

**Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Казанский государственный технологический университет»**

**Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Казанский государственный технологический университет»**

**МАШИНЫ И АППАРАТЫ  
ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

**МАШИНЫ И АППАРАТЫ  
ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

**Контрольные вопросы и задания по машинам и аппаратам хими-  
ческих производств.  
Учебное пособие.**

**Контрольные вопросы и задания по машинам и аппаратам хими-  
ческих производств.  
Учебное пособие.**

**2008**

**Казань 2008**

Составители: доц. Алексеев В.В.  
проф. Булкин В.А.  
проф. Теляков Э.Ш.  
доц. Алексеев В.А.  
доц. Лукин В.О.  
доц. Рачковский С.В.

Машины и аппараты химических производств: Учебн. пособие. / Казан. гос. технол. ун-т; Сост. В.В. Алексеев, Булкин В.А., Теляков Э.Ш., В.А. Алексеев, В.О. Лукин, С.В. Рачковский, Казань, 2008.- 305 с.

Приведены контрольные вопросы и задачи по дисциплинам ДС.01 – Машины и аппараты химических производств, СД.01 – Оборудование нефтегазопереработки, и программа курса, необходимая для выполнения контрольных заданий.

Предназначено для студентов, изучающих специальности 240801 – Машины и аппараты химических производств и 130603 – Оборудование нефтегазопереработки заочной формы обучения. Пособие рекомендуется для самостоятельной работы студентов вечерней формы обучения специальности 240801 и при проведении практических занятий.

Подготовлено на кафедре машин и аппаратов химических производств.

Печатается по решению методической комиссии института химического и нефтяного машиностроения.

Рецензенты: канд. техн. наук, доцент кафедры пром. безопасности КГТУ Е.Б. Гаврилов  
канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ВНИИУС Б.Н. Матюшко

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИН .....	8
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА .....	8
Введение .....	8
1. Теплообменные аппараты .....	9
2. Массообменные аппараты и сушилки .....	9
3. Химические и емкостные аппараты.....	10
4. Аппараты для разделения неоднородных систем.....	11
КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ №1 .....	12
Варианты контрольных заданий .....	12
Номера вопросов и задач к контрольному заданию №1 .....	13
Вопросы к контрольному заданию №1 по разделу «Теплообменные аппараты» .....	15
Задачи к контрольному заданию №1 по разделу «Теплообменные аппараты» .....	32
Вопросы к контрольному заданию №1 по разделу «Массообменные аппараты и сушилки» .....	74
Задачи к контрольному заданию №1 по разделу «Массообменные аппараты и сушилки» .....	88
КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ №2 .....	108
Варианты контрольных заданий .....	108
Номера вопросов и задач к контрольному заданию №2 .....	109
Вопросы к контрольному заданию № 2 по разделу «Химические и емкостные аппараты» .....	111
Задачи к контрольному заданию №2 по разделу «Химические и емкостные аппараты» .....	143
Вопросы к контрольному заданию №2 по разделу «Аппараты для разделения неоднородных систем».....	184
Задачи по контрольному заданию №2 по разделу «Аппараты для разделения неоднородных систем».....	219
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	286
Таблица 1 Теплофизические свойства воды .....	286
Таблица 2 Теплофизические свойства веществ .....	286
Таблица 3 Теплофизические параметры раствора МЭА .....	286
Таблица 4 Исходные данные к задачам 2.11 – 2.22.....	287

Таблица 5 Исходные данные к задачам 2.41 – 2.56.....	288
Таблица 6 Сырье - этановая фракция .....	289
Таблица 7 Продукты пиролиза (пирогаз).....	289
Образец оформления титульного листа.....	290
ЛИТЕРАТУРА.....	291

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплины «Машины и аппараты химических производств» и «Оборудование нефтегазопереработки» включают в себя следующие разделы:

1. Теплообменные аппараты, методы их расчета и проектирования.
2. Массообменные аппараты и сушилки, их расчет и конструирование, который включает в себя традиционные массообменные аппараты по абсорбции, ректификации, а также тепло-массообменные аппараты для процессов сушки материалов.
3. Химические и емкостные аппараты, конструкции, методы расчета и проектирования.
4. Аппараты для разделения неоднородных систем. Конструкции, методы расчета и проектирования.

Вышеуказанные дисциплины базируются на дисциплинах «Процессы и аппараты химических производств», «Теоретические основы теплотехники», «Сопротивление материалов» и др. Их изучение осуществляется студентами-заочниками по учебной литературе, рекомендованной в программе самостоятельно.

Для получения допуска к экзамену студенты выполняют лабораторные работы и две контрольные работы. Первая контрольная работа охватывает первые два раздела курса, а вторая – остальные два раздела. Выполнение контрольных работ позволяет студентам более обособленно подойти к курсовому проекту. Студенты, исходя из конкретной технологии производства, выбирают конструктивные материалы и типы оборудования. В результате выполнения технологических и механических расчетов определяются основные габаритные (диаметр, высота, поверхность теплопередачи и т.д.) и прочностные (толщина стенок цилиндрических, конических и других элементов оборудования) размеры аппарата. Кроме основного оборудования в проекте производится расчет или подбор вспомогательного оборудования: насосов, вентиляторов, газодувок, вакуум-насосов, компрессоров, емкостей для хранения сырья, полупродуктов и продуктов. Вышеуказанное оборудование рассчитывается или подбирается по ГОСТам, нормам или каталогам с учетом конкретных условий работы.

Каждое контрольное задание оформляется отдельно в тетради или на листах формата А4 в виде расчетно-пояснительной записки с ти-

тульным листом (обложкой), приведенным в «Приложении». Вариант контрольных заданий определяется координатным пространством  $x, y$ , где  $x=A \div Я$  – фамилия студента;  $y=0 \div 9$  – последняя цифра шифра студента в зачетной книжке. Вариант контрольного задания №1, например студента Иванова П.П. (зачетная книжка №112632) определяется следующим образом (стр.12). На пересечение строки «И» со столбцом, где указана цифра «2» находим вариант контрольного задания «36». Определив свой вариант, студент по таблице (стр. 13) устанавливает, какие вопросы и задачи ему следует выполнить в первом контрольном задании. В варианте «36» студент выполняет вопросы «1.30» и «2.5» и задачи «1.11» и «2.58», соответствующие первому и второму разделу Рабочей программы. Вопрос «1.30» изложен на стр. 19 настоящего пособия: «Теплообменник ТС1-1-16-6-1. Представить...», вопрос «2.5»- на стр. 74 «Тарельчатые колонны для процессов абсорбции и ректификации. Варианты...». Задача «1.11» приведена на стр. 36 «Расчитать и подобрать кожухотрубчатый теплообменник для нагрева воздуха в паровом котле. Исходные данные...», задача «2.58» - на стр. 95 «Выполнить проектный расчет ректификационной колонны непрерывного действия с клапанными тарелками для получения 150.000 тонн этилена в год. Колонна...».

Аналогично определяются варианты контрольного задания №2 (стр. 108, 109).

При ответах на контрольное задание студент техническим языком и в логической последовательности должен изложить основную суть вопроса и правильно оформить работу.

Все иллюстрации (схемы технологические, гидравлические, эскизы, графики и т.д.) называются рисунками и в пределах контрольной работы нумеруются арабскими цифрами. Рисунки помещают сразу же после первого упоминания о них в тексте. Ссылки на иллюстрации в тексте осуществляются по типу: «рис.3», а ссылки на ранее упомянутые иллюстрации даются в сокращении, например: «см. рис.3». Иллюстрации должны иметь название (подрисуночный текст). Эскиз или схему допускается вычерчивать в произвольном масштабе, обеспечивая четкое представление об объекте. Цифровой материал оформляется в виде таблиц по указанию ГОСТ 2.105-95.

В контрольной работе формулы нумеруют в пределах каждого раздела арабскими цифрами. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенной точкой. Номер ставят в круглых скобках с правой стороны формулы. Значения переменных величин приводят непосредственно под формулой в той последовательности, в какой они даны в формуле, например:

«Скорость движения охлаждающей воды в трубном пространстве  $W$ , м/с определяется по выражению [6, с.102]:

$$W=Q/(\rho \cdot s), \quad (1.1)$$

где  $Q=0,542$  кг/с - расход охлаждающей воды;  $\rho=998$  кг/м<sup>3</sup> - плотность охлаждающей воды [4, с.152];  $s=0,0142$  м<sup>2</sup> - расчетная площадь сечения трубного пространства.».

Размерности одних и тех же параметров в расчетах должны быть выдержаны в одной системе единиц. Единицы физических величин принимают по ГОСТ 8.417-81. Условные буквенные обозначения математических, физических, механических и других величин, а также условные графические обозначения должны соответствовать установленным стандартам. При первом упоминании той или иной величины в тексте дается ее разъяснение.

Порядок изложения расчетов определяется характером рассчитываемых величин. Расчеты должны содержать эскиз или схему рассчитываемого элемента с указанием потоков, тепловых и гидравлических режимов, силовых нагрузок и т.п. и конструктивных размеров, сформулированную задачу расчета, принятые допущения и упрощения с их обоснованием, выбранную расчетную методику с указанием ссылки на литературный источник, сам расчет и выводы, полученные по его результатам.

Расчеты, выполненные на ПЭВМ с предварительным составлением программы счета, оформляются в соответствии с общими требованиями. При этом излагается методика (алгоритм) счета, приводятся исходные данные, а также таблица идентификаторов (обозначений) всех рассчитываемых величин. Распечатка программ приводится непосредственно на страницах работы, либо наклеивается на листы.

При многократном использовании одних и тех же методик и программ расчетов все пояснения к ним излагаются только в первом

расчете, а в остальных случаях даются ссылки на соответствующие страницы контрольной работы.

Ссылки на литературу отмечаются записью в квадратных скобках, например «[8, с.10]», где первое число указывает номер источника в списке использованной литературы, далее следует страница или интервал страниц, на которые дается ссылка.

К контрольной работе предъявляются следующие требования:

1) задание должно быть выполнено полностью и аккуратно оформлено;

2) все страницы расчетно-пояснительной записки должны быть пронумерованы и написаны ручкой синего или черного цвета;

3) на каждой странице с правой стороны необходимо оставлять поля не менее 25-30 мм для замечаний рецензента;

4) рисунки, схемы и эскизы выполняются с использованием чертёжных принадлежностей четко и аккуратно;

5) титульный лист задания выполняется по форме, приведенной в приложении: на первой странице обязательно указывается шифр (номер зачетной книжки), вариант задания и его содержание, а в конце – список использованной литературы;

6) контрольную работу необходимо подписать и указать дату ее выполнения;

7) работы, оформленные с нарушением вышеуказанных требований, на рецензирование не принимаются.

Сроки выполнения контрольных работ устанавливаются учебным графиком. Работы рецензируются и оцениваются преподавателями кафедры машин и аппаратов химических производств. В случае отрицательной рецензии студент должен исправить все ошибки, дать исчерпывающие письменные ответы и направить работу на повторное рецензирование. Исправления отдельно от работы не рассматриваются.

При оформлении работ предпочтительнее использовать основные единицы СИ, а при решении задач необходимо изобразить схему устройства, обозначить на ней все размеры и величины, отметить стрелками направления движения потоков и разобраться в условиях работы. Подставить в расчетные уравнения числовые значения, проверить правильность подстановки и выполнить вычисления. Ответ

желательно подвергнуть критике на предмет соответствия полученного результата практическим условиям работы или сопоставить результат с результатами аналогично решенных подобных задач.

Рекомендуется решать задачи в общем виде и исследовать результаты путем выяснения влияния различных факторов, входящих в условие задачи. Студент-заочник должен иметь навыки работы с основными справочниками, учебниками, учебными пособиями и методическими указаниями. Одной из главных задач контрольного задания является выработка навыков к ведению инженерно-технических расчетов с точностью  $\pm 5\%$ . Применение инженерных калькуляторов является обязательным, а персональных компьютеров – желательным. При оформлении работы требуется отчетливое и грамотное (без орфографических ошибок) изложение, систематизированный ход вычислений и аккуратный разборчивый текст.

Оформление списка литературы (библиографии) производится по требованию ГОСТ 7.1-84 как указано в разделе «Литература».

Для более четкой проработки соответствующих дисциплин желательно иметь тетрадь для самостоятельной домашней работы, где проводятся решения задач, зарисовки эскизов, схем, узлов аппаратов, машин или их деталей. Окончательный вариант контрольного задания, оформленный в соответствии с требованиями данного учебного пособия, представляется на кафедру МАХП для контрольной проверки\*.

---

\* Студенты, применяющие в своей профессиональной деятельности компьютер и компьютерные технологии: текстовый редактор Word, табличный Excel или им подобные и графические редакторы AutoCAD или Компас могут представлять распечатанный вариант контрольного задания. В этом случае к нему прикладывается электронная копия, записанная на CD-диске. А при защите контрольного задания или исправлении допущенных ошибок студент демонстрирует свои знания и умения работы в соответствующих редакторах преподавателю за компьютером!

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИН

Курсы «Машины и аппараты химических производств» и «Оборудование нефтегазопереработки» входят в число специальных дисциплин и составляют основу в подготовке инженеров по специальностям 240801 и 130603. Эти дисциплины определяют знания будущего инженера в области расчета, проектирования и аппаратурного оформления процессов химической технологии.

«Машины и аппараты химических производств» и «Оборудование нефтегазопереработки» - это дисциплины, в которых рассматриваются устройства и работа основных видов машин и аппаратов, применяемых в химической, нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей производствах, а также устройств и приспособлений, обеспечивающих надежную работу технологического оборудования в физико-химическом процессе.

Цель дисциплин состоит в обеспечении необходимого объема знаний по аппаратурному оформлению производственных процессов, развития умения определять технологическое соответствие конструкции аппарата или машины данной технологии.

Задачами изучения дисциплины являются:

- классификация оборудования по технологическому назначению, описание устройств и работа аппаратов и машин, применяемых в процессах химической технологии;

- методики конструктивных и технологических расчетов, выбор и обоснование применяемого технологического оборудования в конкретном производственном процессе.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

### Введение

Предмет курса, его цели и задачи. Задачи, стоящие перед будущим инженером-механиком химической промышленности. Требования, предъявляемые к оборудованию химических и нефтехимических предприятий (обеспечения устойчивости заданного режима; возможность применения автоматического контроля и регулирования; легкость ремонта и монтажа, надежность и противопожарная безопасность).

Общие перспективы развития химического аппарата- и машиностроения.

*Литература [1]*

### 1. Теплообменные аппараты

Роль теплообменной аппаратуры в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Факторы, влияющие на выбор конструкции теплообменников. Классификация теплообменной аппаратуры.

Кожухотрубные теплообменные аппараты. Теплообменники типа Н. Преимущества и недостатки этой конструкции. Теплообменники типа К. Теплообменники с U-образными трубками. Аппараты с плавающей головкой: тип П и ПК. Способы крепления крышек плавающих головок с подвижной трубной решеткой. Элементы кожухотрубных теплообменных аппаратов: корпуса, крышки, трубы, трубные решетки, продольные и поперечные перегородки. Нормы и методы расчета элементов кожухотрубных теплообменников на прочность. Интенсификация процесса теплообмена в кожухотрубных теплообменниках.

Теплообменники спиральные и пластинчатые. Конструкция, область применения, достоинства и недостатки. Элементы конструкции.

Теплообменники других конструкций. Теплообменники воздушного охлаждения, их преимущества и особенности конструкции. Теплообменники типа «труба в трубе». Оросительные теплообменники. Погружные теплообменники. Блочные теплообменники.

*Литература [1-4, 6, 21-46]*

### 2. Массообменные аппараты и сушилки

Массообменные аппараты для процессов абсорбции и ректификации. Классификация аппаратов. Колонные аппараты для процессов абсорбции и ректификации. Расчет элементов колонных аппаратов: крышек, оболочек, конических переходов, укрепленных и неукрепленных кольцами жесткости, на прочность и устойчивость формы.

Тарельчатые колонны для процессов абсорбции и ректификации. Классификация тарельчатых контактных устройств. Колпачковые тарелки. Клапанные тарелки. Ситчатые тарелки. Прямоточно-

скоростные и язычковые тарелки. Рекомендации по выбору тарелок стальных колонных аппаратов для процесса массообмена. Интенсификация работы тарельчатых колонных аппаратов.

Насадочные колонны для процессов абсорбции и ректификации. Регулярные и нерегулярные насадки. Режим работы насадочных колонн, устройство для орошения насадочных аппаратов и перераспределение газа и жидкости в них. Устройство для сепарации газожидкостных потоков. Область применения насадок различных типов.

Экстракционные аппараты для систем жидкость-жидкость. Классификация аппаратов. Колонные экстракторы: пульсационные, роторно-дисковые. Центробежные напорные и безнапорные экстракторы.

Аппараты для сушки материалов. Классификация сушилок. Конвективные и кондуктивные сушилки. Конвективные аппараты для сушки материала в слое: туннельные, ленточные, петлевые, вальце-ленточные. Конвективные сушилки. Аппараты для сушки материала в кипящем слое. Элементы этих аппаратов. Аэрофонтанные сушилки. Аппараты для сушки материала в режиме пневмотранспорта: трубы, сушилки, циклонные, вихревые сушилки. Комбинированные сушилки. Распылительные сушилки: центробежные и форсуночные. Конструкции камер и распылительных устройств. Кондуктивные сушилки: барабанные и вальцевые. Выбор процесса сушки в аппарате.

*Литература [1-4, 6, 47-65]*

### **3. Химические и емкостные аппараты**

Введение. Роль химических реакторов в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Классификация реакторов. Элементы теории химических реакторов.

Аппараты для гомогенных реакций. Реакторы для проведения гомогенных жидкостных и эмульсионных реакций. Конструктивное оформление, условия их работы. Перемешивающие устройства. Конструкции теплообменных устройств в зависимости от объема реактора и величины теплового эффекта. Аппараты для высокотемпературных некаталитических газовых реакций.

Аппараты для гетерогенных реакций. Газожидкостные реакторы: их сходства и отличия от абсорберов. Основные конструктивные типы, их сравнительная характеристика. Аппаратура для реакций между

газами и твердыми веществами; основные конструктивные типы. Шахтные печи, газогенераторы, вращающиеся барабанные печи, аппараты с кипящим слоем. Механический расчет барабанных печей.

Аппараты для гетерогенно-каталитических реакций. Реакторы для газовых реакций на твердом катализаторе. Различные конструктивные типы в зависимости от давления и способов обеспечения температурного режима. Реакторы с неподвижным и псевдооживленным катализатором.

*Литература [1,13 -20, 67-98]*

### **4. Аппараты для разделения неоднородных систем**

Фильтры для жидкостей. Классификация фильтров. Емкостные фильтры, конструкции, порядок расчета. Рамные и камерные фильтры, простые и автоматизированные. Непрерывнодействующие вакуум-фильтры: карусельные, тарельчатые, барабанные, дисковые, ленточные. Основные конструктивные особенности барабанных вакуум-фильтров. Порядок их расчета. Барабанные фильтры, работающие под давлением.

Центрифуги химической промышленности. Классификация и расчет производительности центрифуг. Фильтрующие центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка одно-, двух- и многокаскадные. Фильтрующие, осадительные и комбинированные центрифуги со шнековой выгрузкой осадка. Центрифуги с центробежной и вибрационной выгрузкой осадка.

Трубчатые сверхцентрифуги. Сепараторы одно- и многокамерные, тарельчатые, их конструкции и характеристики. Особенности работы валов, прочность обечайки, вибрация центрифуг.

Пылеочистное оборудование. Аэрозоли, их классификация. Циклоны одиночные, групповые и батарейные. Расчет (подбор) циклона. Рукавные и другие фильтры для газов. Электрофильтры. Аппараты мокрой пылеочистки.

*Литература [1,4,13,15,99-125]*

### КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ №1

Контрольное задание №1 включает в себя следующие разделы:

1. Теплообменные аппараты, методы их расчета и проектирования.
2. Массообменные аппараты и сушилки, их расчет и конструирование, который включает в себя традиционные массообменные аппараты по абсорбции, ректификации, а также тепло-массообменные аппараты для процессов сушки материалов.

Первая контрольная работа выполняется на 5 курсе, 10 семестр.

#### Варианты контрольных заданий

Начальная буква фамилии студента	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	1	34	47	29	7	46	77	36	76	6
Б	30	75	26	95	66	35	20	3	45	5
В	70	33	12	64	46	36	2	37	38	89
Г	64	59	65	25	88	26	5	79	76	74
Д	8	25	27	56	100	66	28	87	67	44
Е	42	57	11	41	21	96	49	67	90	37
Ж	42	91	78	39	1	22	37	78	80	89
З	31	14	65	2	94	67	83	43	9	88
И	16	41	36	56	48	3	13	44	66	52
К	57	62	43	16	61	19	68	23	77	75
Л	71	92	8	25	44	76	4	93	63	65
М	34	79	35	1	61	55	74	27	18	69
Н	97	99	40	24	10	59	73	24	29	29
О	84	56	35	45	85	5	77	95	9	71
П	42	54	83	7	75	59	68	8	51	53
Р	17	33	32	18	38	26	47	19	43	64
С	90	72	85	9	48	3	69	50	63	87
Т	41	10	34	11	74	17	45	84	72	10
У	56	51	93	32	6	48	12	86	13	30
Ф	24	30	23	92	55	58	52	62	28	53

Начальная буква фамилии студента	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Х	98	57	55	5	2	28	63	49	38	54
Ц	40	15	22	70	20	33	32	86	20	54
Ч	81	12	68	39	73	60	46	62	60	15
Ш	58	6	80	40	56	21	50	70	53	21
Щ	98	23	17	71	61	39	14	81	16	47
Э	7	94	13	15	78	100	11	19	31	31
Ю	50	27	69	97	51	60	79	91	73	96
Я	99	22	58	18	49	72	52	82	82	14

#### Номера вопросов и задач к контрольному заданию №1

№ варианта	№ вопросов	№ задач	№ варианта	№ вопросов	№ задач
<b>1</b>	1.1; 2.74	1.1; 2.25	<b>26</b>	1.58; 2.75	1.25; 2.8
<b>2</b>	1.76; 2.49	1.53; 2.69	<b>27</b>	1.95; 2.6	1.8; 2.21
<b>3</b>	1.28; 2.95	1.50; 2.6	<b>28</b>	1.33; 2.48	1.91; 2.56
<b>4</b>	1.56; 2.18	1.24; 2.68	<b>29</b>	1.84; 2.12	1.9; 2.40
<b>5</b>	1.2; 2.50	1.52; 2.7	<b>30</b>	1.57; 2.51	1.7; 2.67
<b>6</b>	1.79; 2.11	1.63; 2.82	<b>31</b>	1.34; 2.77	1.64; 2.59
<b>7</b>	1.27; 2.76	1.16; 2.22	<b>32</b>	1.75; 2.4	1.90; 2.23
<b>8</b>	1.86; 2.46	1.23; 2.65	<b>33</b>	1.15; 2.47	1.49; 2.83
<b>9</b>	1.35; 2.17	1.98; 2.39	<b>34</b>	1.81; 2.73	1.72; 2.10
<b>10</b>	1.82; 2.71	1.39; 2.92	<b>35</b>	1.85; 2.52	1.40; 2.24
<b>11</b>	1.26; 2.97	1.17; 2.57	<b>36</b>	1.30; 2.5	1.11; 2.58
<b>12</b>	1.55; 2.45	1.70; 2.64	<b>37</b>	1.96; 2.78	1.99; 2.9
<b>13</b>	1.78; 2.15	1.48; 2.4	<b>38</b>	1.59; 2.94	1.65; 2.5
<b>14</b>	1.3; 2.70	1.22; 2.27	<b>39</b>	1.10; 2.72	1.41; 2.91
<b>15</b>	1.80; 2.1	1.6; 2.38	<b>40</b>	1.77; 2.53	1.93; 2.28
<b>16</b>	1.36; 2.44	1.66; 2.84	<b>41</b>	1.87; 2.3	1.71; 2.63
<b>17</b>	1.54; 2.9	1.51; 2.99	<b>42</b>	1.31; 2.96	1.42; 2.30
<b>18</b>	1.29; 2.81	1.44; 2.98	<b>43</b>	1.15; 2.43	1.2; 2.37
<b>19</b>	1.83; 2.16	1.92; 2.85	<b>44</b>	1.97; 2.13	1.12; 2.86

№ варианта	№ вопросов	№ задач	№ варианта	№ вопросов	№ задач
20	1.4; 2.2	1.7; 2.26	45	1.60; 2.93	1.100; 2.2
21	1.61; 2.54	1.21; 2.34	46	1.74; 2.80	1.67; 2.62
22	1.94; 2.20	1.47; 2.90	47	1.13; 2.42	1.6; 2.29
23	1.37; 2.79	1.89; 2.1	48	1.32; 2.7	1.18; 2.36
24	1.73; 2.8	1.74; 2.80	49	1.62; 2.55	1.19; 2.35
25	1.5; 2.41	1.3; 2.88	50	1.38; 2.14	1.4; 2.87
51	1.25; 2.8	1.58; 2.75	80	1.1; 2.25	1.1; 2.74
52	1.8; 2.21	1.95; 2.6	81	1.53; 2.69	1.76; 2.49
53	1.91; 2.56	1.33; 2.48	82	1.50; 2.6	1.28; 2.95
54	1.24; 2.68	1.84; 2.12	83	1.9; 2.40	1.56; 2.18
55	1.52; 2.7	1.57; 2.51	84	1.7; 2.67	1.2; 2.50
56	1.63; 2.82	1.34; 2.77	85	1.64; 2.59	1.79; 2.11
57	1.16; 2.22	1.75; 2.4	86	1.90; 2.23	1.27; 2.76
58	1.23; 2.65	1.15; 2.47	87	1.49; 2.83	1.86; 2.46
59	1.98; 2.39	1.81; 2.73	88	1.72; 2.10	1.35; 2.17
60	1.39; 2.92	1.85; 2.52	89	1.40; 2.24	1.82; 2.71
61	1.17; 2.57	1.30; 2.5	90	1.11; 2.58	1.26; 2.97
62	1.70; 2.64	1.96; 2.78	91	1.99; 2.9	1.55; 2.45
63	1.48; 2.4	1.59; 2.94	92	1.65; 2.5	1.78; 2.15
64	1.22; 2.27	1.10; 2.72	93	1.41; 2.91	1.3; 2.70
65	1.6; 2.38	1.77; 2.53	94	1.93; 2.28	1.80; 2.1
66	1.66; 2.84	1.87; 2.3	95	1.71; 2.63	1.36; 2.44
67	1.51; 2.99	1.31; 2.96	96	1.42; 2.30	1.54; 2.9
68	1.44; 2.98	1.15; 2.43	97	1.2; 2.37	1.29; 2.81
69	1.92; 2.85	1.97; 2.13	98	1.12; 2.86	1.83; 2.16
70	1.7; 2.26	1.60; 2.93	99	1.100; 2.2	1.4; 2.2
71	1.21; 2.34	1.74; 2.80	100	1.67; 2.62	1.61; 2.54
72	1.47; 2.90	1.13; 2.42	101	1.6; 2.29	1.94; 2.20
73	1.89; 2.1	1.32; 2.7	102	1.18; 2.36	1.37; 2.79
74	1.8; 2.33	1.84; 2.12	103	1.68; 2.100	1.73; 2.8
75	1.69; 2.25	1.57; 2.51	104	1.46; 2.89	1.56; 2.18
76	1.43; 2.60	1.34; 2.77	105	1.5; 2.61	1.2; 2.50
77	1.45; 2.32	1.75; 2.4	106	1.20; 2.3	1.79; 2.11

№ варианта	№ вопросов	№ задач	№ варианта	№ вопросов	№ задач
78	1.4; 2.87	1.5; 2.41	107	1.3; 2.88	1.62; 2.55
79	1.19; 2.35	1.73; 2.8	108	1.88; 2.31	1.38; 2.14

**Вопросы к контрольному заданию №1 по разделу  
«Теплообменные аппараты»**

1.1. Теплообменник 1000 ТНГ–10–М8–0/20–6–2 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, крепления распределительной камеры с трубной решеткой и кожухом, соединения труб с решеткой и схемы размещения труб в обеих решетках и установки поперечных перегородок.

1.2. Холодильник 800 ХНВ-40-М10-0/25-6-4 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления поперечных перегородок в трубном пучке; крепления кожуха, трубной решетки и распределительной камеры между собой; схему размещения труб в решетках и схему движения теплоносителей.

1.3. Конденсатор 600 ККВ-16-М3-0/20-4-4 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, крепления распределительной камеры с трубной решеткой и кожухом, компенсаторов и способов их крепления и схему установки поперечных перегородок типа «диск–кольцо».

1.4. Испаритель 600 ИНВ-1-6-10-М8-0/4 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления поперечных перегородок в трубном пучке; крепления кожуха, трубной решетки и распределительной камеры между собой; схему размещения труб в обеих решетках.

1.5. Теплообменник 530 ТПВ-16-М4-0/25-3-2 гр. А

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, крепления крышки плавающей головки

к трубной решетке с помощью фланцевой скобы, эскизы этой скобы в двух проекциях и схему размещения труб в обеих решетках.

1.6. Холодильник 630 ХПГ-25-М1-0/20-6-К-2 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, крепления неподвижной решетки к кожуху, соединения плавающей решетки с крышкой и схемы размещения труб в обеих решетках и поперечных перегородок типа «диск-кольцо».

1.7. Конденсатор 1400 КПП-25-М12-6-2 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, крепления неподвижной решетки к кожуху, соединения плавающей решетки с крышкой и схемы размещения труб в обеих решетках и различных видов поперечных перегородок.

1.8. Теплообменник 1200 ТУ-16-М12-0/20-6-К гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, крепления распределительной камеры с трубной решеткой и кожухом, уплотнения продольной перегородки к решетке, сегментных поперечных перегородок.

1.9. Испаритель 2600 ИУ-11-10-М4-2 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, крепления трубных пучков с корпусом, уплотнения трубной решетки с корпусом аппарата.

1.10. Испаритель 800 ИП-1-16-М4-0 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, крепления трубного пучка с корпусом, уплотнения трубной решетки с корпусом аппарата.

1.11. Теплообменник ТТ 114.001.102.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узлов крепления колен с трубами и уплотнения кольцевого зазора между трубами.

