увеличиваются
3	С ростом расхода жидкости через паровой подогреватель ее температура на выходе	увеличивается не изменяется уменьшается

###### Вариант 3

№	Задание	Варианты ответа
1	Зачем в многокорпусной выпарной установке	для создания самотока раствора для создания движущей силы процесса

	понижают давление в каждом последующем корпусе:	для изменения расхода вторичного пара, поступающего в барометрический конденсатор	
2	При уменьшении расхода воды в барометрическом конденсаторе выпарного аппарата давление в аппарате	увеличивается	
		не изменяется	
		уменьшается	
3	Какой из членов теплового баланса выпаривания наибольший	Q потерь	
		Q испарения	
		Q нагревания	

#### 4.15.2. Время на выполнение: 10 минут

#### 4.15.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 1. Читать, выбирать, изображать и описывать технологические схемы;	-составление технологических схем выпаривания	
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков; -вычисление необходимой площади поверхности теплообмена;	
З 5. Типичные технологические системы химических производств и их аппаратное оформление;	-знание аппаратного оформления процесса выпаривания	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

### 4.16. Лабораторная работа №8 «Выпаривание» «Испытание двухкорпусной вакуум-выпарной установки».

#### 4.16.1. Лабораторная работа 8. «Испытание двухкорпусной вакуум-выпарной установки».

По экспериментальным данным определить коэффициенты теплопередачи в обоих корпусах установки и рассчитать удельный расход греющего пара.

#### 4.16.2. Время на выполнение: 4 ч

### 4.16.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 1. Читать, выбирать, изображать и описывать технологические схемы;	-составление технологических схем выпаривания	
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков; -вычисление необходимой площади поверхности теплообмена;	
З 5. Типичные технологические системы химических производств и их аппаратурное оформление;	-знание аппаратурного оформления процесса выпаривания	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

### 4.17. Практическая работа №6 «Основы массопередачи в системах со свободной границей раздела фаз: газ (пар) – жидкость, жидкость – жидкость»

#### 4.17.1. Текст практической работы №6

**Вариант 1** В насадочный абсорбер для поглощения паров брома поступает 50 м<sup>3</sup>/час воздуха (при н.у.) с содержанием брома 200г на кубический метр воздуха(при н.у.). Противотоком подается чистая вода. Конечное содержание паров брома в воздухе 0.2г на кубометр(при н.у.), в воде 2г на кг воды, температура в абсорбере 15 С. Определить высоту абсорбера, если коэффициенты массоотдачи по газовой и по жидкой фазе равны соответственно 0.007 м/с и  $3.3 \times 10^{-5}$  м/с, диаметр абсорбера, заполненного керамическими кольцами 15х15х2 равен 4м.

**Вариант 2** В насадочный абсорбер для поглощения паров метилового спирта поступает 120 м<sup>3</sup>/час воздуха (при н.у.) с содержанием спирта 80г на кубический метр воздуха (при н.у.). Противотоком подается чистая вода. Конечное содержание паров спирта в воздухе 2г на кубометр(при н.у.), в воде 40г на 1кг воды. Уравнение линии равновесия  $Y^*=0.714X$ . Определить диаметр абсорбера, если коэффициент смоченности насадки равен 0.9, коэффициенты массоотдачи по газовой и по жидкой фазе равны соответственно 0.007 м/с и  $5 \times 10^{-5}$  м/с, высота абсорбера, заполненного керамическими кольцами 35х35х5 равна 14м.

**Вариант 3** В насадочный скруббер для поглощения паров ацетона поступает 80 м<sup>3</sup>/час воздуха (при н.у.) с содержанием ацетона 120г на кубический метр воздуха (при н.у.). Противотоком подается вода с содержанием ацетона 0.5г на 1 кг воды. Конечное содержание паров ацетона в воздухе 5г на кубометр (при н.у.), ацетона в воде 65 г на кг воды. Уравнение линии равновесия  $Y^*=1.68X$ . Определить удельную поверхность насадки и выбрать подходящую насадку для

скруббера, если коэффициенты массоотдачи по газовой и по жидкой фазе равны соответственно 0.009 и  $4.3 \times 10^{-5}$  м/с, диаметр скруббера 1.5м высота 20м.

**Вариант 4 В** насадочный скруббер для поглощения паров аммиака поступает 140 м<sup>3</sup>/час воздуха (при н.у.) с содержанием аммиака 80г на кубический метр воздуха (при н.у.). Противотоком подается вода с содержанием аммиака 0.8г на кг воды. Конечное содержание паров аммиака в воздухе 5г на кубометр (при н.у.), аммиака в воде 34г на кг воды. Уравнение линии равновесия  $Y^*=0.928X$ . Определить высоту скруббера, если коэффициенты массоотдачи по газовой и по жидкой фазе равны соответственно 0.007 и  $3.3 \times 10^{-5}$  м/с, диаметр скруббера, заполненного керамическими кольцами 15x15x2 1.2м.

#### 4.17.2. Время на выполнение: 1 ч

#### 4.17.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У3. выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования;	-вычисление высоты и диаметра массообменных аппаратов	
31. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопередачи	
32. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
34. методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета насадочных массообменных колонн	
36 Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств;	-знание типов абсорберов и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

### 4.18. Тестовое задание №4 «Основы массопередачи в системах со свободной границей раздела фаз: газ (пар) – жидкость, жидкость – жидкость»

#### 4.18.1. Текст тестового задания №4

### Вариант 1

№	Задание	Варианты ответа	
1	Размерность коэффициента диффузии:	$\frac{м^2}{с}$	
		безразмерный	
		$\frac{кг \cdot м^2}{с}$	
2	Движущей силой массообменного процесса является:	разность начальной и конечной температур	
		разность концентраций в фазах	
		разность рабочей и равновесной концентраций	
3	Процесс разделения смеси жидкостей на компоненты вследствие их разной летучести называется	абсорбцией	
		осаждением	
		ректификацией	

### Вариант 2

№	Задание	Варианты ответа	
1	Физический смысл уравнения диффузии	закон сохранения импульса	
		закон сохранения массы	
		скорость переноса массы	
2	Как изменится диаметр проектируемого колонного аппарата при уменьшении расхода газовой (паровой) фазы	увеличится	
		уменьшится	
		останется без изменений	
3	Размерность коэффициента массопередачи	$\frac{кмоль}{м^2 \cdot с}$	
		$\frac{кмоль}{м^2 \cdot с \cdot Па}$	
		$\frac{кг}{м \cdot с}$	

### Вариант 3

№	Задание	Варианты ответа	
1	Для технических расчетов в качестве движущей силы любого массообменного процесса используют	разность давлений	
		разность концентраций	
		разность хим. потенциалов	
2	Размерность коэффициента массоотдачи	$\frac{кмоль}{м^2 \cdot с}$	
		$\frac{кмоль}{м^2 \cdot с \cdot Па}$	



		$\frac{кг}{м \cdot с}$	
3	В каком массообменном процессе не требуется греющий агент	экстракция,	
		дистилляция	
		сушка	

#### 4.18.2. Время на выполнение: 10 минут

#### 4.18.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 3. Выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования;	-вычисление высоты и диаметра массообменных аппаратов	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопредачи	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
З 4. Методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета насадочных массообменных колонн	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

### 4.19. Практическая работа №7 «Абсорбция»

#### 4.19.1. Текст практической работы №7

**Вариант 1** В скруббер для поглощения сероводорода поступает 100м<sup>3</sup>/час воздуха (при н.у.) с содержанием сероводорода 100г на кубический метр воздуха (при н.у.). Противотоком подается чистая вода. Конечное содержание сероводорода в воздухе 5г на кубометр(при н.у.).

Температура в скруббере 15 С. Определить количество воды, подаваемой на орошение скруббера, если коэффициент избытка воды 1.3.

**Вариант 2** В абсорбер для поглощения паров брома поступает 100м<sup>3</sup>/час воздуха (при н.у.) с содержанием брома 100г на кубический метр воздуха (при н.у.). Противотоком подается чистая вода. Конечное содержание паров брома в воздухе 5г на кубометр(при н.у.). Температура в абсорбере 15 С. Определить количество воды, подаваемой на орошение абсорбера, если коэффициент избытка воды 1.3.

**Вариант 3** В абсорбер для поглощения паров метилового спирта поступает 80 м<sup>3</sup>/час воздуха (при н.у.) с содержанием спирта 160г на кубический метр воздуха (при н.у.). Противотоком подается вода с содержанием спирта 10г на 1 кг воды. Конечное содержание паров спирта в воздухе 2г на кубометр(при н.у.). Температура в абсорбере 20 С. Уравнение линии равновесия  $Y^*=1.18X$ . Определить количество воды, подаваемой на орошение абсорбера, если коэффициент избытка воды 1.2.

**Вариант 4** В скруббер для поглощения паров ацетона поступает 100 м<sup>3</sup>/час воздуха (при н.у.) с содержанием ацетона 100г на кубический метр воздуха (при н.у.). Противотоком подается вода с содержанием ацетона 10г на 1 кг воды. Конечное содержание паров ацетона в воздухе 5г на кубометр (при н.у.). Температура в скруббере 20 С. Уравнение линии равновесия  $Y^*=1.68X$ . Определить количество воды, подаваемой на орошение скруббера, если коэффициент избытка воды 1.3.

#### 4.19.2. Время на выполнение: 1 ч

#### 4.19.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 3. выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования;	-вычисление высоты и диаметра массообменных аппаратов	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопредачи	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
З 4. методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета насадочных массообменных колонн	
З 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств;	-знание типов абсорберов и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

## 4.20. Тестовое задание №5 «Абсорбция»

### 4.20.1. Текст тестового задания №5

#### Вариант 1

№	Задание	Варианты ответа	
1	Как изменится высота проектируемого абсорбера при уменьшении температуры абсорбции и неизменном расходе абсорбента:	увеличится	
		уменьшится,	
		останется без изменений	
2	Для проведения процесса абсорбции используют	насадочные колонны	
		пластинчатые теплообменники	
		Роторно-дисковые аппараты	
3	Регенерация абсорбента происходит в процессе	ректификации	
		сушки	
		фильтрования	

#### Вариант 2

№	Задание	Варианты ответа	
1	Процесс извлечения компонента из парогазовой смеси жидкостью называется	абсорбцией	
		адсорбцией	
		ректификацией	
2	С ростом температуры скорость процесса абсорбции	увеличивается	
		уменьшается	
		не изменяется	
3	При каком давлении надо проводить процесс абсорбции:	при повышенном	
		атмосферном	
		под вакуумом	

#### Вариант 3

№	Задание	Варианты ответа	
1	Как изменится диаметр проектируемого абсорбера при увеличении давления в аппарате:	увеличится	
		уменьшится	
		останется без изменений	
2	Движущей силой массообменного процесса (например, абсорбции) является:	разность начальной и конечной температур	
		разность концентраций в фазах	
		разность рабочей и равновесной концентраций.	

3	При какой температуре надо проводить процесс абсорбции:	при повышенной	
		при пониженной	

#### 4.20.2. Время на выполнение: 10 минут

#### 4.20.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 3. выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования;	-вычисление высоты и диаметра массообменных аппаратов	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопередачи	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
З 4. методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета насадочных массообменных колонн	
З 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств;	-знание типов абсорберов и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

#### 4.21. Лабораторная работа 9. «Абсорбция» «Определение коэффициента массопередачи в процессе абсорбции».

##### 4.20.1. Лабораторная работа 9. Определение коэффициента массопередачи в процессе абсорбции».

На основе проведенных измерений вычислить значение коэффициента массопередачи в зависимости от скорости воздуха и плотности орошения.