1.12. Теплообменник ТТ 114.002.321.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узлов крепления колен с трубами и уплотнения кольцевого зазора между трубами.

1.13. Аппарат 1АВГ.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, теплообменной секции с трубами длиной 8 м, схему расположения секций.

1.14. Аппарат 1АВЗ.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, теплообменной секции и схему расположения труб.

1.15. Теплообменник ТПР 0,6-16-1-01-10, Сх  $\frac{14}{15}$ .

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, элементов крепления и сжатия пластин и прокладок; схему компоновки пластин.

1.16. Теплообменник ТПР (0,6-4)-80-2-06-10, Сх  $\frac{22 + 22 + 23}{22 + 23 + 23}$ .

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, элементов крепления и сжатия пластин и прокладок; схему компоновки пластин.

1.17. Теплообменник ТПР 1,1-300-3-0,2-11, Сх  $\frac{68}{69}$  II  $\frac{68}{69}$ .

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, элементов крепления и сжатия пластин и прокладок; схему компоновки пластин.

1.18. Теплообменник ТС 1-2-16-10-2.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узлов крепления крышек к корпусу и схему движения теплоносителей.

1.19. Теплообменник ТС 3–50–6–2.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, схему движения теплоносителей.

1.20. Теплообменник ТС 2–3–20–8–1.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узлов крепления крышек к корпусу и схеме движения теплоносителей.

1.21. Теплообменник П4–2Н–02.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата, узел подсоединения трубных решеток к корпусу аппарата.

1.22. Теплообменник П6,3–3Н–01.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узел крепления и уплотнения трубного пучка с решеткой к корпусу аппарата.

1.23. Теплообменник П40–6Н–01.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узел подсоединения трубных решеток к корпусу аппарата.

1.24. Теплообменник К16–3Н–01.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узел крепления трубных решеток с корпусом аппарата и схему движения агрессивных сред.

1.25. Теплообменник 325 ТНГ–16–М1–0/20–2–2 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом, соединения труб с решеткой и схемы размещения труб в обеих решетках и установки перегородок.

1.26. Холодильник 159 ХНГ–16–М1–0/20–3 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления поперечных перегородок в трубном пучке; крепления кожуха с трубной решеткой и рас-

пределительной камеры между собой; схему размещения труб в обеих решетках.

1.27. Конденсатор 1400 КНВ–6–М12–0/25–6–2 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом, схему установки поперечных перегородок типа «диск – кольцо».

1.28. Испаритель 1000 ИКВ–1–6–М8–0/4 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления поперечных перегородок в трубном пучке, крепления кожуха с трубной решеткой и распределительной камеры между собой, виды компенсаторов и способы их крепления.

1.29. Теплообменник ТТ 114.001.101.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узлов крепления колен с трубами и уплотнения кольцевого зазора между трубами.

1.30. Теплообменник ТС 1–1–16–6–1.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узлов крепления крышек к корпусу и схему движения теплоносителей.

1.31. Теплообменник 800 ТПГ–80–М4–0/25–6–4 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узел крепления крышки плавающей головки к трубной решетке с помощью фланцевой скобы, эскизы этой скобы в двух проекциях и схему размещения труб в обеих решетках.

1.32. Холодильник 1000 ХПГ– 25–М6–0/20–6–К–2 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления неподвижной решетки с кожухом и соединения плавающей головки с крышкой аппарата; схемы размещения труб в обеих решетках и поперечных перегородок.

1.33. Холодильный конденсатор 600 КТ–20–М1/4–2 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом, схему размещения труб в решетке и поперечных перегородок.

1.34. Холодильный испаритель 800 ИТ–I–6–М17/4–4 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узел крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом, схему размещения труб в решетке и поперечных перегородок.

1.35. Теплообменник К 32–3Н–01.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узел крепления трубных решеток с корпусом аппарата и схему движения агрессивных сред.

1.36. Конденсатор 1000 КПП–16–М4–0/25–6–4 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления неподвижной решетки к кожуху и соединения плавающей головки с крышкой аппарата и схемы размещения труб в решетке и установки поперечных перегородок.

1.37. Испаритель 1600 ИП I–16–М1–1 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узел крепления трубного пучка с корпусом аппарата, уплотнения трубной решетки с корпусом.

1.38. Теплообменник ТС 1–3–16–6–1.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, схему движения теплоносителей.

1.39. Холодильник 325 ХПВ–40–М4–0/20–3–К–2 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления неподвижной и плавающей решеток, схемы размещения труб в обеих решетках и поперечных перегородок типа «диск – кольцо».

1.40. Теплообменник 1200 ТНГ–25–М1–0/25–9–6 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом, соединения и размещения труб в решетках, схему движения теплоносителей.

1.41. Теплообменник 1400 ТУ–25–М1–0/20–9–К гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом, уплотнения продольной перегородки к решетке, сегментных поперечных перегородок.

1.42. Холодильник 1400 ХПГ–40–М3–0/25–9–К–2 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узел крепления плавающей головки к трубной решетке с помощью фланцевой скобы, эскиз этой скобы в двух проекциях и схему размещения труб в обеих решетках.

1.43. Теплообменник ТПР 0,6–80–2–02–11, Сх  $\frac{67}{68}$ .

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях, элементов крепления и сжатия пластин и прокладок и схему компоновки пластин.

1.44. Конденсатор 800 КПП–10–М3–0/25–6–6 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления неподвижной решетки к кожуху и соединения плавающей головки с крышкой и схемы размещения труб в обеих решетках и различных видов поперечных перегородок, а также схему движения теплоносителей.

1.45. Теплообменник 800 ТНВ–25–М11–0/20–9–6 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом, соединения труб с решеткой, схему установки поперечных перегородок и схему движения теплоносителей.

1.46. Теплообменник 630 ТКВ–25–М10–0/25–6–К–2 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узла крепления распределительной камеры с решеткой, виды и крепление компенсаторов, схему размещения поперечных перегородок типа «диск – кольцо».

1.47. Аппарат 1АВЗ–Д.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, теплообменной секции и схему расположения труб.

1.48. Конденсатор 1400 КНГ–10–М20–0/20–6–4 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления поперечных перегородок в трубном пучке, крепления кожуха, трубной решетки и распределительной камеры между собой, схему размещения труб в обеих решетках.

1.49. Теплообменник ТТ 114.002.233.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узлов крепления колен с трубами и уплотнения кольцевого зазора между трубами.

1.50. Испаритель 1400 ИНВ–1–6–10–М10–0/3 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления поперечных перегородок в трубном пучке, крепления кожуха с трубной решеткой и распределительной камеры между собой, схему размещения труб в обеих решетках.

1.51. Теплообменник 1000 ТПВ–63–М12–0/25–9–2 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узла крепления крышки плавающей головки к трубной решетке с помощью фланцевой скобы, эскиз этой скобы в двух проекциях, схему размещения труб в обеих решетках.

1.52. Холодильник 800 ХПГ–25–М12–0/20–6–К–2 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления неподвижной решетки и плавающей головки, схемы размещения труб в обеих решетках и поперечных перегородок типа «диск–кольцо».

1.53. Холодильный конденсатор 1400 КТ–20–М12/4–6 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом, схему размещения труб в решетке и поперечных перегородках.

1.54. Испаритель 2800 ИП–I–10–М17–2 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления трубного пучка с корпусом, уплотнения трубной решетки с корпусом.

1.55. Теплообменник 530 ТУ–40–М1–0/20–6–К гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом, уплотнения продольной перегородки с решеткой, сегментных поперечных перегородок.

1.56. Конденсатор 1000 ККВ–10–М21–0/20–6–2 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узла крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом, виды компенсаторов и способы их крепления, схему размещения труб в обеих решетках.

1.57. Теплообменник 630 ТНВ–16–М8–0/25–6–6 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления распределительной камеры с решеткой и камерой, соединения труб с решеткой и схемы размещения труб в решетках, установки поперечных перегородок и схему движения теплоносителей.

1.58. Теплообменник П 6,3–4Н–01.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узел крепления трубных решеток к аппарату, схему трубного пучка.

1.59. Теплообменник ТТ 114.002.212.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узлов крепления колен с трубами и уплотнения кольцевого зазора между трубами.

1.60. Холодильник 1200 ХНВ–10–М19–0/25–9–4 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления поперечных перегородок в трубном пучке, крепления кожуха с трубной решеткой и распределительной камеры между собой, схему размещения труб в обеих решетках.

1.61. Испаритель 600 ИКГ–1–10–16–М1–0/4гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления поперечных перегородок в трубном пучке, виды компенсаторов и способы их крепления, схему размещения труб в обеих решетках.

1.62. Теплообменник 800 ТУ–25–М4–0/20–9 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления распределительной камеры с трубной решеткой и кожухом, уплотнения продольной перегородки к решетке, сегментных перегородок.

1.63. Холодильный испаритель 1000 ИТ–П–25–М17/6–6 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом, схему размещения труб в решетке и поперечных перегородок.

1.64. Теплообменник П 32–1Н–01.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узел крепления и уплотнения трубного пучка с решеткой к корпусу аппарата.

1.65. Теплообменник ТС 2–2–50–6–2.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узлов крепления крышек к корпусу и схеме движения теплоносителей.

1.66. Холодильник 325 ХКВ–25–М3–0/25–4–2 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления кожуха,

трубной решетки и распределительной камеры между собой, схему размещения труб в обеих решетках.

1.67. Теплообменник 630 ТКГ–16–М21–0/20–3–4 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления распределительной камеры с решеткой, виды и способы крепления компенсаторов, схему размещения перегородок типа «диск – кольцо».

1.68. Испаритель 800 ИНВ–2–6–16–М24–0/3 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления поперечных перегородок в трубном пучке, узла крепления трубной решетки с распределительной камерой и узла крепления аппарата с фундаментом.

1.69. Теплообменник 1400 ТПГ–40–М4–0/25–9–4 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узла крепления крышки плавающей головки к трубной решетке с помощью фланцевой скобы, эскиз этой скобы в двух проекциях и схему размещения труб в обеих решетках и схему движения теплоносителей.

1.70. Теплообменник К 20–3Н–01.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узел крепления трубных решеток с корпусом аппарата и схему движения агрессивных сред.

1.71. Теплообменник ТТ 114.001.123.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узлов крепления колен с трубами и уплотнения кольцевого зазора между собой.

1.72. Аппарат АВМ.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, схему расположения секций аппарата.

1.73. Испаритель 1600 ИУ I–16–M17–1 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления трубного пучка с корпусом, уплотнения трубной решетки.

1.74. Холодильный конденсатор 2000 КТ–20–M1/4–4 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом, схему размещения труб в решетке.

1.75. Теплообменник П 4–5Н–01.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узел крепления и уплотнения трубного пучка с корпусом аппарата.

1.76. Теплообменник 1000 ТНВ–40–M10–0/25–9–6 гр. Б.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узла крепления кожуха, распределительной камеры и трубной решетки между собой, схемы размещения поперечных перегородок типа «диск–кольцо» и схему движения теплоносителей.

1.77. Теплообменник 630 КПП–10–M1–0/20–6–2 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления неподвижной решетки с кожухом и плавающей головки с крышкой, уплотнения продольной перегородки к решетке, сегментных поперечных перегородок.

1.78. Теплообменник К 20–1Н–02.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы аппарата в двух проекциях, узел крепления и уплотнения трубного пучка с корпусом аппарата.

1.79. Холодильник 1000 ХПВ–16–M4–0/25–9–4 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления неподвижной решетки с кожухом и плавающей головки с крышкой аппарата, схемы размещения труб в обеих решетках и поперечных перегородок типа «диск – кольцо» и схему движения теплоносителей.

1.80. Конденсатор 1000 КНВ–6–M10–0/20–3–2 гр. А.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза аппарата, узлов крепления поперечных перегородок типа «диск–кольцо», крепления трубной решетки и распределительной камеры между собой и схему размещения труб в обеих решетках.

1.81. Составить уравнение теплового баланса кожухотрубчатого теплообменника для системы «газ–жидкость». В качестве теплообменника принять горизонтально расположенный аппарат с неподвижными трубными решетками, четырехходовой по трубному пространству. Представить описание устройства, характеристику и эскизы продольного разреза аппарата, крепление распределительной камеры с решеткой и кожухом, соединения труб с решеткой и схему размещения труб в обеих решетках.

1.82. Назначение, выбор и классификация теплообменных аппаратов. Привести схему горизонтального теплообменника с компенсатором в корпусе, трехходовой по трубному пространству с поперечными перегородками типа «диск–кольцо». Представить описание устройства,

характеристику и эскизы продольного разреза аппарата, крепление распределительной камеры с решеткой и кожухом, узла крепления компенсатора и схему размещения труб в обеих решетках.

1.83. Стальные кожухотрубчатые теплообменные аппараты (ГОСТ 9929-82), типы, основные параметры и размеры, область их применения. Привести схему вертикального теплообменника с U-образными трубами и сегментными поперечными перегородками. Представить описание устройства, характеристику и эскизы продольного разреза аппарата, крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом и уплотнения продольной перегородки в решетке. Изобразить схему размещения труб в решетке.

1.84. Привести общую схему технологического расчета теплообменных аппаратов. В качестве аппарата привести схему горизонтального четырехходового по трубному пространству с поперечными перегородками типа «диск-кольцо» с плавающей головкой теплообменника. Представить описание устройства, характеристику и эскизы продольного разреза аппарата, крепление неподвижной решетки к кожуху, соединение плавающей решетки с крышкой и схему размещения труб в обеих решетках.

1.85. Уравнение для расчетов коэффициентов теплоотдачи кожухотрубчатых теплообменных аппаратов: влияние характера теплообмена, агрегатного состояния, вида поверхности теплообмена, типа конструкции и режима движения теплоносителя.

Привести схему вертикального теплообменника с плавающей головкой, двухходовой по трубному пространству для конденсации паров в межтрубном пространстве. Представить описание устройства, характеристику и эскизы продольного разреза аппарата, крепление крышки плавающей головки к трубной решетке с помощью фланцевой скобы.

1.86. Теплообменники с неподвижными трубными решетками (тип Н). Привести схему вертикального теплообменника с неподвижными трубными решетками, четырехходовой по трубному пространству, с поперечными перегородками типа «диск-кольцо». Представить описание устройства, характеристику и эскизы продольного разреза аппарата, крепление кожуха, трубной решетки и распределительной камеры

между собой, узлов крепления поперечных перегородок в трубном пучке, крепления труб в решетке и схему размещения труб в обеих решетках.

1.87. Аппараты с температурным компенсатором на кожухе (тип К). Привести схему вертикального кожухотрубчатого теплообменника типа К. Представить описание устройства, характеристику и эскизы продольного разреза аппарата, крепления распределительной камеры с решеткой и кожухом, узла крепления компенсатора и схему размещения труб в обеих решетках.

1.88. Пути интенсификации процесса теплообмена в кожухотрубчатых теплообменных аппаратах: влияние поверхности теплообмена и коэффициента теплоотдачи. Теплопередача для случаев, когда термическое сопротивление определяется трубным и межтрубным пространствами. Привести схему горизонтального теплообменника типа Н, представить описание устройства, характеристику, эскизы продольного разреза аппарата и труб с оребрением и турбулизирующими вставками.

1.89. Аппараты с поверхностью теплообмена, изготовленной из листового материала, область применения, преимущества и недостатки по сравнению с кожухотрубчатым аппаратом. Привести схему пластинчатого разборного теплообменника на консольной раме, с одинаковым расходом жидких теплоносителей. Представить описание устройства, характеристику и эскизы аппарата в двух проекциях, элементов крепления и сжатия пластин и схему компоновки пластин.

1.90. Спиральные теплообменники, область применения, преимущества и недостатки. Привести схему спирального теплообменника с тупиковыми каналами для двух жидких теплоносителей. Представить описание устройства, характеристику и эскизы аппарата в двух проекциях, узлов крепления крышек к корпусу и схему движения теплоносителей.

1.91. Спиральный теплообменник со сквозными каналами. Область применения, преимущества и недостатки теплообменника по сравнению с теплообменником с тупиковыми каналами. Привести схему

спирального теплообменника со сквозными каналами для двух жидких теплоносителей. Привести описание устройства, эскизы аппарата, узлов крепления крышек к корпусу и схему движения теплоносителей.

1.92. Теплообменники типа «труба в трубе», область применения, преимущества и недостатки по сравнению с кожухотрубчатыми теплообменными аппаратами. Типы теплообменников разборной и неразборной конструкции. Основные параметры теплообменников: диаметры труб, поверхности теплообмена и т.п. Представить схему двухпоточного двухсекционного теплообменника «труба в трубе», описание устройства, характеристику, эскизы аппарата в двух проекциях, узлов крепления колен с трубами.

1.93. Теплообменники с U-образными трубами (тип У), область применения, преимущества и недостатки по сравнению с теплообменниками типа Н. Привести схему двухходового теплообменника по межтрубному пространству с U-образными трубами и продольной перегородкой. Представить описание устройства, характеристику и эскизы продольного разреза аппарата, крепление распределительной камеры с решеткой и кожухом. Изобразить схему размещения труб в решетке.

1.94. Теплообменные аппараты с плавающей головкой (тип П), область применения, преимущества и недостатки. Представить схему двухходового по трубному пространству теплообменника типа П, расположенного вертикально, в качестве поперечных перегородок использовать перегородки типа «диск-кольцо». Представить описание устройства, характеристику и эскизы продольного разреза аппарата, крепления неподвижной решетки к кожуху, соединения плавающей решетки с крышкой и схему размещения труб в обеих решетках.

1.95. Способы крепления крышки плавающей головки к трубной решетке в теплообменниках типа П: разрезным кольцом; разрезным фланцем; разрезной фланцевой скобой. Преимущества и недостатки вышеуказанных способов крепления. Привести схему двухходового теплообменника типа П с разрезной по диаметру плавающей головкой. Представить эскизы продольного разреза аппарата, крепление неподвижной решетки к кожуху и соединения разрезной плавающей решетки с крышкой.

1.96. Теплообменники с плавающей головкой и компенсатором (тип ПК), область применения, преимущества и недостатки. Представить схему такого теплообменника, описание устройства, характеристику, эскизы продольного разреза аппарата, крепление распределительной камеры с решеткой и кожухом, соединение компенсатора с плавающей головкой и штуцером на крышке.

1.97. Элементы кожухотрубчатых теплообменников: трубы, трубные решетки, распределительные камеры, кожухи, поперечные и продольные перегородки. Основные требования к их конструкции, выбору заготовок и материалов. Представить эскизы крепления кожуха и труб с решетками, схему размещения труб в решетках для аппаратов типа Н. Назначение и эскизы поперечных и продольных перегородок в межтрубном пространстве.

1.98. Теплообменники воздушного охлаждения, область применения, преимущества и недостатки по сравнению с кожухотрубчатыми теплообменными аппаратами. Привести схему аппарата воздушного охлаждения. Представить описание устройства, эскизы аппарата, теплообменных секций, дистанционного механизма поворота лопастей колеса, вида теплообменных трубок с различными оребрениями.

1.99. Погружные змеевиковые теплообменники, область применения, преимущества и недостатки. Привести схему змеевикового холодильника для охлаждения азотоводородной смеси. Представить описание конструкции, эскизы продольного и поперечных разрезов аппаратов, крепления обечайки кожуха с коллекторами подвода и отвода охлаждающей воды, кольцевых секций.

1.100. Теплообменные аппараты из неметаллических материалов, область применения, преимущества и недостатки. Материалы для теплообменников. Привести схемы теплообменного аппарата прямоугольного-блочного типа и кожухотрубчатого углеграфитового теплообменника. Представить описание конструкций, эскизы продольного и поперечного разрезов аппаратов, узлов соединений составных частей.

### Задачи к контрольному заданию №1 по разделу «Теплообменные аппараты»

1.1. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый испаритель для нагрева кубовой жидкости ректификационной колонны для выделения пропиленовой фракции водяным паром смеси.

Исходные данные: давление в трубном пространстве (кубовой смеси) - 1,3 МПа, в межтрубном (пара) - 0,5 МПа; расход кубовой жидкости 10 кг/с; начальная температура кубовой жидкости - 60°C, а конечная - 120°C. Начальная температура пара - 130°C.

Теплофизические характеристики теплоносителей при средней рабочей температуре.

Кубовая жидкость: плотность  $\rho=986 \text{ кг/м}^3$ , температура кипения - 120°C; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,123 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=9,7\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплоемкости  $c=1923 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , теплота парообразования  $r=137,652 \text{ кДж/кг}$ , энтальпия  $i=558,9\cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$ . Пар: плотность  $\rho=1,49 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплоемкости  $c=2206$

Дж/(кг·К); коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,026 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; энтальпия  $i=2730\cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$ .

1.2. Провести проектный расчет кожухотрубчатого холодильника для охлаждения водой коррозионноактивного кубового остатка ректификационной колонны.

Исходные данные: начальная температура воды - 20°C, а конечная - 40°C. Расход кубового остатка 6 кг/с с начальной температурой - 105,5°C и конечной - 30°C. Кубовый остаток, как коррозионноактивный, направляется в трубное пространство, вода – в межтрубное.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Кубовый остаток: коэффициент теплоемкости  $c=4190 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,622 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , плотность  $\rho=986 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,54 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , коэффициент объемного расширения  $\beta_1=48\cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$ .

Вода: коэффициент теплоемкости  $c=4180 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,618 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,804\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , плотность  $\rho=996 \text{ кг/м}^3$ .

1.3. Провести проектный расчет конденсатора для конденсации паров диэтиленгликоля (ДЭГ). Охлаждение осуществляется технической водой, которая подается в трубное пространство.

Исходные данные: расход паров ДЭГ на входе в конденсатор 0,35 кг/ч; начальная температура воды - 20°C, а конечная - 35°C; начальная температура ДЭГа - 140°C. Давление в трубном пространстве составляет 0,4 МПа, в межтрубном - 1,5 МПа.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

ДЭГ: плотность конденсата  $\rho=986 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициенты динамической вязкости  $\mu=0,45\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$  и теплопроводности  $\lambda=0,163 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; удельная теплота конденсации  $r=754,2 \text{ кДж/кг}$ .

Вода: плотность воды  $\rho=996 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплоемкости воды  $c=4180 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент динамической вязкости воды  $\mu=0,8\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплопроводности воды  $\lambda=0,612 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,

1.4. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый конденсатор для конденсации паров ацетона в установке получения ацетона. В качестве охлаждающей жидкости принять воду.

Исходные данные: температура паров ацетона - 56°C, расход ацетона - 3,1 кг/с, начальная температура воды - 20°C, конечная - 35°C.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Удельная теплота конденсации паров ацетона  $r=522,8 \text{ кДж/кг}$ , температура конденсации паров ацетона - 56°C, коэффициент теплопроводности ацетона  $\lambda=1,05\cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , плотность конденсата ацетона  $\rho=750 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости ацетона  $\mu=0,236\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda=1,163\cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , коэффициент динамической вязкости воды  $\mu=0,8\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , плотность воды  $\rho=993 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплоемкости воды  $c=4180 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

1.5. Рассчитать и подобрать кожухотрубчатый конденсатор для конденсации паров этилового спирта. Охлаждающая жидкость – вода.

Исходные данные: расход этилового спирта  $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ , температура спирта на входе -  $90^\circ\text{C}$ , на выходе -  $25^\circ\text{C}$ ; начальная температура воды -  $20^\circ\text{C}$ , конечная -  $45^\circ\text{C}$ . Давление в межтрубном пространстве -  $0,09 \text{ МПа}$ , в трубном -  $0,2 \text{ МПа}$ . Вода поступает в трубное пространство, этиловый спирт в межтрубное.

Теплофизические характеристики этилового спирта для средних рабочих температур: коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,25 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,8\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплоемкости спирта  $c=3226,3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ; плотность  $\rho=785 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Теплофизические свойства воды приведены в таблице 1.

1.6. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник (нагреватель) для нагрева насыщенного раствора моноэтаноламина (МЭА) обедненным раствором МЭА в производстве диоксида углерода.

Исходные данные: начальная температура насыщенного раствора МЭА -  $40^\circ\text{C}$ , конечная -  $70^\circ\text{C}$ ; начальная температура обедненного раствора МЭА -  $75^\circ\text{C}$ , конечная -  $55^\circ\text{C}$ ; расход насыщенного раствора МЭА  $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ , давление в трубном и

в межтрубном пространствах –  $0,4 \text{ МПа}$ .

Теплофизические характеристики теплоносителей для средних рабочих температур.

Коэффициент теплоемкости насыщенного раствора МЭА  $c=3695 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ , его коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,548 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , плотность  $\rho=980 \text{ кг}/\text{м}^3$ , коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,657\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; удельная теплоемкость обедненного раствора МЭА  $c=3700 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ , плотность  $\rho=956 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,396\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , его коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,574 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ . Коэффициент теплопроводности стали  $\lambda=17,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

1.7. Рассчитать и подобрать нормализованный водоводяной теплообменник «труба в трубе».

Исходные данные: расход греющей воды  $0,6 \text{ кг}/\text{с}$  и она движется по внутренней трубе с начальной температурой –  $95^\circ\text{C}$ ; расход нагреваемой воды  $0,9 \text{ кг}/\text{с}$ , начальная температура составляет  $15^\circ\text{C}$ , конечная –  $45^\circ\text{C}$ .

Теплофизические свойства теплоносителей представлены в табл. 1.

1.8. Провести проектный расчет кожухотрубчатого холодильника для охлаждения азотной кислоты водой.

Исходные данные: расход азотной кислоты  $0,8 \text{ кг}/\text{с}$ , начальная температура кислоты -  $120^\circ\text{C}$ , конечная -  $40^\circ\text{C}$ ; начальная температура воды -  $20^\circ\text{C}$ , конечная -  $40^\circ\text{C}$ . Кислота поступает в трубное пространство с давлением -  $0,1 \text{ МПа}$ , вода поступает в межтрубное пространство с давлением -  $0,5 \text{ МПа}$ .

Теплофизические свойства кислоты: плотность кислоты  $\rho=1391 \text{ кг}/\text{м}^3$ , коэффициент динамической вязкости кислоты  $\mu=0,52\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплоемкости кислоты  $c=3565,7 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ , коэффициент теплопроводности кислоты  $\lambda=0,267 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , коэффициент объемного расширения  $\beta_1=0,0027 \text{ К}^{-1}$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.9. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник «труба в трубе» для нагрева раствора триацетата целлюлозы водой.

Исходные данные: температура раствора на входе -  $28^\circ\text{C}$ , на выходе -  $40^\circ\text{C}$ ; температура воды на входе -  $65^\circ\text{C}$ , на выходе -  $45^\circ\text{C}$ ; объемный расход раствора  $0,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Теплофизические характеристики раствора триацетата целлюлозы при средней рабочей температуре: коэффициент динамической вязкости жидкости  $\mu=50\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , а при температуре стенки  $\mu=18\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,23 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , коэффициент теплоемкости  $c=2100 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ , плотность  $\rho=1280 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.10. Выполнить проектный расчет теплообменника «труба в трубе» для охлаждения воздуха рассолом  $\text{NaCl}$  с содержанием соли  $14,9\%$  (масс.).

Исходные данные: температура воздуха на входе -  $40^\circ\text{C}$ , на выходе -  $5^\circ\text{C}$ ; температура рассола на входе – ( $-5^\circ\text{C}$ ), на выходе -  $4^\circ\text{C}$ ; расход

воздуха 1080 м<sup>3</sup>/ч, воздух подается в межтрубное пространство с давлением - 6,4 МПа.

Теплофизические характеристики рассола NaCl при средней рабочей температуре: коэффициент теплоемкости  $c=3553$  Дж/(кг·К), коэффициент кинематической вязкости  $\nu=5,06 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, плотность  $\rho=1060$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент динамической вязкости  $\mu=2,26 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент динамической вязкости рассола при температуре стенки -  $4,5^{\circ}\text{C}$  составляет  $\mu=2,05 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Теплофизические свойства воздуха: плотность  $\rho=1,205$  кг/м<sup>3</sup> (при  $P=0,1$  МПа); коэффициент теплоемкости  $c=1005$  Дж/(кг·К); коэффициент теплопроводности  $\lambda=2,59 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К); коэффициент кинематической вязкости  $\nu=15,06 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, критерий Прандтля  $Pr=0,703$ .

1.11. Рассчитать и подобрать кожухотрубчатый теплообменник для нагрева воздуха в паровом котле.

Исходные данные и теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Воздух: расход воздуха 21,5 кг/с; температура на входе –  $30^{\circ}\text{C}$ , на выходе –  $260^{\circ}\text{C}$ ; средняя скорость 8 м/с; плотность  $\rho=0,844$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплопроводности  $\lambda=3,52 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К); коэффициент теплоемкости  $c=1,01$  кДж/(кг·К); коэффициент кинематической вязкости  $\nu=28,3 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с; критерий Прандтля  $Pr=0,684$ .

Дымовые газы (13% CO<sub>2</sub>, 11% H<sub>2</sub>O): расход газа 19,6 кг/с и он движется внутри стальных труб со скоростью 14 м/с; температура газов на входе в воздухоподогреватель –  $380^{\circ}\text{C}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=4,54 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К); коэффициент теплоемкости  $c=1,12$  кДж/(кг·К); плотность  $\rho=0,622$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент кинематической вязкости  $\nu=41,2 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с; коэффициент теплопроводности стальных труб  $\lambda=46,5$  Вт/(м·К).

1.12. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник «труба в трубе» для охлаждения воды жидким аммиаком.

Исходные данные: температура аммиака на входе ( $-39^{\circ}\text{C}$ ), на выходе ( $-34^{\circ}\text{C}$ ); температура воды на входе  $50^{\circ}\text{C}$ , на выходе  $30^{\circ}\text{C}$ ; расход аммиака 0,152 кг/с.

Теплофизические свойства аммиака при средней рабочей температуре: плотность  $\rho=544$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплоемкости  $c=4190$  Дж/(кг·К), коэффициент кинематической вязкости  $\nu=0,221 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,022$  Вт/(м·К), критерий Прандтля  $Pr=1,335$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.13. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник «труба в трубе» для нагрева трансформаторного масла водой.