#### 4.21.2. Время на выполнение: 4 ч

#### 4.21.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
---	---------------------------------------	--------

У 3. выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования;	-вычисление высоты и диаметра массообменных аппаратов	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопредачи	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
З 4. методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета насадочных массообменных колонн	
З 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств;	-знание типов абсорберов и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

## 4.22. Практическая работа №8 «Дистилляция и ректификация»

### 4.22.1. Текст практической работы №8

**Вариант 1** В ректификационную колонну для разделения смеси метиловый спирт- вода поступает смесь состава 50% массовых (по легколетучему), требуемый состав дистиллята 90% масс.(по л.л.), кубового остатка 3% масс. (по л.л.) Определить флегмовое число и количество теоретических тарелок.

**Вариант 2** В ректификационную колонну для разделения смеси вода-уксусная кислота поступает смесь состава 60% массовых (по легколетучему), требуемый состав дистиллята 90% масс.(легколетучего), кубового остатка 6% масс. (легколетучего) Определить флегмовое число и количество теоретических тарелок.

**Вариант 3** При разделении смеси метиловый спирт -вода получается 9 т/час дистиллята с концентрацией легколетучего 60% мольных. Концентрация легколетучего в кубовом остатке 3% мольных, в исходной смеси 20% мольных. Найти расход пара в кубе-испарителе, если на нагревание подается пар с давлением 3атм (изб). Коэффициент теплопередачи 800 Вт/ м<sup>2</sup> К. Флегмовое число =0.3.

**Вариант 4** При разделении смеси хлороформ-бензол получается 6 т/час дистиллята с концентрацией легколетучего 95% мольных. Концентрация легколетучего в кубовом остатке 10% мольных, в исходной смеси 50% мольных. Найти расход пара в кубе-испарителе, если на нагревание подается пар с давлением 1атм (изб). Коэффициент теплопередачи 800 Вт/ м<sup>2</sup> К. Флегмовое число =2.5.

### 4.22.2. Время на выполнение: 1 ч

### 4.22.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков; -вычисление необходимой площади поверхности теплообмена;	
У 3. выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования;	-вычисление высоты и диаметра массообменных аппаратов	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопредачи	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
З 4. Методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета тарельчатых массообменных колонн -знание принципов выбора колонного оборудования	
З 5. Типичные технологические системы химических производств и их аппаратное оформление;	-знание технологической системы организации процесса ректификации -знание аппаратного оформления процесса ректификации	
З 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств;	-знание типов ректификационных колонн и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

### 4.23. Тестовое задание №6 «Дистилляция и ректификация»

#### 4.23.1. Текст тестового задания №6

##### Вариант 1

№	Задание	Варианты ответа	
1	Увеличение расхода флегмы приведет к:	уменьшению диаметра колонны	
		увеличению диаметра колонны	

2	В каком массообменном процессе используется дефлегматор:	в ректификации	
		в сушке	
		в адсорбции	
3	При разделении смеси ацетон-вода в ректификационной колонне какого компонента будет больше в дистилляте:	воды	
		ацетона	

### Вариант 2

№	Задание	Варианты ответа	
1	Увеличение расхода флегмы приведет к:	увеличению высоты колонны	
		уменьшению высоты колонны	
2	Увеличение расхода флегмы приведет к:	уменьшению расхода греющего агента	
		увеличению расхода греющего агента	
3	В каком массообменном процессе используется куб-испаритель:	в ректификации	
		в десорбции	
		в выпаривании	

### Вариант 3

№	Задание	Варианты ответа	
1	Увеличение расхода флегмы приведет к:	уменьшению охлаждающей воды	
		увеличению охлаждающей воды	
2	Какие вещества можно очистить перегонкой с водяным паром:	этиловый спирт	
		бензол	
		уксусную кислоту	
3	Может ли число флегмы быть меньше 1:	да	
		нет	

#### 4.23.2. Время на выполнение: 10 минут

#### 4.23.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков; -вычисление необходимой площади	

	поверхности теплообмена;	
У 3. выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования;	-вычисление высоты и диаметра массообменных аппаратов	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопредачи	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
З 4. методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета тарельчатых массообменных колонн -знание принципов выбора колонного оборудования	
З 5. типичные технологические системы химических производств и их аппаратное оформление;	-знание технологической системы организации процесса ректификации -знание аппаратного оформления процесса ректификации	
З 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств;	-знание типов ректификационных колонн и принципа их действия	
З 7. Принципы выбора аппаратов с различными конструктивными особенностями в процессах переработки нефти и газа.	-знание принципов выбора сложных ректификационных колонн -знание принципов выбора схем разделения сложных смесей углеводородов	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

#### **4.24. Лабораторная работа 10 «Дистилляция и ректификация». «Изучение процесса ректификации в тарельчатой колонне».**

##### **4.24.1. Лабораторная работа 10 «Изучение процесса ректификации в тарельчатой колонне».**

Определить значение среднего коэффициента полезного действия (эффективности) тарелок для ректификационной колонны непрерывного действия.

##### **4.24.2. Время на выполнение: 3 ч**



#### 4.24.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопредачи	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
З 4. Методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета тарельчатых массообменных колонн	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

#### 4.25. Лабораторная работа 11. «Дистилляция и ректификация». «Моделирование процесса ректификации на ЭВМ».

##### 4.25.1. Лабораторная работа 11. Моделирование процесса ректификации на ЭВМ».

При заданной концентрации исходной смеси и числа тарелок в колонне определить оптимальный номер тарелки питания для нескольких значений давления греющего пара и нескольких расходов исходной смеси. Выяснить при каком режиме работы колонны концентрация дистиллята будет наибольшей.

##### 4.25.2. Время на выполнение: 1 ч

#### 4.25.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;-	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопредачи	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии:	-знание основных характеристик массообменного оборудования	

гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;		
3 4. Методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета тарельчатых массообменных колонн	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

## 4.26. Практическая работа №9 «Экстракция»

### 4.26.1. Текст практической работы №9

**Вариант 1** В ректификационную колонну для разделения смеси метиловый спирт- вода поступает смесь состава 50% массовых (по легколетучему), требуемый состав дистиллята 90% масс.(по л.л.), кубового остатка 3% масс. (по л.л.) Определить флегмовое число и количество теоретических тарелок.

**Вариант 2** Построить треугольную диаграмму равновесия вода – уксусная кислота – этиловый эфир при 25°C.

**Вариант 3** Уксусная кислота экстрагируется в противотоке этиловым эфиром из водного раствора, содержащего 20% масс. Кислоты. Определить необходимое количество растворителя на 1000 кг/час исходной смеси и число теоретических тарелок, если экстракт должен содержать 60% масс.. а рафинат не более 2% масс. Кислоты (после отгонки).

**Вариант 4** Определить минимальное количество возврата экстракта и соответствующее ему минимальное количество растворителя на 100 кг исходной смеси вода – уксусная кислота с содержанием последней 10% масс., если экстракция происходит диэтиловым эфиром при 25°C. Экстракт после отгонки растворителя должен содержать 75% масс. Уксусной кислоты, а рафинат 1% масс. Растворитель отгоняется полностью.

### 4.26.2. Время на выполнение: 1 ч

### 4.26.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопредачи	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии:	-знание основных характеристик массообменного оборудования	

гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;		
3 4. методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета тарельчатых массообменных колонн	
3 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств	-знание типов экстракторов и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

#### **4.27. Лабораторная работа 12. «Экстракция». «Испытание экстракционной установки».**

##### **4.27.1. Лабораторная работа 12. «Испытание экстракционной установки».**

По экспериментальным данным определить объемный коэффициент массопередачи, высоту единицы переноса и степень извлечения целевого компонента из потока исходного растворителя.

##### **4.27.2. Время на выполнение: 3 ч**

##### **4.27.3. Перечень объектов контроля и оценки**

<b>Наименование объектов контроля и оценки</b>	<b>Основные показатели оценки результата</b>	<b>Оценка</b>
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	
3 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопередачи	
3 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
3 4. методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета тарельчатых массообменных колонн	
3 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств	-знание типов экстракторов и принципа их действия	
3 8. Правила отбора проб с использованием специального оборудования	знание принципа выбора расположения пробоотборников -знание устройства и принципа действия пробоотборников	

	-знание методики отбора проб	
--	------------------------------	--

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

#### **4.28. Лабораторная работа 13. «Адсорбция». «Изучение процесса адсорбции в противоточном колонном аппарате со взвешенным слоем адсорбента».**

##### **4.28.1. Лабораторная работа 13. «Изучение процесса адсорбции в противоточном колонном аппарате со взвешенным слоем адсорбента».**

По экспериментальным данным основных параметров процесса адсорбции определить объемный коэффициент массопередачи.

##### **4.28.2. Время на выполнение: 2 ч**

##### **4.28.3. Перечень объектов контроля и оценки**

<b>Наименование объектов контроля и оценки</b>	<b>Основные показатели оценки результата</b>	<b>Оценка</b>
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов;	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопередачи	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
З 3. Методики расчета материального и теплового баланса процессов и аппаратов	-знание методики расчета материального баланса массообменных аппаратов -знание методики расчета теплового баланса массообменного аппарата	
З 4. методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета тарельчатых массообменных колонн	
З 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств	-знание типов адсорберов и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

## 4.29. Практическая работа №10 «Сушка»

### 4.29.1. Текст практической работы №10

**Вариант 1** В калорифер вводится смесь свежего воздуха с температурой 25°C и влажностью 50% и отработанного ( температура 50°C и влажность 70%) в массовом соотношении 1:3 (считая на сухой воздух). Найти параметры смеси перед калорифером и после подогрева ее в калорифере до 80°C.

**Вариант 2** Определить расход сухого воздуха, подаваемого в сушилку и количество удаленной влаги, а также потребную мощность калорифера, если производительность теоретической сушилки по влажному материалу 6 т/час, влажность материала меняется от 35% до 10%(по влажному материалу), показания психрометра на входе в калорифер: температура мокрого 10°C

**Вариант 3** Определить расход сухого воздуха, подаваемого в сушилку и количество удаленной влаги, а также потребную мощность калорифера, если производительность теоретической сушилки по влажному материалу 200 кг/час, влажность материала меняется от 70% до 50%(по влажному материалу), показания психрометра на входе в калорифер: температура мокрого термометра 20°C сухого 30°C, температура воздуха на выходе из сушилки 50°C, влажность 80%. Количество удаленной влаги 0.022 кг/с, расход сухого воздуха 0.386 кг/с.

**Вариант 4** Производительность барабанной сушилки по испаренной влаге 300 кг/час. Высушиваться должно 1т/час каолина, поступающего с температурой 20° и выходящего с температурой 55 °С, параметры воздуха на входе в калорифер: температура 20°C относительная влажность 0.5, на выходе из сушилки, соответственно 60°C и 0.5. Определить температуру воздуха на выходе из калорифера.