Исходные данные: расход масла 0,6 кг/с, давление масла 0,9 МПа; начальная температура масла -  $20^{\circ}\text{C}$ , конечная -  $60^{\circ}\text{C}$ ; начальная температура воды -  $80^{\circ}\text{C}$ , конечная -  $40^{\circ}\text{C}$ .

Теплофизические свойства трансформаторного масла при средней рабочей температуре: плотность  $\rho=868$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент динамической вязкости  $\mu=89,36 \cdot 10^{-4}$  Па·с, коэффициент теплоемкости  $c=1688$  Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности  $\lambda=10,9 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К).

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.14. Подобрать нормализованный аппарат воздушного охлаждения для охлаждения парогазовой смеси, отходящей с верха атмосферной колонны разделения нефти.

Исходные данные: расход парогазовой смеси (ПГС) 6,8 кг/с; начальная температура ПГС -  $145^{\circ}\text{C}$ , конечная -  $45^{\circ}\text{C}$ ; начальная температура воздуха -  $25^{\circ}\text{C}$ , конечная -  $35^{\circ}\text{C}$ .

Теплофизические характеристики теплоносителей при средней рабочей температуре: плотность ПГС на входе в аппарат  $\rho=3,0$  кг/м<sup>3</sup>, энтальпия ПГС на входе в аппарат  $i=722,6$  кДж/кг; коэффициент теплоемкости воздуха при  $25^{\circ}\text{C}$   $c=1,005$  кДж/(кг·К), а при температуре  $35^{\circ}\text{C}$   $c=1,007$  кДж/(кг·К), коэффициент динамической вязкости ПГС  $\mu=8,6 \cdot 10^{-5}$  Па·с, коэффициент теплопроводности ПГС  $\lambda=0,146$  Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости ПГС  $c=720$  Дж/(кг·К), критерий Прандтля  $Pr=2,64$ . Параметры ПГС на выходе из аппарата представлены в табл.2.

1.15. Произвести проектный расчет аппарата воздушного охлаждения для охлаждения керосинового дистиллята воздухом.

Исходные данные: количество охлаждаемого керосина 25000 кг/ч, начальная температура керосина - 110<sup>0</sup>С, конечная температура керосина - 40<sup>0</sup>; начальная температура воздуха (сухого) - 24<sup>0</sup>С, конечная температура воздуха - 60<sup>0</sup>С.

Теплофизические параметры керосинового дистиллята: относительная плотность  $\rho_{27}^{29} = 0,800$ ; энтальпия при температуре 104<sup>0</sup>С  $t=216$  кДж/кг, а при температуре 42<sup>0</sup>С  $t=82,5$  кДж/кг, коэффициент теплопроводности при средней температуре в аппарате  $\lambda=0,14$  Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости при средней температуре в аппарате  $c=2,18$  кДж/(кг·К), относительная плотность  $\rho_{27}^{29} = 0,770$ , коэффициент кинематической вязкости керосина при средней температуре  $\nu=0,6 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с; критерий Прандтля  $Pr$  при средней температуре  $t=71^0$ С  $Pr=11,24$ , если среднюю температуру стенки со стороны керосина принять таковой.

Сухой воздух: плотность  $\rho=1,128$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплоемкости  $c=1,005$  кДж/(кг·К), коэффициент теплопроводности  $\lambda=2,76 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К), коэффициент кинематической вязкости  $\nu=16,96 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, критерий Прандтля  $Pr=0,699$ .

1.16. Рассчитать и подобрать нормализованный аппарат воздушного охлаждения для конденсации и последующего охлаждения углеводорода.

Исходные данные: расход углеводорода 4,18 кг/с, избыточное давление - 0,06 МПа, конечная температура жидкого углеводорода - 42<sup>0</sup>С. Аппарат устанавливается в средней полосе России. Температура конденсации углеводорода постоянная и при абсолютном давлении 0,16 МПа равна 110<sup>0</sup>С.

Теплофизические свойства конденсата при  $t=110^0$ С: коэффициент динамической вязкости  $\mu_1=3 \cdot 10^{-4}$  Па·с, коэффициент теплопроводности  $\lambda_1=0,13$  Вт/(м·К), удельная теплота конденсации  $r_1=3,19 \cdot 10^4$  Дж/кг, плотность  $\rho_1=760$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент удельной теплоемкости  $c_1=2450$  Дж/(кг·К).

Теплофизические свойства конденсата при средней температуре 72,7<sup>0</sup>С следующие: плотность  $\rho_2=780$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент динамической вязкости  $\mu_2=7,3 \cdot 10^{-4}$  Па·с, коэффициент удельной теплоемкости  $c_2=2154$  Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности  $\lambda_2=0,14$  Вт/(м·К).

Теплофизические свойства воздуха: плотность  $\rho=1,14$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплоемкости  $c_p=1,005$  кДж/(кг·К), коэффициент теплопроводности  $\lambda=2,59 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К), коэффициент кинематической вязкости  $\nu=15,06 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

1.17. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для охлаждения этилового спирта водой.

Исходные данные: расход этилового спирта 2 м<sup>3</sup>/час, температура паров спирта на входе в теплообменник - 90<sup>0</sup>С, на выходе - 25<sup>0</sup>С; температура воды на входе - 20<sup>0</sup>С, на выходе - 45<sup>0</sup>С; давление паров этилового спирта 0,05 МПа; давление воды на входе 0,2 МПа.

Теплофизические свойства этилового спирта при средней рабочей температуре: коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,8 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,25$  Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости  $c=3226,3$  Дж/(кг·К).

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.18. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для нагрева товарной нефти.

Исходные данные: количество нагреваемой нефти 50000 кг/ч входит в аппарат с температурой - 10<sup>0</sup>С; количество товарной нефти 45000 кг/ч входит в аппарат с температурой 100<sup>0</sup>С; температура товарной нефти на выходе из аппарата - 40<sup>0</sup>С.

Теплофизические параметры теплоносителей.

Нагреваемая нефть: коэффициент динамической вязкости  $\mu=1,2 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,61$  Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости  $c=3550$  Дж/(кг·К), плотность  $\rho=930$  кг/м<sup>3</sup>.

Товарная нефть: коэффициент динамической вязкости  $\mu=1,8 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,6$  Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости  $c=3190$  Дж/(кг·К), плотность  $\rho=820$  кг/м<sup>3</sup>.

1.19. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для охлаждения обессоленной (мягкой) воды в производстве форполимера заоложенной водой.

Исходные данные: количество обессоленной воды 12,5 кг/с, температура обессоленной воды на входе в аппарат - 80<sup>0</sup>С, на выходе - 30<sup>0</sup>С;

температура заходящей воды на входе в аппарат -  $5^{\circ}\text{C}$ , на выходе -  $10^{\circ}\text{C}$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.20. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для нагревания насыщенного кислыми компонентами водного раствора моноэтаноламина (МЭА) регенерированным раствором МЭА.

Исходные данные: количество нагреваемого теплоносителя (насыщенный раствор МЭА) 30 кг/с; начальная температура насыщенного раствора -  $52^{\circ}\text{C}$ , конечная -  $90^{\circ}\text{C}$ ; начальная температура горячего теплоносителя -  $120^{\circ}\text{C}$ , конечная -  $80^{\circ}\text{C}$ .

Теплофизические свойства теплоносителей: энтальпия жидкого горячего теплоносителя при  $t=120^{\circ}\text{C}$   $i=513$  кДж/кг, а при  $t=80^{\circ}\text{C}$   $i=338$  кДж/кг; энтальпия нагреваемого теплоносителя (насыщенный раствор) при  $t=90^{\circ}\text{C}$   $i=372$  кДж/кг, а при  $t=52^{\circ}\text{C}$   $i=208$  кДж/кг. Остальные теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре приведены в табл. 3.

1.21. Рассчитать и выбрать нормализованный спиральный теплообменник для охлаждения воды другой технической водой.

Исходные данные: расход охлаждаемой воды 5 кг/с, ее температура на входе в аппарат -  $70^{\circ}\text{C}$ , на выходе -  $40^{\circ}\text{C}$ ; температура воды – охладителя на входе в аппарат -  $25^{\circ}\text{C}$ , на выходе -  $45^{\circ}\text{C}$ ; рабочее давление в аппарате - 0,6 МПа; допустимое гидравлическое сопротивление со стороны охлаждаемой воды 0,1 МПа, со стороны воды – охладителя - 0,2 МПа.

Теплофизические свойства теплоносителей представлены в табл. 1.

1.22. Рассчитать и подобрать спиральный теплообменник для конденсации насыщенного пара водой.

Исходные данные: расход пара 17250 кг/ч; температура насыщенного пара -  $180^{\circ}\text{C}$ ; температура конденсата -  $180^{\circ}\text{C}$ ; температура воды на входе в аппарат  $25^{\circ}\text{C}$ , на выходе  $95^{\circ}\text{C}$ .

Теплофизические свойства теплоносителей: удельная теплота фазового превращения пара  $r=2,02$  МДж/кг, рабочее давление в аппарате - 2 МПа; допустимое гидравлическое сопротивление в аппарате по сто-

роне пара - 0,05 МПа, по стороне воды - 0,15 МПа; плотность водяного пара  $\rho=5,157$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплоемкости пара  $c=2709$  Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности водяного пара  $\lambda=3,27\cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К), коэффициент кинематической вязкости пара  $\nu=2,93\cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, критерий Прандтля  $Pr=1,25$ . Остальные свойства приведены в табл. 1.

1.23. Рассчитать и подобрать нормализованный спиральный теплообменник для охлаждения 20% раствора NaOH водой.

Исходные данные: количество раствора 5 кг/ч; начальная температура раствора  $80^{\circ}\text{C}$ , конечная  $40^{\circ}\text{C}$ ; температура охлаждающей воды на входе  $20^{\circ}\text{C}$ , на выходе  $40^{\circ}\text{C}$ . Движение теплоносителей противоточное.

Теплофизические свойства раствора при средней температуре потоков: коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,536$  Вт/(м·К), плотность  $\rho=1196$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент кинематической вязкости  $\nu=1,563\cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплоемкости  $c=3,963$  кДж/(кг·К), критерий Прандтля  $Pr=10,7$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.24. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник для установки осушки воздуха.

Исходные данные и теплофизические свойства теплоносителей.

Гидравлическое сопротивление теплообменника не должно превышать 50 кПа.

Горячий теплоноситель – воздух: температура на входе -  $65^{\circ}\text{C}$ , на выходе -  $25^{\circ}\text{C}$ , давление на входе - 0,9 МПа, объемный расход (при  $t=20^{\circ}\text{C}$  и  $p=0,1$  МПа) 1200 м<sup>3</sup>/ч, коэффициент теплоемкости 1,005 кДж/(кг·К), коэффициент кинематической вязкости  $13,28\cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплопроводности  $2,44\cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К), критерий Прандтля 0,707.

Холодный теплоноситель – вода: температура начальная -  $20^{\circ}\text{C}$ , давление на входе в аппарат 0,5 МПа, объемный расход воды 0,085 м<sup>3</sup>/мин, плотность 998,2 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент кинематической вязкости  $1,006\cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплопроводности  $60,0\cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости 4,183 кДж/(кг·К), критерий Прандтля  $Pr=7,02$ .

Ориентировочный коэффициент теплопередачи  $K_{op}=60$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

1.25. Выполнить проектный расчет кожухотрубчатого холодильника для охлаждения раствора натриевой щелочи, который подается в трубное пространство теплообменника.

Исходные данные и теплофизические свойства теплоносителей.

Водный 10% раствор щелочи NaOH: объемный расход 20 м<sup>3</sup>/ч, начальная температура - 50<sup>0</sup>С; конечная - 25<sup>0</sup>С, давление в трубном и межтрубном пространствах 0,6 МПа, плотность 1103 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности 0,63 Вт/(м·К), коэффициент динамической вязкости  $1,39 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент удельной теплоемкости 3,3 кДж/(кг·К), критерий Прандтля  $Pr_1=7,3$ .

Вода: начальная температура составляет 20<sup>0</sup>С, конечная - 35<sup>0</sup>С, плотность 995,9 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент динамической вязкости  $0,996 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент теплопроводности 0,61 Вт/(м·К), коэффициент удельной теплоемкости 4,180 кДж/(кг·К), критерий Прандтля  $Pr_2=5,5$ .

Ориентировочный коэффициент теплопередачи  $K_{op}=300$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

1.26. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый конденсатор для охлаждения углеводородов этиленового ряда.

Исходные данные: расход углеводородов 0,8 кг/с; температура на входе в конденсатор (-22<sup>0</sup>С), на выходе (-28<sup>0</sup>С); давление углеводородов – 2,5 МПа. Охлаждающая среда – этан. Температура этана на входе (-43<sup>0</sup>С), на выходе (-30<sup>0</sup>С); давление этана – 1,8 МПа. Углеводороды подаются в межтрубное пространство, а этан – в трубное. Межтрубное пространство разбивается на две зоны: конденсации и охлаждения.

Теплофизические свойства углеводородов: теплота конденсации  $g=301,46$  кДж/кг; энтальпия жидкого конденсата в начале второй зоны  $i=333,99$  кДж/кг; энтальпия конденсата на выходе из аппарата  $i=292,3$  кДж/кг; коэффициент теплоемкости этана  $c=3,3$  кДж/(кг·К); ориентировочный коэффициент теплопередачи 100 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Теплофизические свойства конденсата: для I зоны: плотность 435 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости 3,3 кДж/(кг·К); коэффициент динамической вязкости  $70 \cdot 10^{-6}$  Па·с; коэффициент теплопроводности  $11,3 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К); для II зоны: плотность 630 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости 3,24 кДж/(кг·К); коэффициент теплопроводности  $13,8 \cdot 10^{-2}$

Вт/(м·К); коэффициент динамической вязкости  $56,7 \cdot 10^{-6}$  Па·с; скорость движения 0,04 м/с.

Теплофизические свойства этана: плотность 580 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости 3,26 кДж/(кг·К); коэффициент теплопроводности  $13,3 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К); коэффициент динамической вязкости  $5 \cdot 10^{-6}$  Па·с; критерий Прандтля  $Pr=1,18$ .

1.27. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый испаритель для нагрева смеси углеводородов керосином газодиффузионной установки.

Исходные данные: расход смеси углеводородов 80000 кг/ч, которая подается в межтрубное пространство с давлением - 2,4 МПа; начальная температура углеводородов 98<sup>0</sup>С, конечная температура (температура кипения) углеводородов - 104,5<sup>0</sup>С; начальная температура керосина - 280<sup>0</sup>С, конечная - 150<sup>0</sup>С, керосин подается в трубное пространство с давлением - 2,9 МПа.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Смесь углеводородов: теплота парообразования  $78,71 \cdot 10^3$  Дж/кг, коэффициент теплоемкости  $1,415 \cdot 10^3$  Дж/(кг·<sup>0</sup>С), плотность углеводородов 407,71 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент динамической вязкости углеводородов  $0,057 \cdot 10^{-3}$  Па·с, плотность пара 74,5 кг/м<sup>3</sup>, поверхностное натяжение углеводородов  $1,51 \cdot 10^{-3}$  Н/м, коэффициент теплопроводности углеводородов 0,074945 Вт/(м·К), температура кипения углеводородов 377,43 К.

Керосин: коэффициент теплоемкости 2863,91 Дж/(кг·<sup>0</sup>С); плотность 690 кг/м<sup>3</sup>, ориентировочный коэффициент теплопередачи  $K_{op} = 400$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), коэффициент динамической вязкости  $0,260 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент теплопроводности 0,0893 Вт/(м·К).

Коэффициент теплопроводности углеродистой стали 46,5 Вт/(м·К).

1.28. Рассчитать и подобрать нормализованный аппарат воздушного охлаждения для охлаждения легких углеводородов.

Исходные данные: количество охлаждаемой углеводородной фракции 20 кг/с; начальная температура углеводородов - 160<sup>0</sup>С, конечная -

120<sup>0</sup>С; начальная температура воздуха - 25<sup>0</sup>С, конечная - 50<sup>0</sup>С; давление в трубном пространстве - 0,4 МПа.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней температуре. Углеводородная фракция: плотность 700 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент кинематической вязкости 0,9·10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплопроводности 0,133 Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости 2,45·10<sup>3</sup> Дж/(кг·К); энтальпия при 158<sup>0</sup>С составляет 370·10<sup>3</sup> Дж/кг, а при 120<sup>0</sup>С - 220·10<sup>3</sup> Дж/кг. Воздух: плотность 1,13 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности 2,7·10<sup>-2</sup> Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости 1,005 кДж/(кг·К), коэффициент кинематической вязкости 15,51·10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с.

1.29. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для нагрева жирных кислот водяным паром. Определить гидравлическое сопротивление аппарата.

Исходные данные: температура пара равна 160<sup>0</sup>С; давление пара - 0,5 МПа; расход жирных кислот 0,23 кг/с; начальная температура кислот 30<sup>0</sup>С, конечная 120<sup>0</sup>С.

Теплофизические свойства теплоносителей.

Теплота парообразования  $r=2095$  кДж/кг, коэффициент теплопроводности на линии насыщения 68,3·10<sup>-2</sup> Вт/(м·К); плотность воды на линии насыщения 907,4 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент динамической вязкости воды на линии насыщения 0,177·10<sup>-3</sup> Па·с; плотность кислот 920 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности кислоты 0,15 Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости 2,304 кДж/(кг·К), коэффициент динамической вязкости кислоты 0,250·10<sup>-3</sup> Па·с, критерий Прандтля  $Pr=1,11$ ; ориентировочное значение коэффициента теплопередачи 120 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

1.30. Рассчитать и подобрать нормализованный спиральный теплообменник для охлаждения раствора хлористого кальция водой. Произвести гидравлический расчет.

Исходные данные: расход 25% раствора хлористого кальция 15000 кг/ч; начальная температура раствора составляет 100<sup>0</sup>С, конечная - 30<sup>0</sup>С; начальная температура воды равна 20<sup>0</sup>С, конечная - 40<sup>0</sup>С, давление воды - 0,15 МПа.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Раствор хлористого кальция: плотность 1240 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент динамической вязкости 5,9·10<sup>-3</sup> Па·с; коэффициент теплоемкости 3060 Дж/(кг·К); коэффициент теплопроводности 0,6 Вт/(м·К), критерий Прандтля  $Pr=30$ .

Вода: плотность 995,2 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплопроводности 0,62 Вт/(м·К), коэффициент динамической вязкости 0,8·10<sup>-3</sup> Па·с; коэффициент удельной теплоемкости 4180 Дж/(кг·К); критерий Прандтля  $Pr=5,4$ .

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи 300 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

1.31. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник для нагревания толуола с помощью насыщенного водяного пара.

Исходные данные: расход толуола 7 кг/с; начальная температура толуола равна 20<sup>0</sup>С, конечная - 98<sup>0</sup>С; абсолютное давление насыщенного водяного пара - 0,15 МПа с содержанием воздуха 0,5%, скорость движения толуола по трубам - 0,3 м/с.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Толуол: плотность 820 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности 0,125 Вт/(м·К), коэффициент динамической вязкости 0,36·10<sup>-3</sup> Па·с; коэффициент удельной теплоемкости 1800 Дж/(кг·К); критерий Прандтля  $Pr=5,2$ .

Водяной пар: плотность 0,892 кг/м<sup>3</sup>; температура конденсации - 112,7<sup>0</sup>С; коэффициент теплоемкости 1,8 кДж/(кг·К); удельная теплота конденсации  $r=2227$  кДж/кг; коэффициент, учитывающий наличие 0,6% воздуха в паре; степень черноты  $\epsilon=0,6$ .

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи 120 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

1.32. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник для охлаждения азота водой.

Исходные данные: расход азота 1250 м<sup>3</sup>/ч, который поступает в межтрубное пространство при температуре 80<sup>0</sup>С под абсолютным давлением 2 МПа и охлаждается до температуры 30<sup>0</sup>С; начальная температура воды 15<sup>0</sup>С, конечная 25<sup>0</sup>С.

Теплофизические свойства азота при средней рабочей температуре: плотность  $20,8 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплопроводности  $2,67 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент теплоемкости  $1050 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент динамической вязкости  $0,019 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

Теплофизические свойства воды представлены в табл. 1.

1.33. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый конденсатор (дефлегматор) смеси паров органической жидкости и паров воды.

Исходные данные: расход пара  $1,2 \text{ кг/с}$ ; начальная температура воды  $18^\circ\text{C}$ , конечная  $40^\circ\text{C}$ ; температура конденсации –  $66^\circ\text{C}$ .

Теплофизические свойства конденсата при температуре конденсации: теплота конденсации  $1180 \text{ кДж/кг}$ ; коэффициент теплопроводности  $0,219 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент динамической вязкости  $446 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотность  $757 \text{ кг/м}^3$ .

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи составляет  $600 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.34. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для подогрева коррозионноактивной органической жидкости.

Исходные данные: расход жидкости  $3 \text{ кг/с}$ ; начальная температура составляет  $20^\circ\text{C}$ , конечная –  $80^\circ\text{C}$ ; давление насыщенного водяного пара равно  $0,6 \text{ МПа}$ ; температура конденсации водяного пара  $160^\circ\text{C}$ .

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Органическая жидкость: плотность  $900 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $536 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности  $0,458 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент теплоемкости  $3730 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; критерий Прандтля  $Pr=4,35$ .

Конденсат: плотность  $908 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплопроводности  $0,683 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент динамической вязкости  $177 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; удельная теплота парообразования  $2095 \text{ кДж/кг}$ ; критерий Прандтля  $Pr=1,11$ .

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи составляет  $1500 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

1.35. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник для охлаждения диэтилового эфира рассолом из холодильной установки.

Исходные данные: расход эфира  $1,5 \text{ кг/с}$ ; начальная температура эфира –  $35^\circ\text{C}$ , конечная –  $5^\circ\text{C}$ ; температура рассола на входе –  $(-6^\circ\text{C})$ .

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Эфир: плотность  $716 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплоемкости  $2,15 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент динамической вязкости  $0,249 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности  $0,133 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; критерий Прандтля  $Pr=4,0$ .

Рассол (20%-ный раствор NaCl): плотность  $1150 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплоемкости  $3,4 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент динамической вязкости  $3,23 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности  $0,529 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; критерий Прандтля  $Pr=20,7$ .

1.36. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник для охлаждения воды другой технической водой. Исходные данные: расходы греющей и нагреваемой воды  $36 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; температура греющей воды изменяется от  $68^\circ\text{C}$  до  $47^\circ\text{C}$ ; начальная температура нагреваемой воды равна  $25^\circ\text{C}$ . Избыточное давление составляет  $0,15 \text{ МПа}$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.37. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник для нагрева в трубном пространстве метилового спирта (100%).

Исходные данные: расход спирта  $25 \text{ кг/с}$ ; его скорость в трубах равна  $0,75 \text{ м/с}$ ; температура на входе составляет  $15^\circ\text{C}$ , на выходе –  $40^\circ\text{C}$ ; температура воды на входе  $90^\circ\text{C}$ , охлаждается до  $40^\circ\text{C}$  и движется со скоростью  $0,75 \text{ м/с}$ .

Теплофизические свойства метилового спирта: плотность  $785 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплоемкости  $2,52 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент динамической вязкости  $0,53 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; критерий Прандтля  $Pr=6,3$ .

Теплофизические свойства воды: суммарная тепловая проводимость обоих загрязнений стенок  $1700 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ; коэффициент теплоотдачи от воды к стенке  $840 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ; остальные свойства воды представлены в табл. 1.

1.38. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник для охлаждения диэтилового эфира рассолом, поступающим из холодильника.

Исходные данные: расход рассола 10 кг/с; давления эфира и рассола 0,3 МПа; рассол нагревается от (-15<sup>0</sup>С) до (-12<sup>0</sup>С); начальная температура эфира 25<sup>0</sup>С, конечная (-10<sup>0</sup>С); скорость движения рассола по трубам составляет 1,8 м/с.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Рассол (25% раствор СаСl): плотность 1220 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент динамической вязкости 7,165·10<sup>-3</sup> Па·с; коэффициент теплопроводности 0,473 Вт/(м·К); коэффициент удельной теплоемкости 2,9 кДж/(кг·К); критерий Прандтля Pr=44.

Диэтиловый эфир: плотность 733 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент динамической вязкости 0,28·10<sup>-3</sup> Па·с; коэффициент теплопроводности 0,136 Вт/(м·К); коэффициент теплоемкости с=2,4 кДж/(кг·К); критерий Прандтля Pr=4,4.

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи K<sub>op</sub>=400 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

1.39. Рассчитать и подобрать спиральный теплообменник для подогрева раствора щелочи конденсатом водяного пара.

Исходные данные: расход щелочи 6 кг/с; начальная температура щелочи 50<sup>0</sup>С, конечная 85<sup>0</sup>С. Количество нагреваемого агента (конденсат водяного пара) 5кг/с, его начальная температура равна 95<sup>0</sup>С.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Конденсат: плотность ρ=977 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости с=4180 Дж/(кг·К), коэффициент динамической вязкости μ=0,373·10<sup>-3</sup> Па·с; коэффициент теплопроводности λ=67·10<sup>-2</sup> Вт/(м·К).

Щелочь (10%-ный раствор NaOH): плотность ρ=1110 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент динамической вязкости μ=0,715·10<sup>-3</sup> Па·с; коэффициент теплопроводности λ=57,8·10<sup>-2</sup> Вт/(м·К); коэффициент теплоемкости с=3860 Дж/(кг·К).

1.40. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник для охлаждения метилового спирта водой.

Исходные данные: расход спирта 3 кг/с; начальная температура спирта 60<sup>0</sup>С, конечная 30<sup>0</sup>С; расход воды 7,8 кг/с, начальная температура воды равна 25<sup>0</sup>С. Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Метиловый спирт: плотность ρ=800 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент динамической вязкости μ=0,61·10<sup>-3</sup> Па·с; коэффициент теплоемкости с=2680 Дж/(кг·К); коэффициент теплопроводности λ=0,21 Вт/(м·К).

1.41. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник (кипятильник), присоединенный к кубу ректификационной колонны, для испарения толуола.

Исходные данные: расход толуола 3500 кг/ч; избыточное давление 0,05 МПа; при абсолютном давлении паров толуола 0,15 МПа температура кипения толуола в трубном пространстве - 123<sup>0</sup>С, теплота парообразования г=354,5 кДж/кг; при температуре конденсирующего пара 138<sup>0</sup>С его давление равно 0,35 МПа; теплота конденсации пара г=2160 кДж/кг; плотность пленки конденсата ρ=928 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент динамической вязкости конденсата μ=0,2·10<sup>-3</sup> Па·с; коэффициент теплопроводности конденсата λ=0,685 Вт/(м·К); удельная теплота испарения толуола г=3,5·10<sup>5</sup> Дж/кг.

1.42. Рассчитать и подобрать нормализованный спиральный теплообменник для охлаждения раствора хлористого кальция водой.

Исходные данные: расход раствора 4,2 кг/с; начальная температура раствора равна 100<sup>0</sup>С, конечная – 30<sup>0</sup>С; начальная температура воды составляет 20<sup>0</sup>С, конечная – 40<sup>0</sup>С.

Теплофизические свойства раствора (25% СаСl) при средней рабочей температуре: плотность ρ=1240 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент динамической вязкости μ=5,9·10<sup>-3</sup> Па·с; коэффициент теплоемкости с=3060 Дж/(кг·К); критерий Прандтля Pr=30; коэффициент теплопроводности λ=0,6 Вт/(м·К).

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.43. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для охлаждения водного раствора лимонной кислоты водой.

Исходные данные: расход раствора  $8,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; температура раствора на входе  $80^\circ\text{C}$ , на выходе  $30^\circ\text{C}$ ; допустимое сопротивление теплообменника по обоим потокам  $0,40 \text{ МПа}$ .

Теплофизические свойства раствора кислоты при средней рабочей температуре: плотность  $\rho=1100 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=7 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплоемкости  $c=3560 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,68 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи  $K_{\text{оп}}=500 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$ .

1.44. Рассчитать и подобрать стандартный аппарат воздушного охлаждения для конденсации и последующего охлаждения углеводорода.

Исходные данные: расход углеводорода  $3,8 \text{ кг}/\text{с}$ ; избыточное давление  $0,06 \text{ МПа}$ ; конечная температура жидкого углеводорода равна  $45^\circ\text{C}$ .

Температура воздуха на выходе из теплообменника  $60^\circ\text{C}$ . По всей длине зоны конденсации температура постоянна и в соответствии с абсолютным давлением  $0,16 \text{ МПа}$  равна  $110^\circ\text{C}$ .

Теплофизические свойства конденсата в зоне конденсации: плотность  $\rho=760 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=3 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,13 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ ; коэффициент теплоемкости  $c=2450 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ ; теплота конденсации  $r=3,19 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$ .

Теплофизические свойства конденсата в зоне охлаждения при средней температуре: плотность  $\rho=780 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=7,3 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплоемкости  $c=2150 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,14 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ .

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи  $K_{\text{оп}}=200 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$ .

1.45. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник для охлаждения толуола водой.

Исходные данные: расход толуола  $12,5 \text{ кг}/\text{с}$ ; температура толуола на входе в аппарат равна  $105^\circ\text{C}$ , на выходе –  $40^\circ\text{C}$ ; начальная температура воды  $25^\circ\text{C}$ , конечная  $35^\circ\text{C}$ .

Теплофизические свойства толуола при средней температуре: плотность  $\rho=821 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; коэффициент теплоемкости  $c=1780 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,35 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи  $K_{\text{оп}}=300 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$ .

1.46. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменный аппарат типа «труба в трубе» для нагревания нефти дистиллятом дизельного топлива.

Исходные данные: расход дизельного топлива  $16000 \text{ кг}/\text{ч}$ , его начальная температура  $265^\circ\text{C}$ , конечная  $160^\circ\text{C}$ ; расход нефти  $80000 \text{ кг}/\text{ч}$ , температура нефти на входе в аппарат равна  $120^\circ\text{C}$ .

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Дистиллят дизельного топлива: плотность  $\rho=696 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; коэффициент кинематической вязкости  $\nu=1,05 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,123 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ ; коэффициент теплоемкости  $c=2,64 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ .

Нефть: плотность  $\rho=784 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; коэффициент теплоемкости  $c=2,282 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,125 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ ; коэффициент кинематической вязкости  $\nu=1,43 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

1.47. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый испаритель для нагрева кубовой жидкости ректификационной колонны для выделения пропиленовой фракции водяным паром смеси.

Исходные данные: давление в трубном пространстве (кубовой смеси) равно  $1,3 \text{ МПа}$ , в межтрубном (пара) –  $0,5 \text{ МПа}$ ; расход кубовой жидкости  $5 \text{ кг}/\text{с}$ ; начальная температура кубовой жидкости составляет  $60^\circ\text{C}$ , а конечная –  $120^\circ\text{C}$ . Начальная температура пара равна  $130^\circ\text{C}$ .

Теплофизические характеристики теплоносителей при средней рабочей температуре.

Кубовая жидкость: плотность  $\rho=986 \text{ кг}/\text{м}^3$ , температура кипения  $120^\circ\text{C}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,123 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=9,7 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплоемко-

сти  $c=1923$  Дж/(кг·К), теплота парообразования  $r=137,652$  кДж/кг, энтальпия  $i=558,9 \cdot 10^3$  Дж/кг.

Пар: плотность  $\rho=1,49$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости  $c=2206$  Дж/(кг·К); коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,026$  Вт/(м·К); энтальпия  $i=2730 \cdot 10^3$  Дж/кг.

1.48. Провести проектный расчет кожухотрубчатого холодильника для охлаждения водой коррозионноактивного кубового остатка ректификационной колонны.

Исходные данные: начальная температура воды равна 20<sup>0</sup>С, а конечная - 40<sup>0</sup>С. Расход кубового остатка 4 кг/с с начальной температурой 105,5<sup>0</sup>С и конечной 30<sup>0</sup>С. Кубовый остаток, как коррозионноактивный, направляется в трубное пространство, а вода – в межтрубное. Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Кубовый остаток: коэффициент теплоемкости  $c=4190$  Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,622$  Вт/(м·К), плотность  $\rho=986$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,54 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент объемного расширения  $\beta_1=48 \cdot 10^{-5}$  К<sup>-1</sup>.

Вода: коэффициент теплоемкости  $c=4180$  Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,618$  Вт/(м·К), коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,804 \cdot 10^{-3}$  Па·с, плотность  $\rho=996$  кг/м<sup>3</sup>.

1.49. Провести проектный расчет конденсатора для конденсации паров диэтиленгликоля (ДЭГ). Охлаждение осуществляется технической водой, которая подается в трубное пространство.

Исходные данные: расход паров ДЭГ на входе в конденсатор 1,5 кг/ч; начальная температура воды - 20<sup>0</sup>С, а конечная - 35<sup>0</sup>С; начальная температура ДЭГа - 140<sup>0</sup>С. Давление в трубном пространстве равно 0,2 МПа, а в межтрубном - 1,5 МПа.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

ДЭГ: плотность  $\rho=986$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,45 \cdot 10^{-3}$  Па·с, удельная теплота конденсации  $r=754,2$  кДж/кг; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,163$  Вт/(м·К).

Вода: плотность воды  $\rho=996$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости  $c=4180$  Дж/(кг·К); коэффициент динамической вязкости воды  $\mu=0,8 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент теплопроводности воды  $\lambda=0,612$  Вт/(м·К),

1.50. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый конденсатор для конденсации паров ацетона в установке получения ацетона. В качестве охлаждающей жидкости принять воду.

Исходные данные: температура паров ацетона равна 56<sup>0</sup>С, расход ацетона составляет 5,2 кг/с, начальная температура воды равна 20<sup>0</sup>С, конечная - 35<sup>0</sup>С.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Удельная теплота конденсации паров ацетона  $r=522,8$  кДж/кг, температура конденсации паров ацетона 56<sup>0</sup>С, коэффициент теплопроводности ацетона  $\lambda=1,05 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К), плотность конденсата ацетона  $\rho=750$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент динамической вязкости ацетона  $\mu=0,236 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент теплопроводности  $\lambda=1,163 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К), коэффициент динамической вязкости воды  $\mu=0,8 \cdot 10^{-3}$  Па·с, плотность воды  $\rho=993$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплоемкости воды  $c=4180$  Дж/(кг·К).

1.51. Рассчитать и подобрать кожухотрубчатый конденсатор для конденсации паров этилового спирта. В качестве охлаждающей жидкости принять воду.

Исходные данные: расход этилового спирта 2,6 м<sup>3</sup>/ч, температура спирта на входе 90<sup>0</sup>С, на выходе 25<sup>0</sup>С; начальная температура воды равна 20<sup>0</sup>С, конечная - 45<sup>0</sup>С. Давление в межтрубном пространстве 0,09 МПа, а в трубном - 0,3 МПа. Вода поступает в трубное пространство, а этиловый спирт - в межтрубное. Теплофизические характеристики этилового спирта для средних рабочих температур: коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,25$  Вт/(м·К), коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,8 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент теплоемкости спирта  $c=3226,3$  Дж/(кг·К); плотность  $\rho=785$  кг/м<sup>3</sup>.

Теплофизические свойства воды проведены в табл. 1.

1.52. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник (нагреватель) для нагрева насыщенного раствора моно-

этанолamina (МЭА) обедненным раствором МЭА в производстве диоксида углерода.

Исходные данные: начальная температура насыщенного раствора МЭА равна 40<sup>0</sup>С, конечная - 70<sup>0</sup>С; начальная температура обедненного раствора МЭА - 75<sup>0</sup>С, конечная - 55<sup>0</sup>С; расход насыщенного раствора МЭА 20 м<sup>3</sup>/ч, давление в трубном и межтрубном пространствах равны 0,2 МПа.

Теплофизические характеристики теплоносителей для средних рабочих температур.

Коэффициент теплоемкости насыщенного раствора МЭА  $c=3695$  Дж/(кг·К), его коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,548$  Вт/(м·К), плотность  $\rho=980$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,657 \cdot 10^{-3}$  Па·с; удельная теплоемкость обедненного раствора МЭА  $c=3700$  Дж/(кг·К), плотность  $\rho=956$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,396 \cdot 10^{-3}$  Па·с, его коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,574$  Вт/(м·К). Коэффициент теплопроводности стали  $\lambda=17,5$  Вт/(м·К).

1.53. Рассчитать и подобрать нормализованный водоводяной теплообменник «труба в трубе».

Исходные данные: расход греющей воды 1,6 кг/с и она движется по внутренней трубе с начальной температурой 95<sup>0</sup>С; расход нагреваемой воды 1,9 кг/с, начальная температура равна 15<sup>0</sup>С, конечная - 45<sup>0</sup>С.

Теплофизические свойства теплоносителей представлены в табл.1.

1.54. Провести проектный расчет кожухотрубчатого холодильника для охлаждения азотной кислоты водой.

Исходные данные: расход азотной кислоты 1,6 кг/с, начальная температура кислоты равна 120<sup>0</sup>С, конечная - 40<sup>0</sup>С; начальная температура воды 20<sup>0</sup>С, конечная 40<sup>0</sup>С. Кислота поступает в трубное пространство с давлением 0,2 МПа, вода поступает в межтрубное пространство с давлением 0,4 МПа.

Теплофизические свойства кислоты: плотность кислоты  $\rho=1391$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент динамической вязкости кислоты  $\mu=0,52 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент теплоемкости кислоты  $c=3565,7$  Дж/(кг·К), коэффициент те-

плопроводности кислоты  $\lambda=0,267$  Вт/(м·К), коэффициент объемного расширения  $\beta_1=0,0027$  К<sup>-1</sup>.

Теплофизические свойства воды приведены в табл.1.

1.55. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник «труба в трубе» для нагрева раствора триацетата целлюлозы водой.

Исходные данные: температура раствора на входе равна 28<sup>0</sup>С, на выходе - 40<sup>0</sup>С; температура воды на входе 65<sup>0</sup>С, на выходе 45<sup>0</sup>С; объемный расход раствора 1,9 м<sup>3</sup>/ч.

Теплофизические характеристики раствора триацетата целлюлозы при средней рабочей температуре: коэффициент динамической вязкости  $\mu=50 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент динамической вязкости жидкости при температуре стенки  $\mu=18 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,23$  Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости  $c=2100$  Дж/(кг·К), плотность  $\rho=1280$  кг/м<sup>3</sup>.

Теплофизические свойства воды приведены в табл.1.

1.56. Выполнить проектный расчет теплообменника «труба в трубе» для охлаждения воздуха рассолом NaCl с содержанием соли 14,9% (масс.).

Исходные данные: температура воздуха на входе равна 40<sup>0</sup>С, на выходе 5<sup>0</sup>С; температура рассола на входе - (-5<sup>0</sup>С), на выходе 4<sup>0</sup>С; расход воздуха 2420 м<sup>3</sup>/ч, воздух подается в межтрубное пространство с давлением 6,4 МПа.

Теплофизические характеристики рассола NaCl при средней рабочей температуре: коэффициент теплоемкости  $c=3553$  Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,54$  Вт/(м·К), плотность  $\rho=1060$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент динамической вязкости  $\mu=2,26 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент динамической вязкости рассола при температуре стенки 4,5<sup>0</sup>С составляет  $\mu=2,05 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

Теплофизические свойства воздуха: плотность  $\rho=1,205$  кг/м<sup>3</sup> (при 20<sup>0</sup>С и давлении 0,1МПа); коэффициент теплоемкости  $c=1005$  Дж/(кг·К); коэффициент теплопроводности  $\lambda=2,59 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К); коэффициент кинематической вязкости  $\nu=15,06 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, критерий Прандтля  $Pr=0,703$ .

1.57. Рассчитать и подобрать кожухотрубчатый теплообменник для нагрева воздуха в паровом котле.

Исходные данные и теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Воздух: расход воздуха 37,6 кг/с; температура на входе равна 30<sup>0</sup>С, на выходе – 260<sup>0</sup>С; средняя скорость 8 м/с; плотность  $\rho=0,844$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплопроводности  $\lambda=3,52 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К); коэффициент теплоемкости  $c=1,01$  кДж/(кг·К); коэффициент кинематической вязкости  $\nu=28,3 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с; критерий Прандтля  $Pr=0,684$ .

Дымовые газы (13% СО<sub>2</sub>, 11% Н<sub>2</sub>О): расход газа 24,8 кг/с и он движется внутри стальных труб со скоростью 14 м/с; температура газов на входе в воздухоподогреватель 380<sup>0</sup>С; коэффициент теплопроводности  $\lambda=4,54 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К); коэффициент теплоемкости  $c=1,12$  кДж/(кг·К); плотность  $\rho=0,622$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент кинематической вязкости  $\nu=41,2 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с; коэффициент теплопроводности стальных труб  $\lambda=46,5$  Вт/(м·К).

1.58. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник «труба в трубе» для охлаждения воды жидким аммиаком.

Исходные данные: температура аммиака на входе (-38<sup>0</sup>С), на выходе (-34<sup>0</sup>С); температура воды на входе равна 40<sup>0</sup>С, на выходе - 10<sup>0</sup>С; расход аммиака 0,369 кг/с.

Теплофизические свойства аммиака при средней рабочей температуре: плотность  $\rho=684$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплоемкости  $c=4810$  Дж/(кг·К), коэффициент кинематической вязкости  $\nu=0,221 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,022$  Вт/(м·К), критерий Прандтля  $Pr=1,335$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.59. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник «труба в трубе» для нагрева трансформаторного масла водой.

Исходные данные: расход масла 1,4 кг/с, давление масла 1,6 МПа; начальная температура масла равна 20<sup>0</sup>С, конечная - 60<sup>0</sup>С; начальная температура воды - 80<sup>0</sup>С, конечная - 40<sup>0</sup>С.

Теплофизические свойства трансформаторного масла при средней рабочей температуре: плотность  $\rho=868$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент динамиче-

ской вязкости  $\mu=89,36 \cdot 10^{-4}$  Па·с, коэффициент теплоемкости  $c=1688$  Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности  $\lambda=10,9 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К).

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.60. Подобрать нормализованный аппарат воздушного охлаждения для охлаждения парогазовой смеси, отходящей с верха атмосферной колонны разделения нефти.

Исходные данные: расход парогазовой смеси (ПГС) 9,3 кг/с; начальная температура ПГС равна 145<sup>0</sup>С, а конечная - 45<sup>0</sup>С; начальная температура воздуха - 25<sup>0</sup>С, конечная - 35<sup>0</sup>С.

Теплофизические характеристики теплоносителей при средней рабочей температуре: плотность ПГС на входе в аппарат  $\rho=3,0$

кг/м<sup>3</sup>, энтальпия ПГС на входе в аппарат  $i=722,6$  кДж/кг; коэффициент теплоемкости воздуха при 25<sup>0</sup>С  $c=1,005$  кДж/(кг·К), а при температуре 35<sup>0</sup>С  $c=1,007$  кДж/(кг·К), коэффициент динамической вязкости ПГС  $\mu=8,6 \cdot 10^{-5}$  Па·с, коэффициент теплопроводности ПГС  $\lambda=0,146$  Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости ПГС  $c=720$  Дж/(кг·К), критерий Прандтля  $Pr=2,64$ . Параметры ПГС на выходе из аппарата представлены в табл.2.

1.61. Произвести проектный расчет аппарата воздушного охлаждения для охлаждения керосинового дистиллята воздухом.

Исходные данные: количество охлаждаемого керосина 27400 кг/ч, начальная температура керосина равна 110<sup>0</sup>С, конечная температура керосина - 40<sup>0</sup>; начальная температура воздуха (сухого) - 24<sup>0</sup>С, конечная температура воздуха - 60<sup>0</sup>С.

Теплофизические параметры керосинового дистиллята: относительная плотность  $\rho_{27}^{29,3}=0,800$ ; энтальпия при температуре 104<sup>0</sup>С  $i=216$  кДж/кг, а при температуре 42<sup>0</sup>С  $i=82,5$  кДж/кг, коэффициент теплопроводности при средней температуре в аппарате  $\lambda=0,14$  Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости при средней температуре в аппарате  $c=2,18$  кДж/(кг·К), относительная плотность  $\rho_{27}^{29,3}=0,770$ , коэффициент кинематической вязкости керосина при средней температуре  $\nu=0,6 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с; критерий Прандтля  $Pr=11,24$  при средней температуре  $t=71^0$ С, если среднюю температуру стенки со стороны керосина принять таковой.

Сухой воздух: плотность  $\rho=1,128 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплоемкости  $c=1,005 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda=2,76\cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , коэффициент кинематической вязкости  $\nu=16,96\cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , критерий Прандтля  $Pr=0,699$ .

1.62. Рассчитать и подобрать нормализованный аппарат воздушного охлаждения для конденсации и последующего охлаждения углеводорода.

Исходные данные: расход углеводорода  $6,27 \text{ кг/с}$ , избыточное давление равно  $0,08 \text{ МПа}$ , конечная температура жидкого углеводорода  $42^\circ\text{С}$ . Аппарат устанавливается в средней полосе России. Температура конденсации углеводорода постоянная и при абсолютном давлении  $0,16 \text{ МПа}$  равна  $110^\circ\text{С}$ .

Теплофизические свойства конденсата при  $t=110^\circ\text{С}$ : коэффициент динамической вязкости  $\mu_1=0,3\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda_1=0,13 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , удельная теплота конденсации  $\gamma_1=3,19\cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$ , плотность  $\rho_1=760 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент удельной теплоемкости  $c_1=2450 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

Теплофизические свойства конденсата при средней температуре  $72,7^\circ\text{С}$  следующие: плотность  $\rho_2=780 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент динамической вязкости  $\mu_2=7,3\cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , коэффициент удельной теплоемкости  $c_2=2154 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda_2=0,14 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

Теплофизические свойства воздуха: плотность  $\rho=1,205 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплоемкости  $c_p=1,005 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda=2,59\cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , коэффициент кинематической вязкости  $\nu=15,06\cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

1.63. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для охлаждения этилового спирта водой.

Исходные данные: расход этилового спирта  $4,6 \text{ м}^3/\text{час}$ , температура паров спирта на входе в теплообменник равна  $90^\circ\text{С}$ , на выходе -  $25^\circ\text{С}$ ; температура воды на входе  $20^\circ\text{С}$ , на выходе  $45^\circ\text{С}$ ; давление паров этилового спирта  $0,05 \text{ МПа}$ ; давление воды на входе  $0,3 \text{ МПа}$ .

Теплофизические свойства этилового спирта при средней рабочей температуре: коэффициент динамической вязкости  $\mu=8\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , ко-

эффициент теплопроводности  $\lambda=0,25 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , коэффициент теплоемкости  $c=3226,3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.64. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для нагрева товарной нефти.

Исходные данные: нагреваемая нефть в количестве  $54000 \text{ кг/ч}$  входит в аппарат с температурой  $10^\circ\text{С}$ ; количество товарной нефти  $47000 \text{ кг/ч}$ , входит в аппарат с температурой  $100^\circ\text{С}$ ; температура товарной нефти на выходе из аппарата  $40^\circ\text{С}$ .

Теплофизические параметры теплоносителей.

Нагреваемая нефть: коэффициент динамической вязкости  $\mu=1,2\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,61 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , коэффициент теплоемкости  $c=3550 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , плотность  $\rho=930 \text{ кг/м}^3$ .

Товарная нефть: коэффициент динамической вязкости  $\mu=1,8\cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , коэффициент теплоемкости  $c=3190 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , плотность  $\rho=820 \text{ кг/м}^3$ .

1.65. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для охлаждения обессоленной (мягкой) воды в производстве форполимера захлажденной водой.

Исходные данные: количество обессоленной воды  $16,2 \text{ кг/с}$ , температура обессоленной воды на входе в аппарат равна  $80^\circ\text{С}$ , на выходе  $30^\circ\text{С}$ ; температура захлажденной воды на входе в аппарат  $5^\circ\text{С}$ , на выходе  $10^\circ\text{С}$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл.1.

1.66. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для нагревания насыщенного кислыми компонентами водного раствора моноэтаноламина (МЭА) регенерированным раствором МЭА.

Исходные данные: количество нагреваемого теплоносителя (насыщенный раствор МЭА)  $36 \text{ кг/с}$ ; начальная температура насыщенного раствора равна  $52^\circ\text{С}$ , конечная  $90^\circ\text{С}$ ; начальная температура горячего теплоносителя  $120^\circ\text{С}$ , конечная  $80^\circ\text{С}$ .

Теплофизические свойства теплоносителей: энтальпия жидкого горячего теплоносителя при  $t=120^\circ\text{С}$   $i=513 \text{ кДж/кг}$ , а при  $t=80^\circ\text{С}$   $i=338$

кДж/кг; энтальпия нагреваемого теплоносителя (насыщенный раствор) при  $t=90^{\circ}\text{C}$   $i=372$  кДж/кг, а при  $t=52^{\circ}\text{C}$   $i=208$  кДж/кг. Остальные теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре приведены в табл. 3.

1.67. Рассчитать и выбрать нормализованный спиральный теплообменник для охлаждения воды другой технической водой.

Исходные данные: расход охлаждаемой воды равен 9 кг/с, ее температура на входе в аппарат  $70^{\circ}\text{C}$ , на выходе  $40^{\circ}\text{C}$ ; температура воды – охладителя на входе в аппарат равна  $25^{\circ}\text{C}$ , на выходе  $45^{\circ}\text{C}$ ; рабочее давление в аппарате составляет 0,7 МПа; допустимое гидравлическое сопротивление со стороны охлаждаемой воды 0,1 МПа, со стороны воды – охладителя составляет 0,2 МПа.

Теплофизические свойства теплоносителей представлены в табл. 1.

1.68. Рассчитать и подобрать спиральный теплообменник для конденсации насыщенного пара водой.

Исходные данные: расход пара 18640 кг/ч; температура насыщенного пара  $-180^{\circ}\text{C}$ ; температура конденсата  $-180^{\circ}\text{C}$ ; температура воды на входе в аппарат  $25^{\circ}\text{C}$ , на выходе  $95^{\circ}\text{C}$ .

Теплофизические свойства теплоносителей: удельная теплота фазового превращения пара  $r=2,02$  МДж/кг, рабочее давление в аппарате 2,5 МПа; допустимое гидравлическое сопротивление в аппарате по стороне пара 0,05 МПа, по стороне воды 0,15 МПа; плотность водяного пара  $\rho=5,157$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплоемкости пара  $c=2709$  Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности водяного пара  $\lambda=3,27 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К), коэффициент кинематической вязкости пара  $\nu=2,93 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, критерий Прандтля  $Pr=1,25$ . Теплофизические свойства воды приведены в табл.1.

1.69. Рассчитать и подобрать нормализованный спиральный теплообменник для охлаждения 20% раствора NaOH водой.

Исходные данные: количество раствора 7,5 кг/ч; начальная температура раствора  $80^{\circ}\text{C}$ , конечная  $40^{\circ}\text{C}$ ; температура охлаждающей воды на входе  $20^{\circ}\text{C}$ , на выходе  $40^{\circ}\text{C}$ . Движение теплоносителей противоточное.

Теплофизические свойства раствора при средней температуре:

коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,536$  Вт/(м·К), плотность  $\rho=1196$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент кинематической вязкости  $\nu=1,563 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплоемкости  $c=3,963$  кДж/(кг·К), критерий Прандтля  $Pr=10,7$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.70. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник для установки осушки воздуха.

Исходные данные и теплофизические свойства теплоносителей.

Гидравлическое сопротивление теплообменника не должно превышать 60 кПа.

Горячий теплоноситель – воздух: температура на входе  $65^{\circ}\text{C}$ , на выходе  $25^{\circ}\text{C}$ , давление на входе 1,2 МПа, объемный расход (при  $t=20^{\circ}\text{C}$  и  $p=0,1$  МПа) 1450 м<sup>3</sup>/ч, коэффициент теплоемкости  $c_1=1,005$  кДж/(кг·К), коэффициент кинематической вязкости  $\nu_1=13,28 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплопроводности  $\lambda_1=2,44 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К), критерий Прандтля  $Pr=0,707$ .

Холодный теплоноситель – вода: температура начальная  $-20^{\circ}\text{C}$ , давление на входе в аппарат 0,5 МПа, объемный расход воды 0,085 м<sup>3</sup>/мин, плотность  $\rho=998,2$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент кинематической вязкости  $\nu_2=1,006 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, коэффициент теплопроводности  $\lambda_2=60,0 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К), коэффициент теплоемкости  $c=4,183$  кДж/(кг·К), критерий Прандтля  $Pr=7,02$ .

Ориентировочный коэффициент теплопередачи  $K_{ор}=60$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

1.71. Выполнить проектный расчет кожухотрубчатого холодильника для охлаждения раствора натриевой щелочи, который подается в трубное пространство теплообменника.

Исходные данные и теплофизические свойства теплоносителей.

Водный 10% раствор щелочи NaOH: объемный расход 34 м<sup>3</sup>/ч, начальная температура  $50^{\circ}\text{C}$ ; конечная  $25^{\circ}\text{C}$ , давления в трубном и межтрубном пространствах равны 0,9 МПа, плотность  $\rho=1103$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности  $\lambda_1=0,63$  Вт/(м·К), коэффициент динамической вязкости  $\mu_1=1,39 \cdot 10^{-3}$  Па·с, коэффициент удельной теплоемкости  $c_1=3,3$  кДж/(кг·К), критерий Прандтля  $Pr_1=7,3$ .

Вода: начальная температура  $20^{\circ}\text{C}$ , конечная  $35^{\circ}\text{C}$ , плотность  $\rho_2=995,9$   $\text{кг/м}^3$ , коэффициент динамической вязкости  $\mu_2=0,996 \cdot 10^{-3}$   $\text{Па}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda_2=0,61$   $\text{Вт/}(м\cdot\text{К})$ , коэффициент удельной теплоемкости  $c_2=4,180$   $\text{кДж/}(кг\cdot\text{К})$ , критерий Прандтля  $\text{Pr}_2=5,5$ . Ориентировочный коэффициент теплопередачи  $K_{\text{оп}}=300$   $\text{Вт/}(м^2\cdot\text{К})$ .

1.72. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый конденсатор для охлаждения углеводородов этиленового ряда.

Исходные данные: расход углеводородов  $1,7$   $\text{кг/с}$ ; температура на входе в конденсатор ( $-22^{\circ}\text{C}$ ), на выходе ( $-28^{\circ}\text{C}$ ); давление углеводородов равно  $2,5$  МПа. Охлаждающей средой является этан. Температура этана на входе ( $-43^{\circ}\text{C}$ ), на выходе ( $-30^{\circ}\text{C}$ ); давление этана  $1,8$  МПа. Углеводороды подаются в межтрубное пространство, а этан – в трубное. Межтрубное пространство разбивается на две зоны: конденсации и охлаждения.

Теплофизические свойства углеводородов: теплота конденсации  $r=301,46$   $\text{кДж/кг}$ ; энтальпия жидкого конденсата в начале второй зоны  $i=333,99$   $\text{кДж/кг}$ ; энтальпия конденсата на выходе из аппарата  $i=292,3$   $\text{кДж/кг}$ ; коэффициент теплоемкости этана  $c=3,3$   $\text{кДж/}(кг\cdot\text{К})$ ; ориентировочный коэффициент теплопередачи  $K=100$   $\text{Вт/}(м^2\cdot\text{К})$ .

Теплофизические свойства конденсата: для I зоны: плотность  $\rho=435$   $\text{кг/м}^3$ ; коэффициент теплоемкости  $c=3,3$   $\text{кДж/}(кг\cdot\text{К})$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=70 \cdot 10^{-6}$   $\text{Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=11,3 \cdot 10^{-2}$   $\text{Вт/}(м\cdot\text{К})$ ; для II зоны: плотность  $\rho=630$   $\text{кг/м}^3$ ; коэффициент теплоемкости  $c=3,24$   $\text{кДж/}(кг\cdot\text{К})$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=13,8 \cdot 10^{-2}$   $\text{Вт/}(м\cdot\text{К})$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=56,7 \cdot 10^{-6}$   $\text{Па}\cdot\text{с}$ ; скорость движения  $0,04$   $\text{м/с}$ .

Теплофизические свойства этана: плотность  $\rho=580$   $\text{кг/м}^3$ ; коэффициент теплоемкости  $c=3,26$   $\text{кДж/}(кг\cdot\text{К})$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=13,3 \cdot 10^{-2}$   $\text{Вт/}(м\cdot\text{К})$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=75 \cdot 10^{-6}$   $\text{Па}\cdot\text{с}$ ; критерий Прандтля  $\text{Pr}=1,18$ .

1.73. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый испаритель для нагрева смеси углеводородов керосином газофракционирующей установки.

Исходные данные: расход смеси углеводородов  $92000$   $\text{кг/ч}$ , которая подается в межтрубное пространство с давлением  $3,2$  МПа; начальная температура углеводородов  $98^{\circ}\text{C}$ , конечная температура (температура кипения) углеводородов  $104,5^{\circ}\text{C}$ ; начальная температура керосина равна  $280^{\circ}\text{C}$ , конечная -  $150^{\circ}\text{C}$ , керосин подается в трубное пространство с давлением  $2,9$  МПа.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Смесь углеводородов: теплота парообразования  $r_2=78,71 \cdot 10^3$   $\text{Дж/кг}$ , коэффициент теплоемкости  $c_2=1,415 \cdot 10^3$   $\text{Дж/}(кг\cdot^{\circ}\text{C})$ , плотность углеводородов  $\rho_2=407,7$   $\text{кг/м}^3$ , коэффициент динамической вязкости углеводородов  $\mu_2=0,057 \cdot 10^{-3}$   $\text{Па}\cdot\text{с}$ , плотность пара  $\rho_n=74,5$   $\text{кг/м}^3$ , поверхностное натяжение углеводородов  $\sigma=1,51 \cdot 10^{-3}$   $\text{Н/м}$ , коэффициент теплопроводности углеводородов  $\lambda_2=0,074945$   $\text{Вт/}(м\cdot\text{К})$ , температура кипения углеводородов  $T=377,43$   $\text{К}$ .

Керосин: коэффициент теплоемкости  $c_1=2863,91$   $\text{Дж/}(кг\cdot^{\circ}\text{C})$ ; плотность  $\rho_1=690$   $\text{кг/м}^3$ , ориентировочный коэффициент теплопередачи  $K_{\text{оп}}=400$   $\text{Вт/}(м^2\cdot\text{К})$ , коэффициент динамической вязкости  $\mu_2=0,260 \cdot 10^{-3}$   $\text{Па}\cdot\text{с}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda_1=0,0893$   $\text{Вт/}(м\cdot\text{К})$ .

Коэффициент теплопроводности углеродистой стали  $\lambda_{\text{ст}}=46,5$   $\text{Вт/}(м\cdot\text{К})$ .

1.74. Рассчитать и подобрать нормализованный аппарат воздушного охлаждения для охлаждения легких углеводородов.

Исходные данные: количество охлаждаемой углеводородной фракции  $35$   $\text{кг/с}$ ; начальная температура углеводородов  $160^{\circ}\text{C}$ , конечная  $120^{\circ}\text{C}$ ; начальная температура воздуха  $25^{\circ}\text{C}$ , конечная  $50^{\circ}\text{C}$ ; давление в трубном пространстве равно  $0,7$  МПа.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней температуре.

Углеводородная фракция: плотность  $\rho=700$   $\text{кг/м}^3$ , коэффициент кинематической вязкости  $\nu=0,9 \cdot 10^{-6}$   $\text{м}^2/\text{с}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,133$   $\text{Вт/}(м\cdot\text{К})$ , коэффициент теплоемкости  $c=2,45 \cdot 10^3$   $\text{Дж/}(кг\cdot\text{К})$ ; энтальпия при  $t=158^{\circ}\text{C}$   $i=370 \cdot 10^3$   $\text{Дж/кг}$ , а при  $t=120^{\circ}\text{C}$   $i=220 \cdot 10^3$   $\text{Дж/кг}$ .

Воздух: плотность  $\rho=1,13$   $\text{кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda=2,7 \cdot 10^{-2}$   $\text{Вт/}(м\cdot\text{К})$ , коэффициент теплоемкости  $c=1,005$   $\text{кДж/}(кг\cdot\text{К})$ , коэффициент кинематической вязкости  $\nu=15,51 \cdot 10^{-6}$   $\text{м}^2/\text{с}$ .