### 4.29.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 1. Читать, выбирать, изображать и описывать технологические схемы	-составление технологических схем сушки	
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массообмена	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
З 3. Методики расчета материального и теплового баланса процессов и аппаратов	-знание методики расчета материального баланса массообменных аппаратов -знание методики расчета теплового баланса массообменного аппарата	

3 4. Методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета теплообменного оборудования -знание принципов выбора теплообменного оборудования	
3 5. Типичные технологические системы химических производств и их аппаратное оформление;	-знание технологической системы организации процесса сушки	
3 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств	-знание типов сушилок и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

### 4.30. Тестовое задание №7 «Сушка»

#### 4.30.1. Текст тестового задания №7

##### Вариант 1

№	Задание	Варианты ответа	
1	Скорость сушки в 2-ом периоде не зависит от:	влажности материала	
		скорости воздуха	
2	При каком давлении проводится сублимационная сушка:	повышенном	
		под вакуумом	
		при атмосферном	
3	Тепло подводится с сушильным агентом	в конвективной сушке	
		в контактной сушке	

##### Вариант 2

№	Задание	Варианты ответа	
1	Скорость сушки в 1-ом периоде не зависит от:	влажности материала.	
		температуры воздуха	
2	Можно ли использовать сушилку взвешенного слоя для получения гранулированного продукта	да	
		нет	
3	Как изменяется относительная влажность воздуха при его нагреве в калорифере:	увеличивается	
		уменьшается	
		не изменяется	

### Вариант 3

№	Задание	Варианты ответа	
1	Можно ли диаграмму I-X использовать для расчета процесса сушки топочными газами:	да	
		нет	
2	Назовите процесс удаления влаги из влажного материала путем испарения:	выпаривание	
		сушка	
		фильтрование	
3	Что измеряет психрометр:	давление	
		влажность	

#### 4.30.2. Время на выполнение: 10 минут

#### 4.30.3. Перечень объектов контроля и оценки

Наименование объектов контроля и оценки	Основные показатели оценки результата	Оценка
У 1. Читать, выбирать, изображать и описывать технологические схемы	-составление технологических схем сушки	
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопредачи	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
З 3. Методики расчета материального и теплового баланса процессов и аппаратов	-знание методики расчета материального баланса массообменных аппаратов -знание методики расчета теплового баланса массообменного аппарата	
З 4. методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета теплообменного оборудования -знание принципов выбора теплообменного оборудования	
З 5. типичные технологические системы химических производств и их аппаратное оформление;	-знание технологической системы организации процесса сушки	

З 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств	-знание типов сушилок и принципа их действия	
---	--	--

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

#### **4.31. Лабораторная работа 14. «Сушка». «Изучение процесса сушки в воздушной циркуляционной сушилке».**

##### **4.31.1. Лабораторная работа 14. «Изучение процесса сушки в воздушной циркуляционной сушилке».**

Определить зависимость скорости сушки от влагосодержания материала и найти константы уравнения скорости сушки. Определить время сушки для достижения заданного конечного влагосодержания материалов.

##### **4.31.2. Время на выполнение: 2 ч**

##### **4.31.3. Перечень объектов контроля и оценки**

<b>Наименование объектов контроля и оценки</b>	<b>Основные показатели оценки результата</b>	<b>Оценка</b>
У 1. Читать, выбирать, изображать и описывать технологические схемы	-составление технологических схем сушки	
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопредачи	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
З 3. Методики расчета материального и теплового баланса процессов и аппаратов	-знание методики расчета материального баланса массообменных аппаратов -знание методики расчета теплового баланса массообменного аппарата	
З 4. Методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета теплообменного оборудования -знание принципов выбора теплообменного оборудования	
З 5. Типичные технологические системы химических производств и их аппара-	-знание технологической системы организации процесса сушки	



турное оформление;		
З 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств	-знание типов сушилок и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

#### **4.32. Лабораторная работа 15. «Сушка». «Исследование процесса сушки во взвешенном слое».**

##### **4.32.1. Лабораторная работа 15. «Исследование процесса сушки во взвешенном слое».**

Определить основные характеристики процесса сушки и рассчитать тепловой КПД сушильной установки.

##### **4.32.2. Время на выполнение: 2 ч**

##### **4.32.3. Перечень объектов контроля и оценки**

<b>Наименование объектов контроля и оценки</b>	<b>Основные показатели оценки результата</b>	<b>Оценка</b>
У 1. Читать, выбирать, изображать и описывать технологические схемы	-составление технологических схем сушки	
У 2. Выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов	-вычисление значений материальных потоков -вычисление значений энергетических потоков;	
З 1. Классификация и физико-химические основы процессов химической технологии	-знание физико-химических основ массопредачи	
З 2. Характеристики основных процессов химической технологии: гидромеханических, механических, тепловых, массообменных;	-знание основных характеристик массообменного оборудования	
З 3. Методики расчета материального и теплового баланса процессов и аппаратов	-знание методики расчета материального баланса массообменных аппаратов -знание методики расчета теплового баланса массообменного аппарата	
З 4. Методы расчета и принципы выбора основного и вспомогательного технологического оборудования;	-знание метода расчета теплообменного оборудования -знание принципов выбора теплообменного оборудования	
З 5. Типичные технологические системы химических производств и их аппара-	-знание технологической системы организации процесса сушки	

турное оформление;		
З 6. Основные типы, устройство и принцип действия основных машин и аппаратов химических производств	-знание типов сушилок и принципа их действия	

За верное решение задачи выставляется положительная оценка – 5 баллов

За неверное решение задачи выставляется отрицательная оценка – 2 балла.

## **4.32. Вопросы для устного контроля**

### **Раздел 1 Гидромеханические процессы**

#### **Тема 1.1 Общие вопросы прикладной гидравлики в химической аппаратуре**

1. Основное уравнение гидростатики.
2. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости – физический смысл.
3. Уравнение Бернулли для реальной жидкости – физический смысл.
4. Основные типы трубопроводной арматуры.
5. Определение потерь давления на придание потоку скорости.
6. Определение потерь давления на подъём среды.
7. Определение потерь давления на трение среды о стенки трубопровода.
8. Определение потерь давления на местных сопротивлениях.
9. Определение потерь общего давления в промышленных трубопроводах и аппаратах.
10. Определение мощности насоса, вентилятора.
11. Уравнение расхода.
12. Определение перепада давления на неподвижном зернистом слое.
13. Определение перепада давления на взвешенном зернистом слое.
14. Фиктивная, действительная и критическая скорость газа.

#### **Тема 1.2 Разделение жидких и газовых неоднородных систем.**

1. Движущая сила процесса отстаивания.
2. Определение диаметра отстойника.
3. Конструкция отстойника непрерывного действия.
4. Конструкция пылесадительной камеры.
5. Выбор фильтровальной перегородки.
6. Конструкция барабанного вакуум-фильтра.
7. Конструкция рукавного фильтра.
8. Конструкция фильтр-пресса.
9. Конструкции циклонов.
10. Конструкции центрифуг.
11. Конструкция электрофильтра.
12. Конструкция аппарата для мокрой очистки газа.

#### **Тема 1.3 Перемешивание в жидких средах**

1. Виды перемешивающих устройств.
2. Виды механических мешалок.
3. Область применения пропеллерной мешалки.

4. Область применения рамной мешалки.
5. Область применения якорной мешалки.
6. Затраты энергии на перемешивание жидкости.
7. Затраты энергии на перемешивание суспензии.
8. Определение мощности привода мешалки.

#### **Тема 1.4 Устройства для транспортировки жидкостей.**

1. Объёмные насосы.
2. Динамические насосы.
3. Определение потребного напора насоса.
4. Конструкции поршневых насосов.
5. Конструкция плунжерного насоса.
6. Конструкция мембранного насоса.
7. Конструкция шестерёнчатого насоса.
8. Конструкция винтового насоса.
9. Конструкция перестальтического насоса.
10. Конструкция центробежного насоса.
11. Характеристики насосов.
12. Работа насосов на сеть.
13. Рабочая точка.
14. Выбор типа насоса.

#### **Тема 1.5 Сжатие и транспортировка газов.**

1. Классификация машин для транспортировки и сжатия газов.
2. Степень сжатия.
3. Многоступенчатое сжатие газов.
4. Конструкция центробежного вентилятора.
5. Конструкция осевого вентилятора.
6. Конструкция многоступенчатого поршневого компрессора.
7. Конструкция центробежной газодувки.
8. Конструкция роторной газодувки.
9. Конструкция пластинчатой газодувки.
10. Конструкция водокольцевого вакуум-насоса.

### **Раздел 2 Тепловые переносы**

#### **Тема 2.1 Значение процессов теплообмена в химической промышленности. Виды переноса теплоты, их характеристика. Основы теплопередачи.**

1. Уравнение теплопередачи.
2. Уравнение теплопроводности.
3. Перенос тепла теплопроводностью
4. Перенос тепла естественной конвекцией.
5. Перенос тепла излучением.
6. Перенос тепла вынужденной конвекцией.
7. Теплоотдача при вынужденной конвекции.
8. Теплоотдача при естественной конвекции.
9. Теплоотдача при конденсации пара.
10. Теплоотдача при кипении.
11. Уравнение теплопередачи.

12. Средняя движущая сила процесса теплопередачи.

### **Тема 2.2 Промышленные способы нагрева и охлаждения в химической технологии**

1. Водяной пар - как теплоноситель. Техничко-экономические характеристики.
2. ВОТ - как теплоноситель. Техничко-экономические характеристики.
3. Топочные газы - как теплоноситель. Техничко-экономические характеристики.
4. Вода - как теплоноситель. Техничко-экономические характеристики.
5. Воздух - как теплоноситель. Техничко-экономические характеристики.
6. Конструкции кожухотрубчатых теплообменников.
7. Конструкции пластинчатых теплообменников.
8. Конструкции спиральных теплообменников.
9. Конструкции теплообменников «труба в трубе».
10. Конструкции оросительных теплообменников.
11. Конструкции теплообменников смешения.
12. Конструкции трубчатых печей.

### **Тема 2.3 Выпаривание**

1. Определение выпаривания.
2. Назначение сепаратора выпарного аппарата.
3. Назначение греющей камеры выпарного аппарата.
4. Назначение циркуляционной трубы выпарного аппарата.
5. Зачем делается вакуум-выпаривание?
6. Зачем делается многокорпусное выпаривание?
7. Распределение давления по корпусам многокорпусной выпарной установки.
8. Выпарной аппарат с вынесенной циркуляционной трубой и соосной греющей камерой.
9. Выпарной аппарат с вынесенной греющей камерой.
10. Выпарной аппарат с восходящей плёнкой.

### **Раздел 3 Массообменные процессы**

#### **Тема 3.1 Основы массопередачи в системах со свободной границей раздела фаз: газ (пар) – жидкость, жидкость – жидкость**

1. Движущая сила массообменного процесса.
2. Определение направления массообменного процесса.
3. Определение молекулярной диффузии.
4. Определение конвективной диффузии.
5. Способы выражения концентраций переходящего компонента в массообменных процессах.
6. Графическое изображение рабочей линии массообменного процесса.
7. Уравнение массопередачи.
8. Число единиц переноса.
9. Высота единицы переноса.
10. Эффективность тарелки.

#### **Тема 3.2 Абсорбция**

1. Определение процесса абсорбции.
2. Равновесие в абсорбции.
3. Уравнение материального баланса процесса абсорбции.
4. Уравнение рабочей линии процесса абсорбции.

5. Минимальный расход жидкости - поглотителя.
6. Экономически – оптимальный расход жидкости поглотителя.
7. Определение процесса десорбции.
8. Схема абсорбционно – десорбционной установки.
9. Конструкции абсорберов.
10. Определение размеров абсорбера.