1.75. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для нагрева жирных кислот водяным паром. Определить гидравлическое сопротивление аппарата.

Исходные данные: температура пара  $160^{\circ}\text{C}$ ; давление пара  $0,8\text{ МПа}$ ; расход жирных кислот  $0,67\text{ кг/с}$ ; начальная температура кислот  $30^{\circ}\text{C}$ , конечная  $120^{\circ}\text{C}$ .

Теплофизические свойства теплоносителей.

Теплота парообразования  $\gamma=2095\text{ кДж/кг}$ , коэффициент теплопроводности на линии насыщения  $\lambda=68,3\cdot 10^{-2}\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; плотность воды на линии насыщения  $\rho=907,4\text{ кг/м}^3$ , коэффициент динамической вязкости воды на линии насыщения  $\mu=0,177\cdot 10^{-3}\text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотность кислот  $\rho=920\text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности кислоты  $\lambda=0,15\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , коэффициент теплоемкости  $c=2,304\text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ , коэффициент динамической вязкости кислоты  $\mu=0,250\cdot 10^{-3}\text{ Па}\cdot\text{с}$ , критерий Прандтля  $\text{Pr}=1,11$ ; ориентировочное значение коэффициента теплопередачи  $K_{\text{оп}}=120\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

1.76. Рассчитать и подобрать нормализованный спиральный теплообменник для охлаждения раствора хлористого кальция водой. Произвести гидравлический расчет.

Исходные данные: расход  $25\%$  раствора хлористого кальция  $18500\text{ кг/ч}$ ; начальная температура раствора равна  $100^{\circ}\text{C}$ , конечная  $30^{\circ}\text{C}$ ; начальная температура воды составляет  $20^{\circ}\text{C}$ , конечная  $40^{\circ}\text{C}$ , давление воды  $0,25\text{ МПа}$ .

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Раствор хлористого кальция: плотность  $\rho=1240\text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=5,9\cdot 10^{-3}\text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплоемкости  $c=3060\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,6\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , критерий Прандтля  $\text{Pr}=30$ .

Вода: плотность  $\rho=995,2\text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,62\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,8\cdot 10^{-3}\text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент удельной теплоемкости  $c=4180\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; критерий Прандтля  $\text{Pr}=5,4$ .

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи  $K_{\text{оп}}=300\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

1.77. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник для нагревания толуола с помощью насыщенного водяного пара.

Исходные данные: расход толуола  $12\text{ кг/с}$ ; начальная температура толуола равна  $20^{\circ}\text{C}$ , конечная  $98^{\circ}\text{C}$ ; абсолютное давление насыщенного водяного пара  $1,6\text{ МПа}$  с содержанием воздуха  $0,5\%$ , скорость движения толуола по трубам  $0,3\text{ м/с}$ .

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Толуол: плотность  $\rho=820\text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,125\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,36\cdot 10^{-3}\text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент удельной теплоемкости  $c=1800\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; критерий Прандтля  $\text{Pr}=5,2$ .

Водяной пар: плотность  $\rho=0,898\text{ кг/м}^3$  при температуре конденсации  $-112,7^{\circ}\text{C}$ ; коэффициент теплоемкости  $c=1,8\text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; удельная теплота конденсации  $\gamma=2227\text{ кДж/кг}$ ; коэффициент, учитывающий наличие  $0,6\%$  воздуха в паре; степень черноты  $\epsilon=0,6$ .

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи  $K_{\text{оп}}=120\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

1.78. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник для охлаждения азота водой.

Исходные данные: расход азота равен  $1640\text{ м}^3/\text{ч}$ , который поступает в межтрубное пространство при температуре  $80^{\circ}\text{C}$  под абсолютным давлением  $2,5\text{ МПа}$  и охлаждается до температуры  $30^{\circ}\text{C}$ ; начальная температура воды составляет  $15^{\circ}\text{C}$ , конечная  $25^{\circ}\text{C}$ .

Теплофизические свойства азота при средней рабочей температуре: плотность  $\rho=1,25\text{ кг/м}^3$  (при  $P=0,1\text{ МПа}$  и  $t=0^{\circ}\text{C}$ ); коэффициент теплопроводности  $\lambda=2,67\cdot 10^{-2}\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент теплоемкости  $c=1050\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,019\cdot 10^{-3}\text{ Па}\cdot\text{с}$ .

Теплофизические свойства воды представлены в табл. 1.

1.79. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый конденсатор (дефлегматор) смеси паров органической жидкости и паров воды.

Исходные данные: расход пара 2,6 кг/с; начальная температура воды равна 18<sup>0</sup>С, конечная 40<sup>0</sup>С; температура конденсации составляет 66<sup>0</sup>С. Теплофизические свойства конденсата при температуре конденсации: теплота конденсации  $\gamma=1180$  кДж/кг; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,219$  Вт/(м·К); коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,446 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотность  $\rho=757$  кг/м<sup>3</sup>.

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи  $K_{op}=600$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

1.80. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для подогрева коррозионноактивной органической жидкости.

Исходные данные: расход жидкости 6,5 кг/с; начальная температура 20<sup>0</sup>С, конечная 80<sup>0</sup>С; давление насыщенного водяного пара 0,7 МПа; температура конденсации водяного пара 160<sup>0</sup>С.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Органическая жидкость: плотность  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент динамической вязкости  $\mu=536 \cdot 10^{-6}$  Па·с; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,458$  Вт/(м·К); коэффициент теплоемкости  $c=3730$  Дж/(кг·К); критерий Прандтля  $Pr=4,35$ .

Конденсат: плотность  $\rho=908$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,683$  Вт/(м·К); коэффициент динамической вязкости  $\mu=177 \cdot 10^{-6}$  Па·с; удельная теплота парообразования  $\gamma=2095$  кДж/кг; критерий Прандтля  $Pr=1,11$ .

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи  $K_{op}=1500$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

1.81. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник для охлаждения диэтилового эфира рассолом из холодильной установки.

Исходные данные: расход эфира 3,4 кг/с; начальная температура эфира равна 35<sup>0</sup>С, конечная 5<sup>0</sup>С; температура рассола на входе (-6<sup>0</sup>С).

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Эфир: плотность  $\rho=716$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости  $c=2,15 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К); коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,249 \cdot 10^{-3}$  Па·с; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,133$  Вт/(м·К); критерий Прандтля  $Pr=4,0$ .

Рассол (20%-ный раствор NaCl): плотность  $\rho=1150$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости  $c=3,4 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К); коэффициент динамической вязкости  $\mu=3,23 \cdot 10^{-3}$  Па·с; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,529$  Вт/(м·К); критерий Прандтля  $Pr=20,7$ .

1.82. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник для охлаждения воды другой технической водой.

Исходные данные: расход греющей воды 57 м<sup>3</sup>/ч; температура греющей воды изменяется от 68<sup>0</sup>С до 47<sup>0</sup>С; температура нагреваемой воды изменяется от 25<sup>0</sup>С до 48<sup>0</sup>С. Избыточное давление равно 0,16 МПа.

Теплофизические свойства воды приведены в табл.1.

1.83. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник для нагрева в трубном пространстве метилового спирта (100%).

Исходные данные: расход спирта 48 кг/с; его скорость в трубах равна 0,75 м/с; температура на входе 15<sup>0</sup>С, на выходе 40<sup>0</sup>С; температура воды на входе 90<sup>0</sup>С, охлаждается до 40<sup>0</sup>С и движется со скоростью 1,25 м/с.

Теплофизические свойства метилового спирта: плотность  $\rho=785$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости  $c=2,52$  кДж/(кг·К); коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,53 \cdot 10^{-3}$  Па·с; критерий Прандтля  $Pr=6,3$ .

Теплофизические свойства воды: суммарная тепловая проводимость обоих загрязнений стенок 1700 Вт/(м<sup>2</sup>·К); коэффициент теплоотдачи от воды к стенке 840 Вт/(м<sup>2</sup>·К); остальные свойства воды представлены в табл.1.

1.84. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменник для охлаждения диэтилового эфира рассолом, поступающим из холодильника.

Исходные данные: расход рассола 23 кг/с; давления эфира и рассола равны 0,45 МПа; рассол нагревается от (-15<sup>0</sup>С) до (-12<sup>0</sup>С); начальная температура эфира 25<sup>0</sup>С, конечная (-10<sup>0</sup>С); скорость движения рассола по трубам составляет 1,8 м/с.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Рассол (25% раствор CaCl): плотность  $\rho=1220 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=7,165 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,473 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент удельной теплоемкости  $c=2,9 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; критерий Прандтля  $Pr=44$ .

Диэтиловый эфир: плотность  $\rho=733 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,28 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,136 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент теплоемкости  $c=2,4 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; критерий Прандтля  $Pr=4,4$ .

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи  $K_{op}=400 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

1.85. Рассчитать и подобрать спиральный теплообменник для подогрева раствора щелочи конденсатом водяного пара.

Исходные данные: расход щелочи  $12 \text{ кг/с}$ ; ее начальная температура равна  $50^\circ\text{C}$ , конечная  $85^\circ\text{C}$ . Количество нагреваемого агента (конденсат водяного пара)  $11 \text{ кг/с}$ , его начальная температура составляет  $95^\circ\text{C}$ . Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Конденсат: плотность  $\rho=977 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплоемкости  $c=4180 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,373 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=67 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

Щелочь (10%-ный раствор NaOH): плотность  $\rho=1110 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,715 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=57,8 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент теплоемкости  $c=3860 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

1.86. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник для охлаждения метилового спирта водой.

Исходные данные: расход спирта  $7,5 \text{ кг/с}$ ; начальная температура спирта равна  $60^\circ\text{C}$ , конечная  $30^\circ\text{C}$ ; расход воды  $12 \text{ кг/с}$ , начальная температура воды  $25^\circ\text{C}$ . Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Метиловый спирт: плотность  $\rho=800 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,61 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплоемкости  $c=2680 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,21 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

1.87. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник (кипятильник), присоединенный к кубу ректификационной колонны, для испарения толуола.

Исходные данные: расход толуола  $4750 \text{ кг/ч}$ ; избыточное давление  $0,08 \text{ МПа}$  при абсолютном давлении паров толуола  $0,15 \text{ МПа}$ , его температура кипения в трубном пространстве составляет  $123^\circ\text{C}$ , теплота парообразования  $r=354,5 \text{ кДж/кг}$ . При температуре конденсирующего пара  $138^\circ\text{C}$  его давление  $0,35 \text{ МПа}$ ; теплота конденсации пара  $r=2160 \text{ кДж/кг}$ ; плотность пленки конденсата равна  $928 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости конденсата  $\mu=0,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности конденсата  $\lambda=0,685 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; удельная теплота испарения толуола  $r=3,5 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$ .

1.88. Рассчитать и подобрать нормализованный спиральный теплообменник для охлаждения раствора хлористого кальция водой.

Исходные данные: расход раствора  $9,7 \text{ кг/с}$ ; начальная температура раствора  $100^\circ\text{C}$ , конечная  $30^\circ\text{C}$ ; начальная температура воды  $20^\circ\text{C}$ , конечная  $40^\circ\text{C}$ .

Теплофизические свойства раствора (25% CaCl) при средней рабочей температуре: плотность  $\rho=1240 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=5,9 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплоемкости  $c=3060 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; критерий Прандтля  $Pr=30$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

Теплофизические свойства воды приведены в табл.1.

1.89. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для охлаждения водного раствора лимонной кислоты водой. Исходные данные: расход раствора  $14,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; температура раствора на входе равна  $80^\circ\text{C}$ , на выходе  $30^\circ\text{C}$ ; допустимое сопротивление теплообменника по обоим потокам  $0,45 \text{ МПа}$ .

Теплофизические свойства раствора кислоты при средней рабочей температуре: плотность  $\rho=1100 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической

вязкости  $\mu=7 \cdot 10^{-3}$  Па·с; коэффициент теплоемкости  $c=3560$  Дж/(кг·К); коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,68$  Вт/(м·К).

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи  $K_{op}=500$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

1.90. Рассчитать и подобрать стандартный аппарат воздушного охлаждения для конденсации и последующего охлаждения углеводорода.

Исходные данные: расход углеводорода 8,7 кг/с; избыточное давление 0,08 МПа; конечная температура жидкого углеводорода равна 45<sup>0</sup>С. Температура воздуха на выходе из теплообменника составляет 60<sup>0</sup>С. По всей длине зоны конденсации температура постоянна и в соответствии с абсолютным давлением 0,16 МПа равна 110<sup>0</sup>С.

Теплофизические свойства конденсата в зоне конденсации: плотность  $\rho=760$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент динамической вязкости  $\mu=3 \cdot 10^{-4}$  Па·с; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,13$  Вт/(м·К); коэффициент теплоемкости  $c=2450$  Дж/(кг·К); теплота конденсации  $g=3,19 \cdot 10^5$  Дж/кг.

Теплофизические свойства конденсата в зоне охлаждения при средней температуре: плотность  $\rho=780$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент динамической вязкости  $\mu=7,3 \cdot 10^{-4}$  Па·с; коэффициент теплоемкости  $c=2150$  Дж/(кг·К); коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,14$  Вт/(м·К).

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи  $K_{op}=200$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

1.91. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник для охлаждения толуола водой.

Исходные данные: расход толуола 18,4 кг/с; температура толуола на входе в аппарат составляет 105<sup>0</sup>С, на выходе 40<sup>0</sup>С; начальная температура воды равна 25<sup>0</sup>С, конечная 35<sup>0</sup>С.

Теплофизические свойства толуола при средней температуре: плотность  $\rho=821$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости  $c=1780$  Дж/(кг·К); коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,35 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

Теплофизические свойства воды приведены в табл. 1.

Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи  $K_{op}=300$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

1.92. Рассчитать и подобрать нормализованный теплообменный аппарат типа «труба в трубе» для нагревания нефти дистиллятом дизельного топлива.

Исходные данные: расход дизельного топлива 20000 кг/ч, его начальная температура равна 265<sup>0</sup>С, конечная – 160<sup>0</sup>С; расход нефти 60000 кг/ч, температура нефти на входе в аппарат – 120<sup>0</sup>С.

Теплофизические свойства теплоносителей при средней рабочей температуре.

Дистиллят дизельного топлива: плотность  $\rho=696$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент кинематической вязкости  $\nu=1,05 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,123$  Вт/(м·К); коэффициент теплоемкости  $c=2,64$  кДж/(кг·К).

Нефть: плотность  $\rho=784$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости  $c=2,282$  кДж/(кг·К); коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,125$  Вт/(м·К); коэффициент кинематической вязкости  $\nu=1,43 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

1.93. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый теплообменник для теплообмена между двумя водно-органическими растворами.

Исходные данные: горячий раствор в количестве 10 кг/с охлаждается от 112,5<sup>0</sup>С до 40<sup>0</sup>С; начальная температура холодного раствора 20<sup>0</sup>С, его расход 20 кг/с; оба раствора – коррозионно-активные жидкости с физико-химическими свойствами, близкими к свойствам воды. Горячая жидкость при средней температуре 76,3<sup>0</sup>С имеет следующие теплофизические параметры: плотность  $\rho=986$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,662$  Вт/(м·К); коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,54 \cdot 10^{-3}$  Па·с; коэффициент теплоемкости  $c=4192$  Дж/(кг·К).

1.94. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для исходных данных, приведенных в задаче 1.93.

1.95. Рассчитать и подобрать нормализованный пластинчатый теплообменник для подогрева коррозионно-активной органической жидкости насыщенным водяным паром.

Исходные данные: расход жидкости 3,0 кг/с, которая нагревается от 20<sup>0</sup>С до 80<sup>0</sup>С насыщенным водяным паром давлением 0,6 МПа.

Теплофизические параметры теплоносителей.

Нагреваемая жидкость: плотность  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,534 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,458 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ; коэффициент теплоемкости  $c=3730 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ; число Прандтля  $Pr=4,35$ .

Водяной насыщенный пар: температура конденсации  $t=158,1^0\text{C}$ ; характеристики конденсата при этой температуре: плотность  $\rho=908 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu_1=0,177 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda_1=0,683 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ; теплота конденсации  $r_1=2,095 \text{ МДж/кг}$ ; число Прандтля  $Pr=1,11$ .

1.96. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый конденсатор для конденсации паров органической жидкости и паров воды.

Исходные данные: расход паров  $1,0 \text{ кг/с}$ , которые конденсируются при температуре  $66^0\text{C}$ , тепло конденсации отводится водой с начальной температурой  $25^0\text{C}$ .

Теплофизические параметры теплоносителей. Смесь паров органической жидкости и воды: удельная теплота конденсация смеси  $r=1,18 \text{ МДж/кг}$ ; свойства конденсата: коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,219 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ; плотность  $\rho=757 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,446 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

Вода: температура воды на выходе из конденсатора  $t=33^0\text{C}$ ; при средней температуре воды  $29^0\text{C}$  плотность  $\rho_1=996 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплоемкости  $c_1=4180 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda_1=0,616 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu_1=0,82 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; число Прандтля  $Pr=5,56$ .

1.97. Рассчитать и подобрать нормализованный кожухотрубчатый испаритель ректификационной колонны с получением паров водного раствора органической жидкости.

Исходные данные: расход паров водного раствора органической жидкости  $1,0 \text{ кг/с}$ ; жидкость кипит при небольшом избыточном давлении и температуре  $102,6^0\text{C}$ ; в качестве теплоносителя используется насыщенный водяной пар с давлением  $0,2 \text{ МПа}$ .

Теплофизические параметры теплоносителей. Кипящая жидкость: плотность  $\rho=957 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu=0,24 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент поверхностного натяжения  $58,3 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ ; коэффициент теплоемкости  $c=4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,680 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ; теплота конденсации  $r=2,24 \text{ МДж/кг}$ ; плотность паров при атмосферном давлении  $0,65 \text{ кг/м}^3$ ; плотность паров над кипящей жидкостью  $0,6515 \text{ кг/м}^3$ .

Насыщенный водяной пар: температура конденсации  $119,6^0\text{C}$ , удельная теплота конденсации  $r_1=2,208 \text{ МДж/кг}$ ; плотность конденсата при температуре конденсации  $\rho_1=943 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент динамической вязкости  $\mu_1=0,231 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda_1=0,686 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

1.98. Рассчитать необходимую поверхность теплообмена и число теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» для нагревания нефти дистиллятом дизельного топлива. Принять, что наружная и внутренняя трубы гладкие.

Исходные данные: количество дистиллята дизельного топлива  $20 \text{ 000 кг/ч}$ ; начальная температура  $538 \text{ К}$ ; массовый расход нефти  $60 \text{ 000 кг/ч}$ ; начальная температура  $393 \text{ К}$ .

Теплофизические параметры теплоносителей. Дистиллят дизельного топлива: относительная плотность  $\rho_{277}^{293}=0,835$ ; коэффициент кинематической вязкости при  $293 \text{ К}$   $\nu=1,05 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , а при  $323 \text{ К}$   $\nu=1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Нефть: относительная плотность  $\rho_{277}^{293}=0,860$ ; коэффициент кинематической вязкости при  $293 \text{ К}$   $\nu=2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , а при  $323 \text{ К}$   $\nu=1,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

1.99. Рассчитать необходимую поверхность теплообмена и число теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» для нагревания нефти дистиллятом дизельного топлива. Принять, что наружная поверхность внутренней трубы оребренная. Исходные данные приведены в задаче 1.98.

1.100. Рассчитать и подобрать горизонтальный холодильник для охлаждения керосинового дистиллята воздухом.  
Исходные данные: количество охлаждаемого керосина 40 000 кг/ч; начальная температура 377 К, конечная температура 315 К; начальная температура сухого воздуха 299 К, а конечная - 333 К.  
Теплофизические параметры теплоносителей. Керосин: относительная плотность  $\rho_{277}^{293}=0,800$ , остальные параметры находятся по справочникам.

### **Вопросы к контрольному заданию №1 по разделу «Массообменные аппараты и сушилки»**

- 2.1. Сущность процессов ректификации и абсорбции. Основные гидродинамические режимы тарельчатых колонн. Простые и сложные ректификационные колонны.  
Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ПВ 4,5–0,63 НУ–01.
- 2.2. Технология процессов ректификации и абсорбции. Привести принципиальные схемы разновидностей ректификационного процесса.  
Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БН 1,2–10 НУ–01.
- 2.3. Классификация контактных устройств ректификационных и абсорбционных аппаратов и принцип их выбора для конкретных условий эксплуатации.  
Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ВН 2–5 НУ–01.
- 2.4. Понятие о парожидкостном равновесии (константы фазового равновесия, коэффициенты распределения, коэффициенты активности, относительная летучесть компонентов).  
Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки РВ 1,2–4 ВК–02.
- 2.5. Тарельчатые колонны для процессов абсорбции и ректификации. Варианты ввода сырья и вывода продуктов из колонны.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БН 3–20 НУ 03.

2.6. Принцип расчета контактных устройств. Связь между отдельными характеристиками (гидравлическое сопротивление, межтарельчатое расстояние и т.д.).

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскиз сушильной установки ЭВ 3–02 РЦ 1,2–0,9 НК–21.

2.7. Основные этапы расчета массообменных аппаратов (технологический, гидравлический, конструкционный механический).

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскиз сушильной установки ПП 2–01 БВ 2,4–10 НК–01.

2.8. Основные параметры, применяемые для оценки контактных устройств (производительность по жидкости, F – фактор пара, к.п.д., гидравлическое сопротивление, диапазон устойчивой работы).

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ПВ 16–2 НК–01.

2.9. Области применения насадочных массообменных аппаратов, их основные характеристики, преимущества и недостатки.

Явление «сухого конуса» в насадочной колонне и методы его устранения.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БГ 4,5–12 НУ–06.

2.10. Материальные и тепловые балансы ректификационных и абсорбционных колонн.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскиз сушильной установки ПВ 2–01 РЦ 3,2–11 ВК–21.

2.11. Насадочные массообменные аппараты и их основные элементы: насадки (регулярные и нерегулярные), распределители и перераспределители жидкости.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БГ 4,5–16 НУ–07.

2.12. Факторы, влияющие на выбор типа контактных устройств. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскиз сушильной установки ЖТ 5–01 РЦ 12,5–1100 ВК–11.

2.13. Основные характеристики пленочных контактных устройств (производительность по газу (пару) и жидкости, скорость движения газа (пара) в различных сечениях аппарата и т.д.). Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ЛС 2,0–8 НК–01.

2.14. Тарельчатые массообменные колонны. Барботажные контактные устройства, их сравнительные характеристики и рекомендации по выбору тарелок для проведения процессов массообмена. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ВН 1,5–2 ВК–02.

2.15. Принцип работы переливных и беспереливных ситчатых тарелок. Гидродинамические режимы, их особенности и области применения. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БН 2–12 НУ–03.

2.16. Струйные контактные устройства. Особенности, преимущества и недостатки прямого характера взаимодействия фазовых потоков в сравнении с противоточным и перекрестным потоками. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки РВ 0,8–1,6 ВК–01.

2.17. Пленочно-вихревые контактные устройства и способы их крепления к корпусу аппарата. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ПВ 16–2 НУ–01.

2.18. Провальные тарелки и их модификации, основные характеристики и области применения. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскиз сушильной установки ГТ 2–03 РЦ 6,5–200 ВК–21.

2.19. Тарелки с однонаправленными потоками жидкости и газа в зоне контакта, их сравнение и область применения. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БВ 2,2–6 НК–01. Преимущества и недостатки данной конструкции.

2.20. Барботажно–пленочные контактные устройства и их основные характеристики. Выбор и проверка межтарельчатого расстояния, гидравлическое сопротивление, градиент уровня жидкости. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ЛС 2,0–20 НК–20.

2.21. Струйно–барботажные контактные устройства и их основные характеристики: производительность по газу (пару) и жидкости, градиент уровня жидкости, унос жидкости (брызгоунос).

2.22. Колонны для процессов абсорбции и ректификации с регулярными насадками. Выбор оптимального режима. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ПВ–4,5–0,63 КУ–01.

2.23. Струйно-вихревые контактные устройства и их основные характеристики. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки РВ 0,5–0,32 ВК–01.

2.24. Колонны для процессов ректификации и абсорбции с нерегулярными насадками. Выбор оптимального режима. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ВН 0,8–2 НУ–01.

2.25. Сущность процесса сушки и ее виды. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСК–1.

2.26. Способы подвода тепла к высушиваемому материалу. Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСК–Р.

2.27. Формы связи влаги с материалом.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСК–РЦ.

2.28. Материальный и тепловой балансы процесса сушки.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСК–РБ.

2.29. Варианты процесса сушки.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС.

2.30. Скорость и периоды процесса сушки.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС–Р.

2.31. Классификация методов сушки и сушилок.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС–Р.

2.32. Способы подачи сушильного агента и влажного материала.

Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы массообменных аппаратов, снабженных переливными устройствами с аппаратами без переливных устройств.

2.33. Последовательность расчета сушильного аппарата.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях S–образной тарелки.

2.34. Конвективные аппараты для сушки с неподвижным или движущимся слоем материала.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС–Р2.

2.35. Конвективные аппараты для сушки с перемешиванием слоя материала.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС–РЦ.

2.36. Конвективные аппараты для сушки со взвешенным слоем материала.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС–РБ.

2.37. Аппараты для сушки материала в режиме пневмотранспорта.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС ЖК.

2.38. Кондуктивные аппараты для сушки материала.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТР.

2.39. Аэрофонтанные сушильные аппараты.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСН–II.

2.40. Комбинированные сушильные установки.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСН–III.

2.41. Распылительные сушильные аппараты. Виды распылительных устройств.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы нерегулярных насадок для колонных аппаратов.

2.42. Кондуктивный барабанный сушильный аппарат.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы регулярных насадок для колонных аппаратов.

2.43. Выбор типа сушильного аппарата.

Представить сравнительные характеристики, основные параметры и эскизы тарелок ТСК–Р и ТС–Р.

2.44. Основные гидродинамические режимы тарельчатых колонн.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БН 2,8-14НУ-04.

2.45. Понятие о парожидкостном равновесии (константы фазового равновесия, относительная летучесть компонентов).

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ПВ 4,5-0,63НК-01.

2.46. Основные этапы расчета массообменных аппаратов.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БН 2,2-12НК-03.

2.47. Основные характеристики пленочных контактных устройств.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ЭВ 4-01РЦ1,0-1,2 НК-21.

2.48. Привести принципиальные схемы разновидностей ректификационного процесса.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ЛС 2,0-6НК-20.

2.49. Основные параметры, применяемые для оценки контактных устройств.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ВЛ 1,0-2,0НК-80.

2.50. Основные этапы механического расчета массообменных аппаратов.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки РВ 1,6-10ВТ.

2.51. Основные этапы гидравлического расчета массообменных аппаратов.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ЭВ 3-01РЦ1,2-0,9НК-21.

2.52. Варианты ввода сырья и вывода продуктов из тарельчатой колонны.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ЭВ 4-01РЦ1,0-1,2НК-21.

2.53. Массообменные аппараты с регулярными насадками (их виды).

Представить характеристики, основные параметры, работу и привести принципиальную схему сушильной установки ГТ2-03РЦ6,5-200ВК-24.

2.54. Массообменные аппараты с нерегулярными насадками (их виды).

Представить характеристики, основные параметры, работу и привести принципиальную схему сушильной установки ЖТ 5-01РЦ8-300ВК-11.

2.55. Распределители и перераспределители жидкости в насадочных массообменных аппаратах.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки РВ 1,2-4ВТ-01.

2.56. Факторы, влияющие на выбор типа контактных устройств.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БГ 4,5-16НУ-06.

2.57. Принцип работы переливных и беспереливных ситчатых тарелок.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ПВ 2-02РЦ6,5-200НК-23.

2.58. Струйные (прямоточные, противоточные и перекрестные) контактные устройства.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БГ 4,25-12НУ-01.

2.59. Выбор и проверка межтарельчатого расстояния, гидравлическое сопротивление, градиент уровня жидкости.

Представить характеристики, основные параметры, работу и привести принципиальную схему сушильной установки ПП 2-01БВ2,8-16НК-01.

2.60. Виды распылительных устройств в сушильных аппаратах.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях S-образной тарелки.

2.61. Основные характеристики пленочных контактных устройств.

Представить характеристики, основные параметры, работу и привести принципиальную схему сушильной установки ПВ 2-01ЛС1,2-12ВК-01.

2.62. Барботажные контактные устройства тарельчатых массообменных колонн.

Представить характеристики, основные параметры, работу и привести принципиальную схему сушильной установки ПВ 2-01РЦЗ,2-11ВК-21.

2.63. Основные параметры, применяемые для оценки контактных устройств (производительность по жидкости, F-фактор пара, к.п.д. и др.).

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки РВ 1,6-10ВК.

2.64. Принцип выбора контактных устройств массообменных колонн.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки БВ 2,2-6НК-01.

2.65. Привести принципиальные схемы ректификационного процесса.

Представить характеристики, основные параметры, работу и привести принципиальную схему сушильной установки ГТ 4-02ЛС2,85-19НК-02.

2.66. Основные гидравлические режимы тарельчатых колонн для процессов ректификации и абсорбции.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного разреза сушилки ЛС 1,2-12НК-01.

2.67. Способы подвода тепла к высушиваемому материалу.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях S-образной тарелки.

2.68. Конвективные аппараты для сушки с движущимся слоем материала.

Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы массообменных аппаратов, снабженных переливными устройствами с аппаратами без переливных устройств.

2.69. Классификация сушильных аппаратов.

Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы нерегулярных насадок для колонных аппаратов.

2.70. Последовательность расчета сушильного аппарата.

Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС ЖК.

2.71. Сущность процесса сушки и ее виды.

Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы тарелок ТСК-Р и ТС-Р.

2.72. Конвективные аппараты для сушки материала с неподвижным слоем.

Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСН-III.

2.73. Способы подачи сушильного агента и влажного материала.

Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСН-II.

2.74. Материальный и тепловой балансы процесса сушки.

Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы массообменных аппаратов, снабженных переливными устройствами с аппаратами без переливных устройств.

2.75. Классификация методов сушки и сушилок.

Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТСК-1.

2.76. Конвективные аппараты для сушки с перемешиванием слоя материала.

Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТР.

2.77. Скорость и периоды процесса сушки.

Представить сравнительные характеристики, основные параметры, работу и эскизы в двух проекциях тарелки ТС-РЦ.

2.78. Области применения насадочных массообменных аппаратов, их основные характеристики, преимущества и недостатки.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного сечения сушилки БВ 2,2-6НК-01.

2.79. Основные характеристики пленочно-вихревых контактных устройств и способы крепления к корпусу аппарата.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного сечения сушилки РВ 1,6-10ВТ.

2.80. Барботажные контактные устройства и их основные характеристики. Выбор и проверка межтарельчатого расстояния, гидравлическое сопротивление.

Представить характеристики, основные параметры, работу и эскизы продольного сечения сушилки БН 3,5-27НУ-05.

2.81. Способы выражения состава фаз для процессов абсорбции и ректификации: объемная концентрация, молярные и массовые доли и т. п. Приведите соотношения между различными способами выражения составов газовой и жидкой фаз.

Представить характеристики, основные параметры, принцип работ и эскизы продольного разреза сушилки ПВ 4,5-0,63НУ-01.

2.82. Абсорбция газов. Сущность процессов, основные понятия: абсорбируемый компонент, инертный газ, поглотитель. Привести схему конструкции тарельчатой абсорбционной колонны с ситчатыми тарелками, принцип работы и основные элементы конструкции.

2.83. Равновесие между фазами при физической абсорбции. Идеальные растворы. Равновесие в идеальных растворах ( уравнение Рауля). Закон Генри для разбавленных растворов при плохой растворимости газов. Привести схему конструкции насадочной колонны, оснащенной кольцами Рашига, принцип работы и основные элементы конструкции.

2.84. Области применения абсорбционных процессов в химической и других отраслях промышленности: получение готового продукта путём поглощения газа жидкостью; разделение газовых смесей для выделения одного или нескольких ценных компонентов смеси; очистка газа от примесей вредных компонентов; улавливание ценных компонентов из газовой смеси. Приведите примеры и необходимость применения процессов последующей десорбции.

2.85. Классификация абсорбционных аппаратов (условная), отражающая как конструкцию абсорбера, так и характер поверхности контакта. Влияние физико-химических условий проведения процесса и технико-экономических факторов.

Представить характеристики, основные параметры, принцип работы и эскизы продольного разреза сушилки ВН-2-5НУ-01.

2.86. Равновесие в системе газ - жидкость при физической абсорбции. Константы фазового равновесия, физический смысл и способы выражения. Привести соотношения между константами фазового равновесия при различных способах выражения состава фаз. Влияние давления, температуры и концентрации растворенного вещества (газа) в жидкости на константу фазового равновесия (коэффициент распределения).

2.87. Уравнение материального баланса при абсорбции нелетучим поглотителем. Схема материального баланса, рабочей линии и линии равновесия при противотоке и прямотоке. Влияние относительной нагрузки жидкости  $\bar{L}=L/G$  (кг жидкости/ кг газа) на абсорбционный фактор  $\lambda = \bar{L}/m$ , где  $m$  - константа фазового равновесия.

2.88. Тепловой баланс абсорбции. Выделение тепла при растворении газа в жидкости. Энтальпия газа и жидкости. Тепловая диаграмма равновесия.

Поверхностные абсорберы, их устройство и виды: с горизонтальным зеркалом жидкости, плёночные, с восходящим движением пленки и насадочные. Привести схемы конструкций, принцип работы, преимущества и недостатки.

2.89. Массопередача и массоотдача в процессах физической абсорбции. Основные уравнения массопередачи: коэффициенты массопередачи, движущая сила массопередачи и поверхность контакта, влияние физико-химических условий на массопередачу. Насадочные абсорберы. Конструкция, принцип работы, виды насадочных элементов.

2.90. Коэффициенты массоотдачи для процесса физической абсорбции. Физический смысл коэффициентов массоотдачи, формы записи

коэффициентов, единицы измерения. Влияние растворимости газов в жидкости на коэффициенты массоотдачи в газовой и жидкой фазах. Распределительные устройства насадочных абсорберов. Основные требования, предъявляемые к ним, их виды.

2.91. Коэффициенты массопередачи, отнесенные к концентрациям в газе  $1/K_y=1/\beta_y+m/\beta_{ж}$  и жидкости  $1/K_x=1/\beta_x+1/(m\cdot\beta_y)$ , где  $\beta_x$  и  $\beta_y$  - коэффициенты массоотдачи для газовой и жидкой фаз,  $m$ - константа фазового равновесия. Схема процесса массопередачи между газом и жидкостью. Общее сопротивление массопередачи и фазовые сопротивления. Растворимость газов и фазовые сопротивления. Влияние растворимости газов на фазовые сопротивления: хорошо ( $m<1$ ), среднее ( $1<m<100$ ) и плохо ( $m>100$ ) растворимые газы. Примеры растворимости газов в воде.

2.92. Средняя движущая сила процесса абсорбции. Схема графического определения движущей силы на диаграмме  $y - x$ , где  $y$  и  $x$  - концентрации распределяемого газа в газовой смеси и жидкости в мол. долях.

Модели структуры потоков в фазах: идеальное вытеснение или идеальное перемешивание по обеим фазам; вытеснение по одной фазе, перемешивание по другой, реальная модель.

2.93. Число единиц переноса в газовой и жидкой фазах. Физический смысл, формы записи. Единицы переноса. Методы определения числа единиц переноса: метод графического интегрирования, методы численного интегрирования, аналитический метод.

Представить характеристики, основные параметры, принцип работы и эскизы продольного разреза сушилки БН 1,2-10НУ-01.

2.94. Массопередача при перекрестном токе в барботажных абсорберах тарельчатого типа. Схема абсорбции с перекрестным током. Средняя движущая сила, число единиц переноса.

Представить характеристики, основные параметры, принцип работы, эскиз сушильной установки ПП2-01БВ2,4-10НК-01.

2.95. Влияние различных факторов на коэффициенты массоотдачи и массопередачи процесса абсорбции газа: физических свойств, вязкости, коэффициентов диффузии и давления газа и жидкости.

Расчёт абсорбционных процессов: эффективность работы абсорберов (коэффициенты извлечения, насыщения; коэффициенты полезного действия, эффективность по жидкости).

2.96. Расчёт абсорберов с непрерывным контактом для противотока и прямотока и с рециркуляцией жидкости и газа: эффективность и число единиц переноса.

Поверхностные абсорберы: с горизонтальным зеркалом жидкости, плёночные, насадочные (с неподвижной насадкой) и механические пленочные. Область применения, схемы конструкций, принцип работы, преимущества и недостатки.

2.97. Гидродинамические закономерности поверхностных абсорберов: однофазное течение жидкости, движение газа и двухфазное движение газа и жидкости; движение газа через насадку; двухфазное движение газа и жидкости через насадку (плёночный режим, режим подвисяния, барботажный режим или режим захлёбывания). Привести схему насадочной колонны, область применения, режимные и конструктивные параметры абсорбера и принцип работы.

2.98. Гидравлическое сопротивление плёночных и насадочных аппаратов, методы их расчёта для рабочего диапазона нагрузок по газу и жидкости.

Количество удерживаемой жидкости, влияние подвисяния и захлёбывания на удерживающую способность аппарата.

Распределение жидкости в плёночных абсорберах.

Привести схему плёночного абсорбера, показать конструктивные особенности, принцип работы, преимущества и недостатки.

2.99. Брызгоунос в пленочных и насадочных абсорберах. Влияние брызгоуноса на эффективность массопередачи и гидравлическое сопротивление.

Смоченная и активная поверхности, влияние смоченной и активной поверхности от различных факторов.

Барботажные абсорберы, область применения и их типы. Привести схему тарельчатого абсорбера со ступенчатым контактом между фазами, принцип работы, режимные и конструктивные параметры.

2.100. Абсорберы со сплошным барботажным слоем, секционированная барботажная колонна, барботажный абсорбер с насадкой (эмульсионная колонна). Конструкции, область применения, преимущества и недостатки. Принцип работы. Их отличие от абсорберов тарельчатого типа.

Кинетические параметры процесса абсорбции: эффективность работы абсорберов (коэффициент извлечения  $\phi$ , коэффициент насыщения  $\psi$ ).

### Задачи к контрольному заданию №1 по разделу «Массообменные аппараты и сушилки»

2.1. Рассчитать противоточный абсорбер насадочного типа для поглощения водой диоксида углерода из смеси его с водородом и азотом.

Исходные данные: состав поступающей смеси:  $H_2$  – 62%;  $CO_2$  – 18%;  $N_2$  – 20%; расход газа на входе в абсорбер 1000 кмоль/час; давление процесса 2,0 МПа; на орошение подается вода с температурой 20°C; требуемая степень извлечения диоксида углерода 90%.

2.2. Выполнить проектный расчет ректификационной колонны непрерывного действия с клапанными тарелками для получения 100000 тонн этилена в год. Колонна работает при давлении 1,2 МПа. Требуемое содержание этилена в дистилляте 98% (масс.), содержание этилена в кубовом остатке 4% (масс.). Состав исходной смеси: 57% этилена и 43% этана (масс.). Исходная смесь поступает в колонну при температуре кипения.

2.3. Подобрать типовую барабанную сушилку по следующим исходным данным: производительность по готовому продукту 1500 кг/ч; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 0,1$  кг/кг, конечное  $w_2 = 0,01$  кг/кг, критическое влагосодержание материала  $w_k = 0,05$  кг/кг, коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 1000$  Дж/(кг·К), насыпная плотность материала  $\rho_n = 1500$  кг/м<sup>3</sup>, температура материала на входе в сушилку  $\theta_1 = 15^\circ C$ , температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 130^\circ C$ , температура воздуха на выходе  $t_2 = 60^\circ C$ , средний размер частиц материала  $d_c = 2$  мм, барометрическое давление  $10^5$  Па.

Принимаем температуру окружающего воздуха 15°C с относительной влажностью 75%.

2.4. Рассчитать однокамерную сушилку с кипящим слоем при следующих исходных данных: производительность по высушенному материалу 450 кг/ч; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 0,68$  кг/кг; конечное влагосодержание продукта  $w_2 = 0,029$  кг/кг; коэффициент теплоемкости продукта  $c_m = 1,4$  кДж/(кг·К); плотность высушенного продукта  $\rho_c = 3000$  кг/м<sup>3</sup>; начальная температура материала  $\theta_1 = 18^\circ C$ ; конечная температура продукта  $\theta_2 = 60^\circ C$ ; атмосферное давление равно 100 кПа; начальная температура воздуха перед калорифером  $t_1 = 18^\circ C$ , после калорифера  $t_2 = 130^\circ C$ ; влажность воздуха 75%; средний диаметр частиц  $d_c = 1,5$  мм.

2.5. Рассчитать диаметр и высоту пневматической трубной сушилки.

Исходные данные: производительность по исходному влажному материалу 700 кг/ч; начальное влагосодержание исходного материала  $w_1 = 0,1$  кг/кг; конечное влагосодержание  $w_2 = 0,01$  кг/кг; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 300^\circ C$ , на выходе  $t_2 = 100^\circ C$ ; температура материала на входе в сушилку  $\theta_1 = 15^\circ C$ ; эквивалентный размер частиц  $d_s = 0,9$  мм, максимальный размер частиц  $d_m = 1,2$  мм; фактор формы частиц материала  $\psi = 0,7$ ; коэффициент теплоемкости материала  $c_m = 1200$  Дж/(кг·К), плотность материала  $\rho = 1940$  кг/м<sup>3</sup>.

2.6. Рассчитать диаметр и высоту рабочей зоны распылительной сушилки для сушки синтетического моющего средства (СМС).

Исходные данные: производительность по исходному влажному продукту 15000 кг/ч; начальная влажность порошка  $w_1 = 50\%$  (масс.); конечная влажность порошка  $w_2 = 5\%$  (масс.); температура газов на входе в сушильную башню  $t_1 = 330^\circ C$ ; температура газов на выходе из сушилки  $t_2 = 80^\circ C$ ; температура поступающей композиции  $\theta_1 = 70^\circ C$ ; плотность высушенного продукта  $\rho_m = 1200$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплоемкости порошка  $c_m = 2,22$  кДж/(кг·К). Движение газов и высушиваемой композиции противоточное. В качестве топлива используется природный газ, его состав (в % масс. на сухой газ):  $CO_2 = 0,5$ ;  $CH_4 = 88$ ;  $C_2H_2 = 2,11$ ;  $C_3H_8 = 1,8$ ;  $C_4H_{10} = 1,35$ ;  $C_5H_{12} = 0,84$ ;  $N_2 = 5,4$ .

2.7. Рассчитать диаметр и высоту противоточной абсорбционной колонны с регулярной насадкой для поглощения двуокиси углерода водой.

Исходные данные: содержание двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ) в газовой смеси – 20% (мольн.); расход газовой смеси на входе в абсорбер 1200 кмоль/час; давление процесса 1,5 МПа; температуры газа в аппарате и воды на входе составляют 20°C; требуемая степень извлечения двуокиси углерода 85%.

2.8. Определить гидравлическое сопротивление абсорбционной колонны с регулярной (кольца Рашига в укладку) насадкой при рабочей высоте абсорбера 15 м, скорости газа 0,5 м/с; диаметр аппарата 2,5 м; объемный расход жидкости составляет 40 м<sup>3</sup>/час.

2.9. Определить гидравлическое сопротивление абсорбционной колонны с регулярной насадкой (выбрать самостоятельно) при рабочей высоте абсорбера, равной 25 м, скорости движения газа 0,75 м/с; диаметр аппарата составляет 3,0 м; а объемный расход жидкости - 60 м<sup>3</sup>/час.

2.10. Рассчитать диаметр, высоту, гидравлическое сопротивление противоточной абсорбционной колонны с насыпной насадкой Палля 50x50x5 мм для поглощения сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ) водой.

Исходные данные: расход газовой смеси 1500 м<sup>3</sup>/час; начальные концентрации распределяемого компонента (в объемных долях) в газе  $Y_n = 0,3$ ; в воде  $X_n = 0$ ; степень извлечения сероводорода 75%; давление в аппарате равно 6 МПа; температуры газа и жидкости одинаковы и равны 20°C.

2.11-2.22. Подобрать стандартизованные тарельчатые абсорбционные колонны по исходным данным, см. Таблица 4, провести расчет гидравлического сопротивления.

2.23. Рассчитать насадочный абсорбер для поглощения аммиака из аммиачно-воздушной смеси водой.

Исходные данные: начальное содержание  $\text{NH}_3$  в смеси составляет 5% (объем.); конечное содержание - 0,27% (объем.); количество поступающего газа равно 10000 м<sup>3</sup>/ч (для нормальных условий); общее дав-

ление газа составляет 760 мм рт.ст.; начальное содержание  $\text{NH}_3$  в воде составляет 0,2 % (масс.); расход жидкости 14500 кг/ч; температура газа  $t = 25^\circ\text{C}$ ; насадка (правильно уложенная), состоящая из колец Рашига с размерами 50x50x5 мм.

2.24. Рассчитать однокамерную цилиндрическую сушилку с кипящим слоем для сушки сополимера ВХВД-40.

Исходные данные: производительность по готовому продукту 400 кг/ч, начальное влагосодержание материала  $w_1 = 0,40$  кг/кг, конечное влагосодержание  $w_2 = 0,03$  кг/кг, критическое  $w_{кр} = 0,06$  кг/кг; средний размер частиц материала  $d_{cp} = 0,5$  мм, плотность материала  $\rho_m = 1300$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 1,2$  кДж/(кг·К), температура материала на входе в сушилку  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ ; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 120^\circ\text{C}$ , температура воздуха на выходе  $t_2 = 50^\circ\text{C}$ .

2.25. Рассчитать однокамерную сушилку с кипящим слоем для сушки мыла.

Исходные данные: производительность по высушенному мылу 2100 кг/ч; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 0,55$  кг/кг, конечное влагосодержание  $w_2 = 0,12$  кг/кг, критическое  $w_{кр} = 0,36$  кг/кг; средний размер частиц материала  $d_{cp} = 8$  мм; плотность  $\rho_m = 1600$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 2$  кДж/(кг·К), температура материала на входе в сушилку  $\theta_1 = 30^\circ\text{C}$ , температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 160^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 60^\circ\text{C}$ .

2.26. Рассчитать диаметр, длину, число оборотов, угол наклона барабана, необходимую мощность для вращения барабанной сушилки для сушки поливинилхлорида.

Исходные данные: производительность 12000 кг/час; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 25\%$ , конечное  $w_2 = 0,3\%$ ; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 130^\circ\text{C}$ ; температура на выходе  $t_2 = 55^\circ\text{C}$ ; коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 1,2$  кДж/(кг·К); плотность высушенного материала  $\rho_m = 550$  кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность материала  $\rho_n = 1200$  кг/м<sup>3</sup>, средний размер частиц  $d_{cp} = 0,2$  мм.

2.27. Рассчитать ректификационную колонну с тарелками ТСК-Р.

Исходные данные: нагрузка по пару 18000 кг/ч, нагрузка по жидкости 25000 кг/ч; плотность паров  $\rho_n = 4,25 \text{ кг/м}^3$ ; плотность жидкости  $\rho_j = 800 \text{ кг/м}^3$ ; поверхностное натяжение  $\sigma = 0,02 \text{ н/м}$ , число ступеней изменения концентрации  $n_{ст} = 24$ ; расстояние между тарелками 0,7 м. Вспениваемость жидкости средняя, давление в колонне атмосферное.

2.28. Рассчитать и подобрать нормализованную барабанную сушилку для сушки диаммофоса.

Исходные данные: производительность 15000 кг/час; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 4\%$ , конечное влагосодержание  $w_2 = 0,5\%$ ; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 200^\circ\text{C}$ ; на выходе из сушилки  $t_2 = 90^\circ\text{C}$ ; коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 1,05 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ , плотность высушенного материала  $\rho_m = 1100 \text{ кг/м}^3$ , насыпная плотность материала  $\rho_n = 1850 \text{ кг/м}^3$ , средний размер частиц материала  $d_{cp} = 2 \text{ мм}$ .

2.29. Рассчитать и подобрать нормализованную барабанную сушилку для сушки хлористого аммония.

Исходные данные: производительность 2000 кг/час, начальное влагосодержание материала  $w_1 = 8\%$ , конечное  $w_2 = 0,8\%$ , температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 400^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 120^\circ\text{C}$ , коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 1,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ ; плотность материала  $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$ ; средний размер частиц материала  $d_{cp} = 0,2 \text{ мм}$ .

2.30. Рассчитать и подобрать нормализованную барабанную сушилку для сушки хлористого калия.

Исходные данные: производительность 3000 кг/ч; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 7\%$ , конечное влагосодержание  $w_2 = 0,5\%$ ; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 700^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 170^\circ\text{C}$ , насыпная плотность материала  $\rho_m = 1650 \text{ кг/м}^3$ , насыпная плотность высушенного материала  $\rho_n = 1000 \text{ кг/м}^3$ ; средний размер частиц материала  $d_{ч} = 1,5 \text{ мм}$ ; удельная теплоемкость сухого продукта  $c_m = 1,16 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ .

2.31. Рассчитать диаметр и высоту противоточной абсорбционной колонны с регулярной насадкой для поглощения двуокси углерода водой.

Исходные данные: содержание двуокси углерода в газовой смеси 10% (мольн.); расход газовой смеси составляет 1800 кмоль/ч; давление процесса равно 1,8 МПа; температуры газа и жидкости одинаковы и равны  $20^\circ\text{C}$ . Требуемая степень извлечения двуокси углерода 95%.

2.32. Рассчитать ректификационную колонну с тарелками ТС-Р при следующих исходных данных: нагрузка по пару 15000 кг/ч; нагрузка по жидкости 28000 кг/ч; плотность паров  $\rho_n = 4,25 \text{ кг/м}^3$ ; поверхностное натяжение  $\sigma = 0,02 \text{ Н/м}$ ; плотность жидкости  $\rho_j = 880 \text{ кг/м}^3$ ; число ступеней изменения концентрации  $n_{ст} = 25$ ; расстояние между тарелками 0,5 м. Вспениваемость жидкости средняя, давление в колонне атмосферное.

2.33. Рассчитать и подобрать нормализованную барабанную сушилку для сушки суперфосфата.

Исходные данные: производительность 4000 кг/час; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 14\%$ , конечное  $w_2 = 2\%$ ; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 600^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 120^\circ\text{C}$ ; коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 1,21 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ ; плотность материала  $\rho_m = 1700 \text{ кг/м}^3$ , плотность высушенного материала  $\rho_n = 1000 \text{ кг/м}^3$ , средний размер частиц материала  $d_{cp} = 2 \text{ мм}$ .

2.34. Рассчитать диаметр и длину барабана барабанной сушилки для сушки нитрата натрия.

Исходные данные: производительность 30000 кг/час; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 4\%$ , конечное  $w_2 = 0,5\%$ ; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 200^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 60^\circ\text{C}$ ; коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 0,97 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ , насыпная плотность  $\rho_m = 2250 \text{ кг/м}^3$ , насыпная плотность высушенного материала  $\rho_n = 1300 \text{ кг/м}^3$ , средний размер частиц материала  $d_{cp} = 0,5 \text{ мм}$ .

2.35. На ректификационную колонну поступает смесь метанол-вода в количестве 5000 кг/ч, содержащая 40 % (масс.) метанола. Содержание

метанола в дистилляте составляет 98,5% (масс.), в кубовом остатке - 1,5 % (масс.).

Рассчитать ректификационную колонну непрерывного действия с тарельчатыми тарелками для разделения смеси, если диаметр отверстий в тарелке  $d = 0,002$  м; живое сечение отверстий  $\varphi = 0,08$ ; высота сливного порога  $h = 0,025$  м; объемный расход жидкости в нижней части колонны  $2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/сек; объемный расход пара 1,5 м<sup>3</sup>/сек; плотность жидкости  $\rho_{ж} = 925$  кг/м<sup>3</sup>; плотность пара  $\rho_{п} = 0,855$  кг/м<sup>3</sup>; сопротивление тарелки  $\Delta p = 450$  Н/м<sup>2</sup>; коэффициент сопротивления тарелки  $\xi = 1,82$ ; расстояние между тарелками  $H = 0,4$  м.

2.36. Рассчитать однокамерную цилиндрическую сушилку с кипящим слоем для сушки силикагеля.

Исходные данные: производительность 5500 кг/ч; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 0,40$  кг/кг; конечное влагосодержание материала  $w_2 = 0,015$  кг/кг; критическое  $w_{кр} = 0,030$  кг/кг; средний диаметр частиц  $d_{ср} = 0,2$  мм; плотность материала  $\rho_m = 2300$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 0,85$  кДж/(кг·К); температура материала на входе в сушилку  $\theta_1 = 18^\circ\text{C}$ , температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 200^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 70^\circ\text{C}$ .

2.37. Рассчитать ректификационную колонну с провальными тарелками.

Исходные данные: нагрузка по пару 30000 кг/ч; нагрузка по жидкости 25000 кг/ч; поверхностное натяжение  $\sigma = 0,02$  н/м; плотность жидкости  $\rho_{ж} = 720$  кг/м<sup>3</sup>; плотность пара  $\rho_{п} = 3,30$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкости  $\mu_{ж} = 0,006$  Па·с; вязкость паров  $\mu_{п} = 5 \cdot 10^{-5}$  Па·с; толщина листа тарелки  $\delta = 4$  мм; ширина шага  $b = 6$  мм; расстояние между тарелками  $H_T = 0,5$  мм.

2.38. Рассчитать однокамерную сушилку квадратного сечения с кипящим слоем для сушки сополимера ВМК-5.

Исходные данные: производительность 500 кг/ч; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 0,25$  кг/кг; конечное влагосодержание  $w_2 = 0,03$  кг/кг; критическое  $w_{кр} = 0,08$  кг/кг; средний размер частиц материала  $d_{ср} = 0,3$  мм; насыпная плотность материала  $\rho_m = 1100$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 1,2$  кДж/(кг·К); темпе-

ратура материала на входе в сушилку  $\theta_1 = 18^\circ\text{C}$ ; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 110^\circ\text{C}$ , температура воздуха на выходе  $t_2 = 45^\circ\text{C}$ .

2.39. Рассчитать насадочный абсорбер для поглощения аммиака из аммиачно-воздушной смеси водой.

Исходные данные: начальное содержание NH<sub>3</sub> в газе 10% (объем.); конечное - 0,2% (объем.); количество поступающего газа составляет 15000 м<sup>3</sup>/ч; общее давление газа 760 мм рт.ст; удельный расход поглотителя  $\iota = 1,2$  кг/кг; температура газа 20°C; нерегулярная насадка в виде колец Рашига с размерами 25x25x3 мм.

2.40. Рассчитать ректификационную колонну с провальными тарелками.

Исходные данные: нагрузка по пару 34000 кг/ч; нагрузка по жидкости 27500 кг/ч; плотность паров  $\rho_{п} = 3,34$  кг/м<sup>3</sup>; поверхностное натяжение  $\sigma = 0,017$  н/м; плотность жидкости  $\rho_{ж} = 660$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость паров  $\mu_{п} = 5 \cdot 10^{-5}$  Па·с; вязкость жидкости  $\mu_{ж} = 0,005$  Па·с; толщина листа тарелки  $\delta = 2$  мм; ширина шага  $b = 4$  мм; число ступеней изменения концентрации  $n_{ст} = 20$ ; расстояние между тарелками  $H_T = 0,7$  м.

2.41-2.56. Рассчитать диаметр, высоту и гидравлическое сопротивление тарельчатых ректификационных колонн по исходным данным, приведенным см. *Исходные данные к задачам 2.41 – 2.56* Таблица 5.

2.57. Рассчитать противоточный абсорбер насадочного типа для поглощения водой диоксида углерода из смеси его с водородом и азотом.

Исходные данные: состав поступающей смеси (в мольн. %): H<sub>2</sub> – 70%; CO<sub>2</sub> – 10%; N<sub>2</sub> – 20%; расход газа на входе в абсорбер 1000 кмоль/час; давление процесса – 2,0 МПа; на орошение подается вода с температурой 25°C; требуемая степень извлечения диоксида углерода 95%.

2.58. Выполнить проектный расчет ректификационной колонны непрерывного действия с клапанными тарелками для получения 150000 тонн этилена в год. Колонна работает при давлении 1,2 МПа. Требуе-

мое содержание этилена в дистилляте 98% (масс.), содержание этилена в кубовом остатке 4% (масс.). Состав исходной смеси: 57% этилена и 43% этана (масс.). Исходная смесь поступает в колонну при температуре кипения.

2.59. Подобрать типовую барабанную сушилку по следующим исходным данным: производительность по готовому продукту 1750 кг/ч; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 0,2$  кг/кг, конечное  $w_2 = 0,01$  кг/кг, критическое влагосодержание материала  $w_k = 0,05$  кг/кг, коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 1000$  Дж/(кг·К), насыпная плотность материала  $\rho_n = 1500$  кг/м<sup>3</sup>, температура материала на входе в сушилку  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ , температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 130^\circ\text{C}$ , температура воздуха на выходе  $t_2 = 40^\circ\text{C}$ , средний размер частиц материала  $d_c = 2$  мм, барометрическое давление равно  $10^5$  Па. Температура окружающего воздуха  $t_0 = 15^\circ\text{C}$  с относительной влажностью 75%.

2.60. Рассчитать однокамерную сушилку с кипящим слоем при следующих исходных данных: производительность по высушенному материалу 600 кг/ч; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 0,68$  кг/кг; конечное влагосодержание продукта  $w_2 = 0,029$  кг/кг; коэффициент теплоемкости продукта  $c_m = 1,4$  кДж/(кг·К); плотность высушенного продукта  $\rho_c = 2000$  кг/м<sup>3</sup>; начальная температура материала  $\theta_1 = 18^\circ\text{C}$ ; конечная температура продукта  $\theta_2 = 60^\circ\text{C}$ ; атмосферное давление 100 кПа; начальная температура воздуха перед калорифером  $t_1 = 18^\circ\text{C}$ , после калорифера  $t_2 = 130^\circ\text{C}$ ; влажность воздуха 75%; средний диаметр частиц  $d_c = 1,5$  мм.

2.61. Рассчитать диаметр и высоту пневматической трубной сушилки. Исходные данные: производительность по исходному влажному материалу 900 кг/ч; начальное влагосодержание исходного материала  $w_1 = 0,1$  кг/кг; конечное влагосодержание  $w_2 = 0,01$  кг/кг; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 250^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 50^\circ\text{C}$ ; температура материала на входе в сушилку  $\theta_1 = 15^\circ\text{C}$ ; эквивалентный размер частиц  $d_s = 0,9$  мм, максимальный размер частиц  $d_m = 1,2$  мм; фактор

формы частиц материала  $\psi = 0,7$ ; коэффициент теплоемкости материала  $c_m = 1200$  Дж/(кг·К), плотность материала  $\rho = 1940$  кг/м<sup>3</sup>.

2.62. Рассчитать диаметр и высоту рабочей зоны распылительной сушилки для сушки синтетического моющего средства (СМС).

Исходные данные: производительность по исходному влажному продукту 18000 кг/ч; начальная влажность порошка  $w_1 = 80\%$ ; конечная влажность порошка  $w_2 = 5\%$ ; температура газов на входе в сушильную башню  $t_1 = 350^\circ\text{C}$ ; температура газов на выходе из сушилки  $t_2 = 60^\circ\text{C}$ ; температура поступающей композиции  $\theta_1 = 70^\circ\text{C}$ ; плотность высушенного продукта  $\rho_m = 1500$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплоемкости порошка  $c_m = 2,22$  кДж/(кг·К). Движение газов и высушиваемой композиции противоточное. В качестве топлива используется природный газ, его состав (в % массовых на сухой газ):  $\text{CO}_2 = 0,5$ ;  $\text{CH}_4 = 88$ ;  $\text{C}_2\text{H}_2 = 2,11$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8 = 1,8$ ;  $\text{C}_4\text{H}_{10} = 1,35$ ;  $\text{C}_5\text{H}_{12} = 0,84$ ;  $\text{N}_2 = 5,4$ .