### **Тема 3.3 Дистилляция и ректификация**

1. Равновесие в ректификации. Вид типичных равновесных линий.
2. Уравнение верхней рабочей линии процесса ректификации.
3. Уравнение нижней рабочей линии процесса ректификации.
4. Уравнение материального баланса процесса ректификации.
5. Уравнение теплового баланса процесса ректификации.
6. Схема простой перегонки.
7. Схема перегонки с дефлегмации.
8. Схема перегонки с водяным паром.
9. Конструкции тарелок.
10. Схемы сложных ректификационных колонн.

### **Тема 3.4 Экстракция**

1. Отображение состава трёхкомпонентных систем на треугольной диаграмме.
2. Выбор экстрагента.
3. Материальный баланс процесса экстракции.
4. Максимальный и минимальный расход экстрагента.
5. Определение коэффициента массопередачи в экстракции.
6. Смесительно-отстойная ступень экстракции.
7. Многоступенчатая экстракция.
8. Конструкция роторно-дискового экстрактора.
9. Конструкция насадочного экстрактора.
10. Конструкция пульсационного экстрактора.

### **Тема 3.5 Адсорбция.**

1. Свойства активированного угля, как адсорбента.
2. Свойства силикагеля, как адсорбента.
3. Свойства алюмосиликата, как адсорбента.
4. Свойства цеолита, как адсорбента
5. Изотермы адсорбции.
6. Материальный баланс процесса адсорбции.
7. Кинетика процесса адсорбции.
8. Конструкция адсорбера с неподвижным слоем адсорбента.
9. Конструкция адсорбера с взвешенным слоем адсорбента.
10. Схема абсорбционно десорбционной установки.

### **Тема 3.6 Сушка.**

1. Виды сушки.

2. Материальный баланс процесса сушки.
3. Тепловой баланс конвективной сушки.
4. Параметры влажного воздуха.
5. Определение параметров воздуха по диаграмме Рамзина..
6. Конструкция туннельной сушилки.
7. Конструкция барабанной сушилки.
8. Конструкция сушилки с взвешенным слоем.
9. Конструкция распылительной сушилки.
10. Конструкция гребковой сушилки.

### 4.33. Контрольные работы

#### Вариант 1

В трубном пространстве кожухотрубчатого теплообменника охлаждается жидкость от температуры  $t_{1н}$  до  $t_{1к}$ . Расход жидкости  $G_1$ . В межтрубное пространство противотоком поступает вода среднего качества, которая нагревается от  $t_{2н}$  до  $t_{2к}$ . Коэффициент теплоотдачи к воде равен  $\alpha_2$ . Средняя температура стенки труб со стороны жидкости  $t_{ст.}$ .

Определить необходимую площадь поверхности теплопередачи теплообменного аппарата и расход охлаждающей воды, если число труб в аппарате  $n$ , а их диаметр  $d$ . Потерями теплоты в окружающую среду пренебречь. Исходные данные к заданию приведены в таблице

№ вар.	Жидкость	$t_{1н}$ °C	$t_{1к}$ °C	$G_1$ кг/с	$t_{2н}$ °C	$t_{2к}$ °C	$\alpha_2$ Вт/м <sup>2</sup> ·К	$t_{ст.}$ °C	$n$	$d$ мм
1	Этанол, 100%	75	30	3	8	25	1000	40	13	25x2
2	Этанол, 100%	69	33	8	10	30	1200	40	37	25x2
3	Этанол, 100%	70	35	10	10	38	1100	45	62	25x2
4	Этанол, 100%	74	32	12	11	42	1400	40	50	25x2
5	Этанол, 100%	77	40	5	12	40	1150	50	28	25x2

#### Вариант 2

Воздух нагревается в трубах одноходового кожухотрубчатого теплообменника под атмосферным давлением от  $t_n$  до  $t_k$  насыщенным водяным паром, который конденсируется в межтрубном пространстве. Расход воздуха  $V_0$  (при нормальных условиях). Избыточное давление пара  $P$ , влажность  $\phi$ . Коэффициент теплоотдачи пара  $\alpha$ . Определить необходимую площадь поверхности теплопередачи теплообменного аппарата и расход пара, если число труб в аппарате  $n$ , а их диаметр  $d$ . Потерями теплоты в окружающую среду пренебречь. Исходные данные к заданию приведены в таблице

№	$V_0$ м <sup>3</sup> /ч	$t_n$ °С	$t_k$ °С	$P$ , ат	$\varphi$ , %	$\alpha$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К	$n$	$d$ мм
1	2000	20	100	1	5	9000	111	25x2
2	5000	22	105	2	4	9500	257	25x2
3	7000	25	110	3	3	10000	465	25x2
4	11000	20	120	4	2	10500	747	25x2
5	15000	25	130	5	1	11000	1083	25x2

### Вариант 3

В ректификационной колонне непрерывного действия разделяется бинарная смесь. Концентрация легколетучего компонента в исходной смеси (питании)  $\bar{x}_F$ , в дистилляте  $\bar{x}_D$ , в кубовом остатке  $\bar{x}_W$ . Расход питания  $\bar{G}_F$ . Коэффициент избытка флегмы  $\varphi$ . Давление в колонне атмосферное. Греющий пар в кубе колонны имеет избыточное давление  $P_{г.п.изб}$ . Степень сухости пара  $x$ . Начальная температура воды, поступающей в дефлегматор 15 °С, конечная температура воды 25 °С. Коэффициент теплопередачи в дефлегматоре  $K$ .

Определить:

- расход дистиллята
- расход греющего пара
- расход воды в дефлегматоре
- поверхность теплопередачи дефлегматора.

Написать уравнение рабочей линии для верхней части колонны.