2.63. Рассчитать ректификационную колонну с тарелками ТСК-Р.

Исходные данные: нагрузка по пару 15000 кг/ч, нагрузка по жидкости 42000 кг/ч; плотность паров  $\rho_n = 4,25$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкости  $\rho_{ж} = 800$  кг/м<sup>3</sup>; поверхностное натяжение  $\sigma = 0,02$  н/м, число ступеней изменения концентрации  $n_{ст} = 24$ ; расстояние между тарелками 0,7 м. Вспениваемость жидкости средняя, давление в колонне атмосферное.

2.64. Рассчитать ректификационную колонну с тарелками ТС-Р при следующих исходных данных: нагрузка по пару 18000 кг/ч; нагрузка по жидкости 32000 кг/ч; плотность паров  $\rho_n = 4,25$  кг/м<sup>3</sup>; поверхностное натяжение  $\sigma = 0,02$  н/м; плотность жидкости  $\rho_{ж} = 920$  кг/м<sup>3</sup>; число ступеней изменения концентрации  $n_{ст} = 25$ ; расстояние между тарелками 0,5 м. Вспениваемость жидкости средняя, давление в колонне атмосферное.

2.65. Рассчитать и подобрать нормализованную барабанную сушилку для сушки суперфосфата.

Исходные данные: производительность 2500 кг/час; начальное влагосодержание материала (масс. %)  $w_1 = 24\%$ , конечное  $w_2 = 2\%$ ; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 600^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 80^\circ\text{C}$ ; коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 1,21$  кДж/(кг·К);

плотность материала  $\rho_m = 1700 \text{ кг/м}^3$ , плотность высушенного материала  $\rho_n = 1000 \text{ кг/м}^3$ , средний размер частиц материала  $d_{cp} = 2 \text{ мм}$ .

2.66. Рассчитать диаметр и длину барабана барабанной сушилки для сушки нитрата натрия.

Исходные данные: производительность 25000 кг/час; начальное влагосодержание материала (масс.%)  $w_1 = 15\%$ , конечное  $w_2 = 0,5\%$ ; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 200^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 60^\circ\text{C}$ ; коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 0,97 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ , насыпная плотность  $\rho_m = 2250 \text{ кг/м}^3$ , насыпная плотность высушенного материала  $\rho_n = 1200 \text{ кг/м}^3$ , средний размер частиц материала  $d_{cp} = 0,5 \text{ мм}$ .

2.67. На ректификационную колонну поступает смесь метанол-вода в количестве 7000 кг/ч, содержащая 40 масс.% метанола. Содержание метанола в дистилляте составляет 98,5 масс.%, в кубовом остатке - 1,5 масс.%.

Рассчитать ректификационную колонну непрерывного действия с ситчатыми тарелками для разделения смеси, если диаметр отверстий в тарелке  $d = 0,002 \text{ м}$ ; живое сечение отверстий  $\varphi = 0,08$ ; высота сливного порога  $h = 0,025 \text{ м}$ ; объемный расход жидкости в нижней части колонны  $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}$ ; объемный расход пара  $1,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ ; плотность жидкости  $\rho_{ж} = 925 \text{ кг/м}^3$ ; плотность пара  $\rho_n = 0,855 \text{ кг/м}^3$ ; сопротивление тарелки  $\Delta p = 450 \text{ н/м}^2$ ; коэффициент сопротивления тарелки  $\xi = 1,82$ ; расстояние между тарелками  $0,4 \text{ м}$ .

2.68. Рассчитать однокамерную цилиндрическую сушилку с кипящим слоем для сушки силикагеля.

Исходные данные: производительность 6500 кг/ч; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 0,60 \text{ кг/кг}$ ; конечное влагосодержание материала  $w_2 = 0,12 \text{ кг/кг}$ , критическое  $w_{кр} = 0,30 \text{ кг/кг}$ ; средний диаметр частиц  $d_{cp} = 0,2 \text{ мм}$ ; плотность материала  $\rho_m = 2300 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 0,85 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ , температура материала на входе в сушилку  $\theta_1 = 18^\circ\text{C}$ , температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 200^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 70^\circ\text{C}$ .

2.69. Рассчитать ректификационную колонну с провальными тарелками.

Исходные данные: нагрузка по пару равна 25000 кг/ч; нагрузка по жидкости - 18000 кг/ч; поверхностное натяжение  $\sigma = 0,02 \text{ н/м}$ ; плотность жидкости  $\rho_{ж} = 830 \text{ кг/м}^3$ ; плотность пара  $\rho_n = 3,30 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость жидкости  $\mu_{ж} = 0,006 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; вязкость паров  $\mu_n = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; толщина листа тарелки  $\delta = 4 \text{ мм}$ ; ширина шага  $b = 6 \text{ мм}$ ; число тарелок  $n_{ст} = 30$ ; расстояние между тарелками равно  $0,5 \text{ м}$ .

2.70. Рассчитать однокамерную сушилку квадратного сечения с кипящим слоем для сушки сополимера ВМК-5.

Исходные данные: производительность 700 кг/ч; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 0,28 \text{ кг/кг}$ , конечное влагосодержание  $w_2 = 0,02 \text{ кг/кг}$ , критическое  $w_{кр} = 0,08 \text{ кг/кг}$ ; средний размер частиц материала  $d_{cp} = 0,3 \text{ мм}$ ; насыпная плотность материала  $\rho_m = 1200 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 1,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ , температура материала на входе в сушилку  $\theta_1 = 18^\circ\text{C}$ ; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 110^\circ\text{C}$ , температура воздуха на выходе  $t_2 = 45^\circ\text{C}$ .

2.71. Рассчитать насадочный абсорбер для поглощения аммиака из аммиачно-воздушной смеси водой.

Исходные данные: начальное содержание  $\text{NH}_3$  в газе составляет 18% (объем.); конечное - 0,2% (объем.); количество поступающего газа составляет  $15000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; общее давление газа  $760 \text{ мм рт.ст}$ ; температура газа  $20^\circ\text{C}$ ; насадка в виде колец Рашига  $25 \times 25 \times 3 \text{ мм}$ , размещена в колонне в навал.

2.72. Рассчитать ректификационную колонну с провальными тарелками.

Исходные данные: нагрузка по пару 30000 кг/ч; нагрузка по жидкости 25000 кг/ч; плотность паров  $\rho_n = 3,34 \text{ кг/м}^3$ ; поверхностное натяжение  $\sigma = 0,017 \text{ н/м}$ ; плотность жидкости  $\rho_{ж} = 720 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость паров  $\mu_n = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; вязкость жидкости  $\mu_{ж} = 0,005 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; толщина листа тарелки  $\delta = 2 \text{ мм}$ ; ширина шага  $b = 4 \text{ мм}$ ; число тарелок  $n_{ст} = 25$ ; расстояние между тарелками равно  $0,7 \text{ м}$ .

2.73. Рассчитать однокамерную сушилку с кипящим слоем для сушки мыла.

Исходные данные: производительность по высушенному мылу 2100 кг/ч; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 0,55$  кг/кг, конечное влагосодержание  $w_2 = 0,12$  кг/кг, критическое  $w_{кр} = 0,36$  кг/кг; средний размер частиц материала  $d_{ср} = 8$  мм; фактор формы частиц материала  $\psi = 0,4$ ; плотность материала  $\rho_m = 1600$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 2$  кДж/(кг·К), температура материала на входе в сушилку  $\theta_1 = 30^\circ\text{C}$ , температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 160^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 60^\circ\text{C}$ .

2.74. Рассчитать диаметр, длину, число оборотов, угол наклона барабана, необходимую мощность для вращения барабанной сушилки для сушки поливинилхлорида.

Исходные данные: производительность 12000 кг/час; начальное влагосодержание материала (в масс. %)  $w_1 = 25\%$ , конечное  $w_2 = 0,3\%$ ; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 130^\circ\text{C}$ ; температура на выходе  $t_2 = 55^\circ\text{C}$ ; коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 1,2$  кДж/(кг·К); плотность высушенного материала  $\rho_m = 550$  кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность материала  $\rho_n = 1200$  кг/м<sup>3</sup>, средний размер частиц  $d_{ср} = 0,2$  мм.

2.75. Рассчитать ректификационную колонну с тарелками ТСК-Р.

Исходные данные: нагрузка по пару 18000 кг/ч, нагрузка по жидкости 25000 кг/ч; плотность паров  $\rho_n = 4,25$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкости  $\rho_ж = 800$  кг/м<sup>3</sup>; поверхностное натяжение  $\sigma = 0,02$  н/м, число ступеней изменения концентрации  $n_{ст} = 24$ ; расстояние между тарелками 0,7 м. Вспениваемость жидкости средняя, давление в колонне атмосферное.

2.76. Рассчитать и подобрать нормализованную барабанную сушилку для сушки диаммофоса.

Исходные данные: производительность 15000 кг/час; начальное влагосодержание материала (в масс. %)  $w_1 = 4\%$ , конечное влагосодержание  $w_2 = 0,5\%$ ; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 200^\circ\text{C}$ ; на выходе из сушилки  $t_2 = 90^\circ\text{C}$ ; коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 1,05$  кДж/(кг·К), плотность высушенного материала  $\rho_m =$

1100 кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность материала  $\rho_n = 1850$  кг/м<sup>3</sup>, средний размер частиц материала  $d_{ср} = 2$  мм.

2.77. Рассчитать и подобрать нормализованную барабанную сушилку для сушки хлористого аммония.

Исходные данные: производительность 2000 кг/час, начальное влагосодержание материала (в масс. %)  $w_1 = 8\%$ , конечное  $w_2 = 0,8\%$ , температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 400^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 120^\circ\text{C}$ , коэффициент теплоемкости сухого материала  $c_m = 1,2$  кДж/(кг·К); плотность материала  $\rho = 1100$  кг/м<sup>3</sup>; средний размер частиц материала  $d_{ср} = 0,2$  мм.

2.78. Рассчитать и подобрать нормализованную барабанную сушилку для сушки хлористого калия.

Исходные данные: производительность 3000 кг/ч; начальное влагосодержание материала  $w_1 = 7\%$ , конечное влагосодержание  $w_2 = 0,5\%$ ; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 700^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_2 = 170^\circ\text{C}$ , насыпная плотность материала  $\rho_m = 1650$  кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность высушенного материала  $\rho_n = 1000$  кг/м<sup>3</sup>; средний размер частиц материала  $d_{ср} = 1,5$  мм; удельная теплоемкость сухого продукта  $c_m = 1,16$  кДж/(кг·К).

2.79. Рассчитать ректификационную колонну с тарелками ТС-Р при следующих исходных данных: нагрузка по пару 25000 кг/ч; нагрузка по жидкости 30000 кг/ч; плотность паров  $\rho_n = 4,25$  кг/м<sup>3</sup>; поверхностное натяжение  $\sigma = 0,02$  н/м; плотность жидкости  $\rho_ж = 880$  кг/м<sup>3</sup>; число ступеней изменения концентрации  $n_{ст} = 25$ ; расстояние между тарелками 0,5 м. Вспениваемость жидкости средняя, давление в колонне атмосферное.

2.80. Рассчитать ректификационную колонну с тарелками ТС-Р при следующих исходных данных: нагрузка по пару 15000 кг/ч; нагрузка по жидкости 28000 кг/ч; плотность паров  $\rho_n = 4,25$  кг/м<sup>3</sup>; поверхностное натяжение  $\sigma = 0,02$  н/м; плотность жидкости  $\rho_ж = 880$  кг/м<sup>3</sup>; число ступеней изменения концентрации  $n_{ст} = 25$ ; расстояние между тарелками 0,5 м. Вспениваемость жидкости средняя, давление в колонне атмосферное.

2.81. Рассчитать пропановую колонну газофракционирующей установки.

Исходные данные: состав сырья (в мольн. %)  $\text{CH}_4 - 0,3$ ;  $\text{C}_2\text{H}_6 - 0,7$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8 - 38$ ;  $n\text{-C}_4\text{H}_{10} - 43$ ;  $n\text{-C}_5\text{H}_{12} - 18$ ; содержание  $n\text{-C}_4\text{H}_{10}$  в дистилляте должно быть не менее 1,3 мольн. %; содержание  $\text{C}_3\text{H}_8$  в остатке – не более 4 мольн.%; производительность колонны по сырью 10 000 кг/ч; температура сырья 353 К; начальная температура воды, подаваемой в конденсатор – холодильник колонны 296 К. Методика расчета изложена в [17].

2.82. Рассчитать отпарную рафинатную колонну установки очистки масел парными растворителями.

Исходные данные: в качестве сырья используется смесь рафината и растворителя; производительность колонны по сырью 50 000 кг/ч; содержание растворителя в сырье 2 масс.%; состав растворителя состоит из равных массовых долей фенола и крезоло (по 50 масс.%; давление в колонне 101,3 кПа; плотность рафината при температуре 293 К составляет 880 кг/м<sup>3</sup>; молекулярные массы рафината 620 кг/кмоль, растворителя 100 кг/кмоль; содержание растворителя в нижнем продукте (остатке) колонны 0,005 масс.%; расход перегретого водяного пара 2 масс.% на сырье. Методика расчета и некоторые справочные величины изложены в [17].

2.83. Рассчитать тарельчатую абсорбционную колонну, оснащенную ситчатыми тарелками, для поглощения из газовой смеси двуокиси углерода водой.

Исходные данные: расход газовой смеси на входе в абсорбер 1200 кмоль/час; давление в колонне равно 1,5 МПа; содержание двуокиси углерода в газовой смеси равно 0,2 мольн.; на орошение подается вода с температурой 20<sup>0</sup>С; требуемая степень извлечения двуокиси углерода 85%.

2.84. Рассчитать и подобрать противоточный абсорбер для поглощения аммиака из газовой смеси раствором серной кислоты.

Исходные данные: расход газовой смеси 5 м<sup>3</sup>/с; концентрация аммиака в газовой смеси на входе  $2 \cdot 10^{-3}$  кмоль/м<sup>3</sup>; на выходе –  $0,04 \cdot 10^{-3}$  кмоль/м<sup>3</sup>; концентрация серной кислоты на входе составляет 0,6

кмоль/м<sup>3</sup>, на выходе – 0,5 кмоль/м<sup>3</sup>. Объемный коэффициент массоотдачи в газовой фазе составляет 0,5 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·с); в жидкой фазе  $0,5 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·с). Константа фазового равновесия  $m_c = 0,75 \cdot 10^{-3}$ . Методика расчета изложена в [50].

2.85. Рассчитать десорбцию аммиака из водного раствора глужим паром.

Исходные данные: количество поступающей жидкости 20000 кг/ч. Массовые доли аммиака в водном растворе на входе 0,02, на выходе 0,002; массовая доля аммиака в парогазовой смеси 0,9. Общее давление в колонне 0,1 МПа, температура поступающей жидкости 80<sup>0</sup>С. Для построения процесса использовать тепловую диаграмму для системы  $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$  или воспользоваться рекомендациями [50].

2.86. Рассчитать экстракционную колонну для разделения ароматического углеводорода о-ксилола и парафинового углеводорода н-октана, используя в качестве растворителя диметилсульфоксид.

Исходные данные: производительность колонны по сырью 25000 кг/ч; состав сырья: о-ксилола 30 объемн.% и н-октана 70 объемн.%; содержание о-ксилола в рафинате 5 объемн.%; относительные плотности о-ксилола  $\rho_{277}^{293} = 0,8668$ , н-октана  $\rho_{277}^{293} = 0,6849$ . Температура процесса 313 К. Методика расчета процесса разделения приведена в литературе [17].

2.87. Рассчитать насадочный абсорбер для поглощения диоксида углерода водой из газовой смеси. Для выбранного аппарата рассчитать его гидравлическое сопротивление.

Исходные данные: расход газовой смеси 1000 кмоль/ч; давление в аппарате 1,6 МПа. Состав газовой смеси (объемн.%):  $\text{CO}_2 - 30,2$ ;  $\text{CO} - 4,0$ ;  $\text{H}_2 - 48$ ;  $\text{N}_2 - 17,8$ . На орошение подается чистая вода при температуре 25<sup>0</sup>С. Степень извлечения диоксида углерода составляет 95%. Методика технологического расчета представлена в [50].

2.88. Рассчитать и подобрать нормализованную ректификационную колонну непрерывного действия с ситчатыми тарелками для получения 100 000 тонн этилена в год. Колонна работает при давлении 1,5 МПа. Требуемое содержание этилена в дистилляте 98% (масс.), со-

держания этилена в кубовом остатке 4% (масс.). Состав исходной смеси: 57% (масс.) этилена и 43% (масс.) этана. Исходная смесь поступает в колонну при температуре кипения.

2.89. Рассчитать и подобрать нормализованную барабанную сушилку для сушки диаммофоса.

Исходные данные: производительность сушилки равна 25 000 кг/ч; начальное влагосодержание  $W_1 = 0,06$  кг/кг, конечное  $W_2 = 0,004$  кг/кг; температура воздуха на входе в сушилку  $t_1 = 200^\circ\text{C}$ ; на выходе из сушилки  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ ; коэффициент теплоемкости сухого материала  $C_m = 1,15$  кДж/(кг·К), плотность высушенного материала  $\rho_m = 1150$  кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность материала  $\rho_n = 1900$  кг/м<sup>3</sup>, средний размер частиц материала  $d_{cp} = 1,5$  мм.

2.90. Рассчитать трубчатый абсорбер с водяным охлаждением для поглощения аммиака из аммиачно-воздушной смеси водой.

Исходные данные: расход газа 0,66 м<sup>3</sup>/с (при 0°C и 0,1 МПа); температура 40 °C; давление 0,3 МПа. Содержание аммиака в газовой смеси 40% (объемн.), температура воды на входе 20 °C, температура охлаждающей воды 10 °C. Требуемая степень извлечения аммиака из газа 99,5%, мольная доля NH<sub>3</sub> на выходе составляет 0,1.

2.91. Рассчитать барботажный абсорбер с провальными (решетчатыми) тарелками для поглощения SO<sub>3</sub> серной кислотой.

Исходные данные: количество поступающего газа 0,25 кмоль/с; содержание SO<sub>3</sub> в поступающей газовой смеси 7% (мольн.); на орошение подается 98,3% серная кислота; выходящая из колонны жидкость – олеум с содержанием 20% (мольн.) свободного SO<sub>3</sub>; температура газа на входе 100°C; температура поступающей кислоты 50°C; температура охлаждающей воды 25 °C. Требуемая степень извлечения SO<sub>3</sub> 99,9%.

2.92. Рассчитать насадочный абсорбер для поглощения HCl водой.

Исходные данные: количество поступающего газа 0,15 кмоль/с; температура 70 °C, давление 0,1 МПа; содержание HCl в поступающей газовой смеси 0,24 (мольн.); исходная газовая смесь не содержит водяных паров; концентрация получаемой соляной кислоты 0,16 (мольн.); степень извлечения HCl из газовой смеси 95%; объемные

коэффициенты массопередачи при поглощении хлористого водорода 0,044 кмоль/(м<sup>3</sup>·с); при испарении воды 0,05 кмоль/(м<sup>3</sup>·с); объемный коэффициент теплоотдачи от газа к жидкости составляет 1,3 кВт/(м<sup>3</sup>·К); температура поступающей на абсорбцию воды 50 °C.

2.93. Рассчитать барботажный абсорбер для поглощения углеводородов из смеси с инертным газом поглотителем (маслом).

Исходные данные: состав газовой смеси (в мольных долях) пропан 0,2; бутан 0,18; изопентан 0,14; расход газовой смеси 1,2 кг/с, удельный расход поглотителя 1,2 кг/кг; давление в абсорбере 0,4 МПа; температура 40 °C; содержание компонентов в поступающем поглотителе равно нулю; изменением температуры в абсорбере пренебречь; на тарелках принять схему полного перемешивания жидкости; константы фазового равновесия  $m$  и числа единиц переноса на тарелку  $n$  соответственно равны: для пропана 3 и 0,5; для бутана 0,9 и 0,9; для изопентана 0,43 и 1,57. Необходимая степень извлечения бутана (ключевого компонента) 0,92. Методика расчета приведена в литературе [50].

2.94. Рассчитать противоточный абсорбер для поглощения CO<sub>2</sub> из газовой смеси водным раствором моноэтаноламина (МЭА).

Исходные данные: расход газовой смеси 5000 м<sup>3</sup>/ч (при 0 °C и 0,1 МПа); расход жидкости 100 м<sup>3</sup>/ч; давление процесса 0,25 МПа, температура 30 °C; содержание CO<sub>2</sub> в поступающей смеси 25% (объемн.); требуемая степень извлечения 0,95. Содержание МЭА в растворе 2,5 кмоль/м<sup>3</sup>. Степень карбонизации (мольное отношение CO<sub>2</sub> : МЭА) в поступающем растворе 0,15.

Основные физико – химические константы и коэффициенты : коэффициент диффузии CO<sub>2</sub> в жидкой фазе  $1,4 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с; константа скорости реакции 10200 м<sup>3</sup>/(кмоль·с); константа фазового равновесия 1,65; удельная поверхность контакта 140 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>; объемный коэффициент массоотдачи в газовой фазе 0,2 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·с); коэффициент массоотдачи в жидкой фазе  $0,22 \cdot 10^{-3}$  м/с.

2.95. Рассчитать пропановую колонну газодиффузионной установки.

Исходные данные: состав сырья (в мольных %) CH<sub>4</sub> – 0,35; C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> – 0,73; C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> – 37,51; n – C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> – 42,69; n – C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> – 18,72; содержание n –

$C_4H_{10}$  в дистилляте должно быть не менее 1,3 мольн.%; содержание  $C_3H_8$  в остатке – не более 4 мольн.%; производительность колонны по сырью 30000 кг/ч; температура сырья 353 К; начальная температура воды, подаваемой в конденсатор – холодильник колонны 296 К. Методика расчета приведена в литературе [17].

2.96. Рассчитать ректификационную колонну, оснащенную колпачковыми тарелками, для разделения смеси углеводородов пропан – и.бутан. Определить максимальную допустимую скорость движения пара, отнесенную к полному сечению колонны; расчетный диаметр аппарата; гидравлическое сопротивление тарелок; межтарельчатое расчетное расстояние и провести сравнение вышеуказанной тарелки с клапанной.

Исходные данные: расход пара 60000 кг/ч, расход жидкости 70 000 кг/ч; давление в аппарате 1,5 МПа, температура 350 К.

Состав компонентов в потоках пара  $y$  и жидкости  $x$ :  $y_1=x_1=18\%$  (мольн.),  $y_2=x_2=82\%$  (мольн.).

2.97. Рассчитать ректификационную колонну с клапанными тарелками для разделения смеси н.пентан – н.гексан. Определить максимальную допустимую скорость движения пара в полном сечении колонны ; рассчитать диаметр аппарата; гидравлическое сопротивление тарелок; расчетное межтарельчатое расстояние; дать описание принципа работы переливных устройств; рассмотреть влияние уноса жидкости, диапазона устойчивой работы на условия работы тарелок.

Исходные данные: расход пара 50000 кг/ч, жидкости 35000 кг/ч; давление в аппарате 0,3 МПа, температура 350 К.

Состав компонентов в потоках пара  $y$  и жидкости  $x$ :  $y_1=x_1=30\%$  (масс.),  $y_2=x_2=70\%$  (масс.).

2.98. Рассчитать ректификационную колонну с ситчатыми тарелками для разделения смеси углеводородов и.пентан – н.пентан. Определить максимальную допустимую скорость движения пара, отнесенную к полному сечению колонны; расчетный диаметр аппарата; гидравлическое сопротивление тарелок; расчетное межтарельчатое расстояние, и провести сравнение вышеуказанной тарелки с клапанной.

Исходные данные: расход пара 40000 кг/ч, жидкости 30000 кг/ч; давление в аппарате 0,25 МПа, температура 335 К.

Состав компонентов в потоках пара  $y$  и жидкости  $x$ :  $y_1=x_1=20\%$  (масс.),  $y_2=x_2=80\%$  (масс.).

2.99. Рассчитать ректификационную колонну с колпачковыми тарелками для разделения смеси углеводородов н.бутан – н.пентан. Определить максимальную допустимую скорость движения пара, отнесенную к полному сечению колонны; расчетный диаметр аппарата; гидравлическое сопротивление тарелок; расчетное межтарельчатое расстояние, и провести сравнение колпачковой тарелки с ситчатой.

Исходные данные: расход пара 45000 кг/ч, жидкости 60000 кг/ч; давление в аппарате 0,75 МПа, температура 350 К.

Состав компонентов в потоках пара  $y$  и жидкости  $x$ :  $y_1=x_1=15\%$  (масс.),  $y_2=x_2=85\%$  (масс.).

2.100. Рассчитать ректификационную колонну с колпачковыми тарелками для разделения смеси и.бутан – н.бутан. Определить максимальную допустимую скорость движения пара в полном сечении колонны; рассчитать диаметр аппарата; гидравлическое сопротивление тарелок; расчетное межтарельчатое расстояние; дать описание принципа работы переливных устройств; рассмотреть влияние уноса жидкости, диапазона устойчивой работы на условия работы тарелок.

Исходные данные: расход пара 70000 кг/ч, жидкости 65000 кг/ч; давление в аппарате 0,735 МПа, температура 333 К.

Состав компонентов в потоках пара  $y$  и жидкости  $x$ :  $y_1=x_1=75\%$  (масс.),  $y_2=x_2=25\%$  (масс.).

## КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ №2

Контрольное задание №2 охватывает второй раздел курсов «Машины и аппараты химических производств» и «Оборудование нефтегазопереработки», и включает в себя следующие разделы:

3. Химические и емкостные аппараты, конструкции, методы расчета и проектирования.

4. Аппараты для разделения неоднородных систем. Конструкции, методы расчета и проектирования.

Вторая контрольная работа выполняется на 6 курсе, 11 семестр.