Вариант №	Смесь	$\bar{G}_F$ , т/ч	$\bar{x}_F$ , (масс.)	$\bar{x}_D$ , (масс.)	$\bar{x}_W$ , (масс.)	$\varphi$	$K$ , $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	$x$ , %	$P_{г.п.изб}$ ат
1	Ацетон-бензол	6.0	0.35	0.90	0.10	1.5	800	98	1.0
2		9.0	0.40	0.92	0.12	1.7	850	97	1.2
3		12.0	0.45	0.94	0.14	1.8	900	96	1.3
4		15.0	0.50	0.96	0.14	2.0	950	98	1.2
5		18.0	0.50	0.96	0.14	2.2	950	97	1.1
6		20.0	0.50	0.86	0.08	2.5	750	96	1.0
7	Бензол-толуол	8.0	0.48	0.90	0.08	2.5	800	98	2.0
8		5.0	0.46	0.92	0.10	2.7	850	97	2.2
9		5.5	0.44	0.94	0.12	2.8	900	96	2.3

10		6.0	0.42	0.96	0.12	3.0	1000	98	2.0
11		7.5	0.42	0.95	0.07	3.0	1100	97	2.1
12		9.6	0.44	0.95	0.07	2.7	900	96	2.0

#### 4.3.4. Перечень вопросов к экзамену

1. Уравнение гидростатики и закон Паскаля.
2. Вязкость ньютоновских и неньютоновских жидкостей.
3. Уравнение неразрывности потока и уравнение расхода.
4. Режимы движения потоков вязкой жидкости. Эквивалентный диаметр канала.
5. Уравнение баланса механической энергии потока для идеальной и реальной жидкости.
6. Скоростная трубка (Пито-Прандтля); профили скорости потока.
7. Дроссельные датчики и расходомеры.
8. Гидравлические сопротивления элементов трубопроводов. Мощность на перемещение потоков.
9. Основы теории подобия. Критерии гидромеханического подобия.
10. Мощность на перемешивание жидкостей. Конструкции мешалок.
11. Гидродинамика псевдосжиженного слоя.
12. Гидродинамическая структура потоков.
13. Объемные насосы.
14. Динамические (центробежные) насосы и вентиляторы. Работа на сеть.
15. Гравитационное осаждение. Скорость осаждения.
16. Фильтрация. Конструкции фильтров.
17. Центробежное разделение. Циклоны, центрифуги.
18. Электроосаждение. Мокрая очистка газов от пыли.
19. Элементарные виды переноса теплоты. Уравнение теплоотдачи.
20. Стационарная теплопроводность одно- и многослойной стенки.
21. Критерии теплового подобия. Их физический смысл.
22. Конвективная теплоотдача без изменения фазового состояния.
23. Теплоотдача при кипении жидкостей и конденсации паров.
24. Уравнение теплоотдачи для теплообменных аппаратов. Коэффициент теплоотдачи.
25. Промышленные теплоносители. Охлаждающие агенты.
26. Кожухотрубчатые, пластинчатые и оросительные теплообменники.
27. Схема и работа однокорпусной выпарной установки.
28. Материальный и тепловой балансы при выпаривании.
29. Теплопередача в выпарных аппаратах. Потери разности температур.
30. Многокорпусное выпаривание. Прямо – и противоточная схемы.
31. Число корпусов выпарной установки.
32. Выпаривание с термокомпрессией вторичного пара.
33. Основные конструкции выпарных аппаратов.
34. Движущая сила и направление массообменного процесса.
35. Уравнения массоотдачи и массопередачи. Связь коэффициентов массоотдачи и массопередачи.
36. Подобие массообменных (диффузионных) процессов. Общий вид критериального уравнения для расчета коэффициентов массоотдачи.
37. Методы определения общего числа единиц переноса.



38. Расчет насадочных колонн при линейной равновесной зависимости.
39. Расчет насадочных колонн при криволинейной равновесной зависимости.
40. Расчет тарельчатых колонн. Определение высоты и диаметра.
41. Теоретически минимальный расход жидкости на орошение абсорбционной колонны. Экономически оптимальный расход абсорбента.
42. Выбор насадки. Гидродинамические режимы работы насадочных колонн.
43. Непрерывно действующая абсорбционно-десорбционная установка.
44. Как определить экспериментально коэффициент массопередачи в насадочной абсорбционной колонне?
45. Материальный баланс ректификационной колонны непрерывного действия. Уравнения рабочих линий.
46. Тепловой баланс ректификационной колонны. Определение расходов греющего пара и охлаждающей воды.
47. Теоретически минимальное и оптимальное флегмовые числа.
48. Влияние расхода флегмы на движущую силу процесса, на диаметр и высоту ректификационной колонны, на расходы греющего пара и охлаждающей воды.
49. Схема ректификационной установки непрерывного действия.
50. Конструкции тарелок ректификационной колонны. Коэффициент обогащения.
51. Экстрактивная и азеотропная ректификации.
52. Простая перегонка. Перегонка с водяным паром.
53. Материальный баланс однократной экстракции. Конструкции экстракторов.
54. Расчет противоточной экстракции на основе уравнения массопередачи.
55. Адсорбция. Статика и кинетика. Адсорбция в неподвижном слое.
56. Как определить экспериментально объемный коэффициент массопередачи в противоточном адсорбере со взвешенным слоем адсорбента?
57. Сушительные агенты, их основные параметры и связь между ними.
58. Материальный баланс конвективной сушки. Удельный расход сушильного агента.
59. Тепловой баланс конвективной сушки. Удельный расход теплоты.  
Тепловой КПД.
60. Изображение основных вариантов сушильных процессов на диаграмме I-x.
61. Конструкции конвективных сушилок.
62. Контактная, радиационная, высокочастотная и сублимационная сушка.
63. Расчет времени процесса конвективной сушки. Вывод уравнений.
64. Кинетика процесса конвективной сушки.