### Варианты контрольных заданий

Начальная буква фамилии студента	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	1	30	86	72	58	120	136	78	68	121
Б	10	119	43	67	40	29	58	129	144	71
В	21	28	85	20	105	97	95	76	39	104
Г	135	79	128	96	56	121	146	104	137	77
Д	123	95	60	91	19	19	38	96	103	69
Е	66	145	42	103	75	67	9	40	57	15
Ж	42	18	107	109	106	56	108	74	112	24
З	55	41	54	83	17	70	84	102	69	90
И	110	8	59	102	122	18	39	37	88	130
К	127	93	41	82	131	82	16	17	107	59
Л	25	84	27	11	73	53	64	81	67	116
М	81	98	43	23	56	44	67	57	117	15
Н	65	58	7	101	38	35	115	36	111	7
О	61	52	6	26	133	97	5	54	6	89
П	118	12	126	22	107	100	143	84	16	106
Р	26	134	37	70	4	45	120	125	116	14
С	119	8	31	80	142	108	83	47	110	138
Т	32	140	64	34	132	99	66	36	68	49
У	44	94	25	88	118	24	51	46	100	13
Ф	55	2	2	71	13	45	101	62	15	99
Х	87	141	50	122	3	53	115	79	23	80

Начальная буква фамилии студента	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ц	148	33	92	32	98	35	65	12	46	124
Ч	13	20	86	72	114	85	5	109	91	78
Ш	10	49	54	62	34	53	112	14	48	29
Щ	1	64	149	27	60	11	147	92	89	93
Э	33	31	111	4	51	75	114	28	117	63
Ю	91	63	73	90	48	21	123	76	3	77
Я	113	9	139	52	74	30	113	22	50	47

### Номера вопросов и задач к контрольному заданию №2

№ варианта	№ вопросов	№ задач	№ варианта	№ вопросов	№ задач
<b>1</b>	3.1; 4.46	3.91; 4.13	<b>76</b>	3.99; 4.64	3.32; 4.112
<b>2</b>	3.132; 4.70	3.12; 4.97	<b>77</b>	3.72; 4.141	3.108; 4.24
<b>3</b>	3.40; 4.104	3.53; 4.118	<b>78</b>	3.36; 4.34	3.75; 4.88
<b>4</b>	3.2; 4.4	3.109; 4.48	<b>79</b>	3.149; 4.65	3.37; 4.138
<b>5</b>	3.112; 4.40	3.16; 4.120	<b>80</b>	3.76; 4.146	3.81; 4.90
<b>6</b>	3.41; 4.127	3.92; 4.55	<b>81</b>	3.93; 4.15	3.58; 4.85
<b>7</b>	3.82; 4.5	3.55; 4.78	<b>82</b>	3.120; 4.98	3.105; 4.18
<b>8</b>	3.5; 4.71	3.61; 4.116	<b>83</b>	3.13; 4.117	3.15; 4.91
<b>9</b>	3.110; 4.38	3.20; 4.14	<b>84</b>	3.127; 4.56	3.129; 4.51
<b>10</b>	3.43; 4.1	3.71; 4.82	<b>85</b>	3.54; 4.96	3.19; 4.113
<b>11</b>	3.136; 4.67	3.31; 4.92	<b>86</b>	3.141; 4.16	3.121; 4.19
<b>12</b>	3.84; 4.105	3.147; 4.33	<b>87</b>	3.17; 4.49	3.59; 4.99
<b>13</b>	3.6; 4.41	3.79; 4.145	<b>88</b>	3.56; 4.79	3.23; 4.21
<b>14</b>	3.45; 4.101	3.98; 4.148	<b>89</b>	3.146; 4.57	3.103; 4.52
<b>15</b>	3.115; 4.128	3.35; 4.63	<b>90</b>	3.62; 4.119	3.66; 4.84
<b>16</b>	3.86; 4.72	3.148; 4.1	<b>91</b>	3.21; 4.81	3.143; 4.123
<b>17</b>	3.46; 4.142	3.100; 4.35	<b>92</b>	3.94; 4.59	3.106; 4.22
<b>18</b>	3.8; 4.43	3.78; 4.94	<b>93</b>	3.137; 4.27	3.27; 4.111
<b>19</b>	3.131; 4.75	3.124; 4.140	<b>94</b>	3.64; 4.66	3.67; 4.136
<b>20</b>	3.87; 4.125	3.71; 4.82	<b>95</b>	3.119; 4.114	3.82; 4.37

№ варианта	№ вопросов	№ задач	№ варианта	№ вопросов	№ задач
21	3.49; 4.9	3.34; 4.149	96	3.25; 4.121	3.33; 4.23
22	3.116; 4.107	3.99; 4.64	97	3.123; 4.60	3.74; 4.87
23	3.10; 4.44	3.72; 4.141	98	3.69; 4.29	3.107; 4.54
24	3.89; 4.11	3.36; 4.34	99	3.29; 4.134	3.38; 4.137
25	3.51; 4.131	3.149; 4.65	100	3.96; 4.31	3.130; 4.25
26	3.111; 4.3	3.139; 4.132	101	3.71; 4.82	3.93; 4.15
27	3.39; 4.77	3.95; 4.80	102	3.31; 4.92	3.120; 4.98
28	3.3; 4.39	3.63; 4.58	103	3.147; 4.33	3.13; 4.117
29	3.133; 4.2	3.118; 4.26	104	3.79; 4.145	3.127; 4.56
30	3.83; 4.103	3.24; 4.95	105	3.98; 4.148	3.54; 4.96
31	3.144; 4.69	3.126; 4.115	106	3.35; 4.63	3.141; 4.16
32	3.4; 4.76	3.68; 4.28	107	3.148; 4.1	3.17; 4.49
33	3.150; 4.126	3.96; 4.61	108	3.100; 4.35	3.56; 4.79
34	3.42; 4.47	3.28; 4.109	109	3.78; 4.94	3.146; 4.57
35	3.113; 4.68	3.138; 4.144	110	3.124; 4.140	3.62; 4.119
36	3.44; 4.108	3.97; 4.30	111	3.122; 4.86	3.111; 4.3
37	3.90; 4.6	3.70; 4.62	112	3.14; 4.113	3.39; 4.77
38	3.134; 4.102	3.30; 4.150	113	3.57; 4.17	3.3; 4.39
39	3.7; 4.42	3.78; 4.32	114	3.104; 4.139	3.133; 4.2
40	3.85; 4.129	3.125; 4.93	115	3.18; 4.100	3.83; 4.103
41	3.47; 4.7	3.34; 4.149	116	3.101; 4.50	3.144; 4.69
42	3.135; 4.73	3.99; 4.64	117	3.60; 4.122	3.4; 4.76
43	3.114; 4.143	3.72; 4.141	118	3.22; 4.20	3.150; 4.126
44	3.48; 4.106	3.36; 4.34	119	3.128; 4.83	3.42; 4.47
45	3.9; 4.147	3.149; 4.65	120	3.65; 4.124	3.113; 4.68
46	3.88; 4.130	3.65; 4.124	121	3.102; 4.89	3.44; 4.108
47	3.50; 4.10	3.102; 4.89	122	3.67; 4.36	3.90; 4.6
48	3.117; 4.74	3.67; 4.36	123	3.26; 4.110	3.134; 4.102
49	3.11; 4.45	3.26; 4.110	124	3.142; 4.135	3.7; 4.42
50	3.52; 4.12	3.142; 4.135	125	3.74; 4.53	3.85; 4.129
51	3.91; 4.13	3.1; 4.46	126	3.32; 4.112	3.47; 4.7
52	3.12; 4.97	3.132; 4.70	127	3.108; 4.24	3.135; 4.73

№ варианта	№ вопросов	№ задач	№ варианта	№ вопросов	№ задач
53	3.53; 4.118	3.40; 4.104	128	3.75; 4.88	3.114; 4.143
54	3.109; 4.48	3.2; 4.4	129	3.37; 4.138	3.48; 4.106
55	3.16; 4.120	3.112; 4.40	130	3.81; 4.90	3.9; 4.147
56	3.92; 4.55	3.41; 4.127	131	3.58; 4.85	3.21; 4.81
57	3.55; 4.78	3.82; 4.5	132	3.105; 4.18	3.88; 4.130
58	3.61; 4.116	3.5; 4.71	133	3.15; 4.91	3.50; 4.10
59	3.20; 4.14	3.110; 4.38	134	3.129; 4.51	3.117; 4.74
60	3.139; 4.132	3.43; 4.1	135	3.19; 4.113	3.11; 4.45
61	3.95; 4.80	3.122; 4.86	136	3.121; 4.19	3.52; 4.12
62	3.63; 4.58	3.14; 4.113	137	3.59; 4.99	3.49; 4.9
63	3.118; 4.26	3.57; 4.17	138	3.23; 4.21	3.116; 4.107
64	3.24; 4.95	3.104; 4.139	139	3.103; 4.52	3.10; 4.44
65	3.126; 4.115	3.18; 4.100	140	3.66; 4.84	3.89; 4.11
66	3.68; 4.28	3.101; 4.50	141	3.143; 4.123	3.51; 4.131
67	3.96; 4.61	3.60; 4.122	142	3.106; 4.22	3.94; 4.59
68	3.28; 4.109	3.22; 4.20	143	3.27; 4.111	3.137; 4.27
69	3.138; 4.144	3.128; 4.83	144	3.67; 4.136	3.64; 4.66
70	3.97; 4.30	3.65; 4.124	145	3.82; 4.37	3.119; 4.114
71	3.70; 4.62	3.102; 4.89	146	3.33; 4.23	3.25; 4.121
72	3.30; 4.150	3.67; 4.36	147	3.74; 4.87	3.123; 4.60
73	3.78; 4.32	3.26; 4.110	148	3.107; 4.54	3.69; 4.29
74	3.125; 4.93	3.142; 4.135	149	3.38; 4.137	3.29; 4.134
75	3.34; 4.149	3.74; 4.53	150	3.130; 4.25	3.96; 4.31

### Вопросы к контрольному заданию № 2 по разделу «Химические и емкостные аппараты»

3.1. Горизонтальные цельносварные аппараты с эллиптическими днищами. Область применения, назначение, номинальные объемы и условные давления. Привести схему конструкции, таблицу штуцеров, схему опоры с условными обозначениями конструктивных параметров. Дать пояснение условного обозначения аппарата и привести пример.

3.2. Горизонтальные цельносварные аппараты с эллиптическими днищами и трубным пучком. Назначение, область применения. Номинальные объемы, условные давления и площадь поверхности теплообмена. Привести схему конструкции аппарата и встроенного теплообменника с условными обозначениями конструктивных параметров. Указать таблицу штуцеров и схему опорной конструкции. Привести пример условного обозначения аппарата.

3.3. Вертикальные цельносварные аппараты с эллиптическими днищами. Назначение, область применения, номинальные объемы и условные давления. Привести схему конструкции аппарата, таблицу штуцеров, схему опоры с условными обозначениями конструктивных параметров. Дать пояснение условного обозначения аппарата и привести пример.

3.4. Емкостные аппараты. Дать общую характеристику (общие сведения) стальных сварных аппаратов и условия их расчета. Указать материальное исполнение корпуса аппарата (марку стали), привести характеристику штуцеров, условные проходы штуцеров и условные давления фланцев.

3.5. Вертикальные цельносварные аппараты с эллиптическими днищами и рубашкой. Назначение, область применения. Номинальные объемы, условные давления и площадь поверхности теплообмена. Привести схему конструкции аппарата и крепление теплообменной рубашки к корпусу аппарата. Указать таблицу штуцеров, схему опорной конструкции и ее крепление к аппарату. Привести на схеме конструкции условные обозначения конструктивных параметров и условное обозначение аппарата.

3.6. Вертикальные аппараты с эллиптическим днищем и крышкой. Назначение, область применения, номинальные объемы и условные давления. Привести схему конструкции аппарата, таблицу штуцеров, схему опоры с условными обозначениями конструктивных параметров. Дать пояснение условного обозначения аппарата и привести пример.

3.7. Вертикальные аппараты с эллиптическими днищем и крышкой и рубашкой. Назначение, область применения, номинальные объемы, условные давления и площадь поверхности теплообмена. Привести схему конструкции аппарата с условными обозначениями конструктивных параметров. Показать крепление теплообменной рубашки к корпусу аппарата, указать таблицу штуцеров аппарата, схему опорной конструкции и ее крепление к аппарату. Условное обозначение аппарата.

3.8. Вертикальные цельносварные аппараты с нижним коническим ( $90^\circ$ ) отбортованным и верхним эллиптическим днищами. Область применения, назначение, номинальные объемы, условные давления. Привести схему аппарата с условными обозначениями конструктивных параметров. Указать таблицу штуцеров, схему опоры и условия расчета аппарата. Дать пояснение условного обозначения аппарата и привести пример.

3.9. Вертикальные цельносварные аппараты с нижним коническим ( $90^\circ$ ) отбортованным и верхним эллиптическим днищем и рубашкой. Назначение, область применения, номинальные объемы, условные давления и площадь поверхности теплообмена. Привести схему конструкции аппарата и крепление теплообменной рубашки к корпусу аппарата. Указать таблицу штуцеров, схему опорной конструкции и ее крепление к аппарату. Привести на схеме аппарата условные обозначения конструктивных параметров. Условное обозначение аппарата, привести пример.

3.10. Вертикальные аппараты с коническим ( $90^\circ$ ) отбортованным днищем и эллиптической крышкой. Назначение, область применения, номинальные объемы и условные давления. Привести схему аппарата, таблицу штуцеров, схему опоры с условными обозначениями конструктивных параметров. Дать пояснение условного обозначения аппарата и привести пример.

3.11. Горизонтальные цельносварные аппараты с коническими ( $140^\circ$ ) неотбортованными днищами. Область применения, назначение, номинальные объемы и рабочее давление. Привести схему аппарата с условными обозначениями конструктивных параметров. Таблица шту-

церов, схема опоры. Условия расчета аппаратов. Условные обозначения аппаратов, привести пример.

3.12. Вертикальные аппараты с коническим ( $90^\circ$ ) отбортованным днищем и эллиптической крышкой, с рубашкой. Назначение, область применения, номинальные объемы, условные давления и площадь поверхности теплообмена. Привести схему аппарата с условными обозначениями конструктивных параметров. Указать таблицу штуцеров, схему опоры и характер крепления теплообменной рубашки и опоры вертикального аппарата. Привести пример условного обозначения аппарата.

3.13. Горизонтальные цельносварные аппараты с коническими ( $140^\circ$ ) неотбортованными днищами и погружным насосом. Область применения, назначение, номинальные объемы и рабочее давление. Привести схему аппарата с условными обозначениями конструктивных параметров. Тип погружного насоса и физические свойства перекачиваемой жидкости при опорожнении сосуда. Таблица штуцеров, схема опоры. Условия расчета аппаратов. Привести пример условного обозначения аппарата с номинальным объемом  $10,0 \text{ м}^3$  и диаметром  $D=2,0 \text{ м}$  данной конструкции.

3.14. Вертикальные цельносварные аппараты с нижним коническим ( $90^\circ$ ) неотбортованным и верхним плоским днищами. Назначение, область применения и номинальные объемы. Привести схему аппарата с условными обозначениями конструктивных параметров. Таблица штуцеров, схема опор на лапах и стойках. Условные обозначения аппаратов, привести пример.

3.15. Вертикальные цельносварные аппараты с нижним коническим ( $90^\circ$ ) неотбортованным и верхним плоским днищами, со змеевиком. Назначение, область применения, номинальные объемы и площадь поверхности теплообмена. Привести схему аппарата с условными обозначениями параметров. Таблица штуцеров, схема опор на лапах и стойках и их крепление к корпусу аппарата. Крепление змеевика к корпусу аппарата. Условное обозначение аппарата, привести пример.

3.16. Вертикальные цельносварные аппараты с плоскими днищами. Назначение, область применения и номинальные объемы. Привести схему аппарата с условными обозначениями параметров. Таблица штуцеров. Условное обозначение аппарата, привести пример условного обозначения аппарата диаметром  $D=2,2 \text{ м}$  и номинальным объемом  $10,0 \text{ м}^3$ .

3.17. Вертикальные цельносварные аппараты с плоскими днищами, змеевиком. Назначение, область применения, номинальные объемы и площадь поверхности теплообмена. Привести схему аппарата с условными обозначениями параметров. Таблица штуцеров. Крепление змеевика к корпусу аппарата. Условное обозначение аппарата, привести пример условного обозначения аппарата с номинальным объемом  $25,0 \text{ м}^3$ .

3.18. Вертикальные стальные аппараты с перемешивающими устройствами. Назначение, область применения, материальное исполнение корпуса (марки сталей). Состав аппарата: корпус, крышки, рубашки, змеевики, отражательные перегородки, опоры, штуцера, уплотнения. Предельные рабочее избыточное и остаточное давления в аппарате. Таблица штуцеров и их назначение. Диаметры корпуса, рекомендации по применению мешалок, типы мотор-редукторов. Привести схему аппарата исполнения 0003 с условными обозначениями конструктивных параметров. Условные обозначения исполнения аппаратов и их расшифровка.

3.19. Вертикальные стальные аппараты с перемешивающими устройствами. Назначение, область применения, исполнение корпуса. Привести схему аппарата исполнения 0023 с условными обозначениями конструктивных параметров. Состав аппарата: корпус, крышки, тип мешалки, отражательные перегородки, штуцера и уплотнения. Таблица штуцеров, техническая характеристика аппарата исполнения 0023-1.0,6. Тип опорной конструкции и их размеры.

3.20. Вертикальный стальной аппарат с перемешивающим устройством и змеевиком исполнения 0033. Назначение аппарата, его состав, исполнение корпуса, тип мешалки и ее конструкция. Привести схему аппарата вышеуказанного исполнения с условными обозначениями

конструктивных параметров. Конструкция опоры и типы мотор-редукторов. Техническая характеристика аппарата исполнения 0033-1.0,6, таблица штуцеров и их назначение.

3.21. Вертикальный стальной аппарат с перемешивающим устройством исполнения 0010. Назначение и область применения аппарата, его состав: корпус, днища, тип мешалки, мотор-редуктор, тип уплотнения. Привести схемы или эскизы узлов оборудования и схему аппарата исполнения 0010-1.0,6 с условными обозначениями конструктивных параметров. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

3.22. Вертикальный стальной аппарат с перемешивающим устройством исполнения 0103. Назначение, область применения аппарата. Материальное исполнение корпуса аппарата, предельные температура и избыточное давление. Привести схему аппарата с эллиптическим днищем и съемной эллиптической крышкой исполнения 0103-6,3.0,6 с основными условными обозначениями конструктивных параметров. Основные узлы оборудования. Таблица штуцеров, их назначение и техническая характеристика.

3.23. Вертикальный стальной аппарат с перемешивающим устройством и отражательными перегородками исполнения 0123. Назначение и область применения аппарата. Основные узлы оборудования: корпус с рубашкой, крышки, днища, тип мешалки, штуцера, уплотнение аппаратное, сальниковое или торцовое уплотнения (эскизы или схемы). Привести схему аппарата исполнения 0123-3,2.0,6 с условными обозначениями конструктивных параметров. Техническая характеристика, таблица штуцеров, их назначение.

3.24. Вертикальный стальной аппарат с эллиптическим днищем и съемной эллиптической крышкой с перемешивающим устройством исполнения 0110-2.0,6. Область применения и назначение аппарата, материальное исполнение узлов аппарата. Привести схему аппарата вышеуказанного исполнения с условными обозначениями конструктивных параметров. Предельные температуры и избыточное давление. Привести эскизы мешалки и уплотнения. Таблица штуцеров, их назначение, техническая характеристика.

3.25. Вертикальный стальной аппарат с перемешивающим устройством исполнения 1003. Назначение и область применения аппарата. Аппарат цельносварной с эллиптическим днищем и крышкой исполнения 1003-10.0,6 (привести схему, состав и материальное исполнение). Характер опорной конструкции, типы мотор-редукторов. Торцовое уплотнение (ее схема, состав и принцип действия). Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

3.26. Вертикальный цельносварной аппарат с эллиптическим днищем и крышкой, турбинной мешалкой и отражательными перегородками исполнения 1023. Область применения, назначение аппарата. Технические требования к материалам, приемке и методам испытаний. Привести схему аппарата исполнения 1023-10.0,6 с условными обозначениями конструктивных параметров. Основные узлы оборудования, их назначение. Привести схему сальникового уплотнения. Назначение и таблица штуцеров, техническая характеристика.

3.27. Аппарат вертикальный цельносварной с перемешивающим устройством и змеевиком исполнения 1033. Назначение, область применения аппарата. Основные материалы, используемые для изготовления аппарата. Типы применяемых опор (в виде лап или стоек). Привести схему аппарата с цельносварными днищем и крышкой исполнения 1033-16.0,6 с условными обозначениями конструктивных параметров. Торцовое уплотнение (схема, состав, принцип действия). Техническая характеристика, таблица штуцеров.

3.28. Вертикальные стальные аппараты с перемешивающими устройствами исполнения 1010. Назначение, область применения, исполнение корпуса и его условное давление. Технические требования к материалам, изготовлению, приемке и методам испытаний. Змеевики и опоры (схема, конструкция, принцип работы). Привести схему цельносварного аппарата с эллиптическим днищем и крышкой исполнения 1010-16.0,6 с условными обозначениями конструктивных параметров. Основные узлы, принцип действия. Техническая характеристика, таблица штуцеров.

3.29. Аппараты цельносварные с эллиптическими днищем и крышкой, с гладкой приварной рубашкой исполнения 1103. Назначение, область применения аппарата. Основные узлы оборудования: корпус с рубашкой, крышка и днище, штуцера, мешалка, мотор-редуктор, опоры (их состав и назначение). Привести схему аппарата исполнения 1103-10.0,6 с геометрическими размерами оборудования. Техническая характеристика, таблица штуцеров.

3.30. Вертикальный стальной цельносварной аппарат исполнения 1123. Назначение, область применения, номинальные объемы и избыточные давления аппарата. Основные узлы оборудования, требования, предъявляемые к изготовлению, монтаж и гидравлические испытания сосуда. Привести схему аппарата исполнения 1123.2-25.0,6 с основными геометрическими размерами. Техническая характеристика, таблица штуцеров.

3.31. Аппараты вертикальные цельносварные с рамной мешалкой без внутренних устройств исполнения 1110. Область применения, назначение аппарата. Рекомендации по процессам, осуществляемым в аппарате. Основные узлы аппарата (их назначение и принцип работы). Привести схему аппарата с эллиптическими днищем и крышкой и гладкой приварной рубашкой исполнения 1110-25.0,6 с геометрическими размерами оборудования и схему соединения привода вала мотор редуктора с валом мешалки. Техническая характеристика аппарата.

3.32. Аппараты цельносварные с эллиптическими днищами и крышкой, с рубашкой из полутруб исполнения 1203. Назначение и область применения аппарата. Предельные значения рабочих температур и избыточных давлений. Технические требования к материалам. Привести схему вертикального аппарата с турбинной открытой мешалкой исполнения 1203-16.0,6 с геометрическими размерами. Основные узлы. Привести схему подвижного соединения вала мотор-редуктора с валом мешалки.

3.33. Аппарат вертикальный цельносварной с турбинной мешалкой и рубашкой из полутруб исполнения 1223-16.0,6. Привести схему аппарата и общий вид мешалки. Показать характер соединения вала мотор-

редуктора с валом мешалки (жесткий или подвижный). Принцип действия аппарата. Пуск аппарата и его эксплуатация. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

3.34. Вертикальные стальные аппараты с перемешивающими устройствами. Типы аппаратов и перемешивающих устройств. Диаметры аппаратов, рекомендации по применению мешалок, типы мотор-редукторов и уплотнения. Привести схему цельносварного аппарата с рамной мешалкой и рубашкой из полутруб исполнения 1210-50.0,6. Назначение, область применения. Основные узлы аппарата (схемы, состав, принцип действия). Привод с подвижным соединением вала мотор-редуктора с валом мешалки. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

3.35. Аппараты вертикальные с плоским днищем и съёмной плоской крышкой исполнения 8003. Назначение, область применения аппарата. Основные узлы оборудования, температура и давление внутренней среды, конструкционные материалы. Привести схему аппарата с турбинной мешалкой исполнения 8003-5.0 с геометрическими размерами (сальниковое уплотнение и соединение вала привода с валом мешалки). Техническая характеристика, таблица штуцеров.

3.36. Аппарат вертикальный с турбинной мешалкой и отражательными перегородками исполнения 8023-6,3.0 (привести схему, основные узлы и принцип действия). Приводы типа ПЭМ, их обозначения, мощность и частота вращения выходного вала (привести схему привода ПЭМ-50, исполнения П). Монтаж и демонтаж аппарата (привести алгоритм разборки). Техническая характеристика, назначение и таблица штуцеров.

3.37. Аппарат вертикальный с плоским днищем и съёмной плоской крышкой исполнения 8033. Назначение, область применения аппарата. Технические требования к материалам, изготовлению, приемке и методам испытаний. Габариты оборудования. Привести схему аппарата с турбинной мешалкой и змеевиком исполнения 8033-2.0 (показать соединения крышки с корпусом, торцового уплотнения и вала привода с валом мешалки). Техническая характеристика, таблица штуцеров.

3.38. Аппараты вертикальные цельносварные с плоскими днищем и крышкой исполнения 9003. Область применения, назначение аппарата. Материальное исполнение корпуса аппарата, габариты оборудования. Опоры (конструкция, состав). Привести схему аппарата с турбинной мешалкой без внутренних устройств исполнения 9003-16.0 с геометрическими размерами. Принцип действия аппарата, основные узлы (их назначение). Техническая характеристика, таблица штуцеров.

3.39. Аппарат цельносварной с плоскими днищем и крышкой, турбинной мешалкой и отражательными перегородками исполнения 9023.2-25.0. Привести схемы аппарата, сальникового уплотнения, соединения вала привода с валом мешалки и уплотнение аппарата. Преимущества и недостатки аппарата. Пуск, эксплуатация и ремонт оборудования. Техническая характеристика, назначение штуцеров и их таблица.

3.40. Вертикальные стальные аппараты с перемешивающими устройствами. Назначение, область применения аппаратов. Основные типы аппаратов и перемешивающих устройств (турбинные и рамные). Привести схему цельносварного аппарата с плоским днищем и крышкой, турбинной мешалкой и змеевиком исполнения 9033-32.0 с основными геометрическими размерами. Основные узлы аппарата (назначение, состав). Преимущества и недостатки. Техническая характеристика, таблица штуцеров.

3.41. Мотор-редукторы вертикальных стальных аппаратов с перемешивающими устройствами. Основные параметры мотор-редукторов типов МР1, МР2 и МР3: диапазон частот вращения выходного вала, КПД и масса. Привести схему мотор-редуктора МР1-500 с основными геометрическими размерами. Условные обозначения, привести пример. Показать соединение вала мотор-редуктора с валом турбинной мешалки в аппарате исполнения 0003.

3.42. Малогабаритные приводы типа ПЭМ в исполнениях с полым валом (П) и со сплошным валом (ВК) в вертикальных стальных аппаратах с перемешивающими устройствами. Схемы приводов типа ПЭМ в исполнениях П и ВК, условные обозначения и их размеры. Технические характеристики ПЭМ: мощность электродвигателя, частота вра-

щения выходного вала, крутящий момент выходного вала. Показать соединение вала привода с валом рамной мешалки в аппарате исполнения 0110.

3.43. Магнитные герметичные узлы вращения типа МГ в вертикальных стальных аппаратах с перемешивающими устройствами. Схемы узлов вращения типа МГ двухкаскадные и для малогабаритных аппаратов, условные обозначения. Техническая характеристика, габаритные и присоединительные размеры узлов вращения (условная мощность двигателя, частота вращения, рабочие температура и давление и т.п.). Назначение и их преимущества для аппаратов. Показать соединение вала узла типа МГ с валом мешалки любого типа.

3.44. Назначение и место физических и химических процессов в химической технологии. Определяющая роль реакций и реакторов в структуре химических производств. Зависимость характера физических (тепло- и массообменных и гидродинамических и др.) процессов от требований реакционного процесса и конструкции реакторов.

3.45. Классификация реакторов: по тепловому режиму, способу работы, методу теплообмена, направлению и режиму течения реагентов, их агрегатному состоянию и конструктивному оформлению. Привести схемы основных конструкций реакторов: контактные аппараты, реакторы-печи, кубовые реакторы, колонные реакторы, трубчатые реакторы. Характерные признаки реакторов периодического и непрерывного действия.

3.46. Элементы кинетики химических реакций: основные типы химических реакций. Классификация химических реакций: по механизму реакции, направлению, порядку, методам возбуждения, области течения, фазовому состоянию и тепловому эффекту. Скорость химической реакции и уравнение скорости химической реакции.

3.47. Элементы кинетики химических реакций: стехиометрический и кинетический порядки реакций. Привести примеры по несоответствию кинетического и стехиометрического порядков. Влияние температуры на скорость химической реакции. Уравнение Аррениуса. При-

вести вид зависимости константы скорости химической реакции от температуры для простых и сложных реакций.

3.48. Основы теории химических реакций: гидродинамические (гидравлические) условия в реакторах для моделей идеального смешения и вытеснения. Кубовые и трубчатые реакторы: отличия в гидродинамических структурах потоков в них от моделей идеального смешения и вытеснения.

3.49. Гомогенные реакции: скорость химической реакции, уравнение скорости, константа скорости, константа химического равновесия для обратимых реакций. Гомогенные газовые и жидкофазные реакции, их отличия и специфика конструкций для проведения таких реакций.

3.50. Аппараты для проведения гомогенных и эмульсионных жидкофазных реакций. Способы создания гомогенной и эмульсионной систем в реакторах и основные их отличия. Диффузионный и кинетический режимы течения эмульсионных жидкостных реакций. Конструкции реакторов: реактор для полимеризации дивинила со стиролом, многосекционный реактор для полимеризации или поликонденсации, условия их работы и состав (привести схемы).

3.51. Перемешивающие устройства в реакторах для проведения жидкофазных реакций: лопастная, якорная, рамная, турбинная, винтовая, планетарная, шнековая, газлифтная, пневматическая и другие. Область применения перемешивающих устройств в зависимости от физико-химических условий реакционной смеси: вязкости, плотности, температурных и концентрационных полей в реакторах (привести схемы перемешивающих устройств).

3.52. Встроенные и выносные поверхностные теплообменные устройства в реакторах для проведения жидкофазных реакций. Представить схемы теплообменных устройств: рубашки, внутреннего змеевика, встроенного теплообменника, выносных теплообменника и конденсатора. Область их применения, состав, принцип работы. Выбор и обоснование встроенных и выносных теплообменных устройств от характера технологического процесса, температуры и давления.

3.53. Реакторы идеального смешения: определение времени реакции и объема кубового реактора для условий идеального смешения и реакций первого и второго порядков. Привести схему кубового реактора с рамной мешалкой, мотор-редуктором, рубашкой и сальниковым устройством, показать штуцера для подачи исходных веществ (ИВ) и продуктов реакции (ПР).

3.54. Реакторы идеального вытеснения: определение времени реакции и объема трубчатого реактора для условий идеального вытеснения и реакций первого и второго порядков. Привести схему трубчатого реактора с рубашкой и штуцерами для подачи исходных веществ (ИВ) и продуктов реакции (ПР).

3.55. Аппараты для проведения реакций между газом и твердым веществом. Основные типы аппаратов: вертикальные цилиндрические реакторы (шахтные печи и газогенераторы); полочные обжиговые печи; барабанные вращающиеся печи; реакторы (печи) с псевдоожиженным слоем. Дать общие характеристики, схемы и принципы работы.

3.56. Шахтная печь для обжига известняка. Область применения, конструкция, принцип работы. Температурный режим. Привести схему вертикальной печи: зоны сушки и нагревания материала; зоны горения и обжига; зоны охлаждения монооксида кальция и нагревания воздуха. Физико-химические основы проведения процесса обжига известняка.

3.57. Аппараты для проведения реакций между газом и твердым веществом. Газогенераторы с вертикально перемещающимся слоем. Газогенератор для получения горючего (водяного) газа. Привести схему газогенератора, принцип работы и область применения. Конструктивные отличия газогенератора от вертикальной печи для обжига известняка.

3.58. Аппараты для проведения реакций между газом и твердым веществом. Барабанные вращающиеся печи. Привести схему барабанной печи для обжига пирита, принцип работы и область применения. Конструктивные отличия барабанной печи-реактора от барабанных суши-

лок. Конструктивные методы охлаждения печи и улавливания огарковой пыли.

3.59. Аппараты для проведения реакций между газом и твердым веществом. Барабанная печь для кальцинирования соды. Область применения печей (производство пигментов: литопона, диоксида титана и др.), принцип работы. Привести схему барабанной печи для кальцинирования соды. Преимущества и недостатки барабанных печей.

3.60. Реакторы с псевдоожиженным слоем. Основные отличия реакторов с сушилками кипящего слоя. Привести схему газогенератора Винклера для газификации измельченного угля. Принцип работы, конструкция и область применения. Преимущества и недостатки. Конструктивные отличия газогенератора Винклера от печи кипящего слоя для обжига пирита.

3.61. Реакторы с псевдоожиженным слоем. Температурный режим реакторов. Привести схему печи с кипящим слоем (КС) для обжига пирита. Преимущества и недостатки печей с кипящим слоем. Принцип работы, конструкция и область применения. Конструктивные отличия печей КС от газогенератора Винклера: беспровальная решетка с дутьевым устройством (привести схему).

3.62. Печь для обжига известняка в псевдоожиженном слое фирмы «Нью Ингланд Лайм Компани» (США). Температурный режим в секциях печи. Привести схему печи и вспомогательного оборудования: элеватора, топливного насоса, вентилятора и циклона с пылесборником. Принцип работы, конструкция и область применения. Преимущества и недостатки по сравнению с другими печами в псевдоожиженном слое.

3.63. Реактор для производства сероуглерода. Исходные реагенты и продукты реакции, привести стехиометрическое уравнение реакции. Периодичность работы реактора, температурный режим. Конструкция реактора (привести схему), принцип работы и область применения. Преимущества и недостатки реакторов с реакторами, обогреваемыми снаружи.

3.64. Аппараты для проведения газовых реакций на твердом катализаторе. Требования, предъявляемые к катализаторам органического и неорганического происхождения: удельная поверхность, активность, срок службы, физико-химическая природа. Область применения газовых реакций на твердом катализаторе. Конструкция реактора низкого давления, применяемого для конверсии метана, принцип работы и физико-химические условия его применения: температура, давление и катализатор. Привести схему конвертера метана.

3.65. Реакторы низкого давления: конвертеры метана и монооксида углерода, контактные аппараты для получения серного ангидрида и окисления аммиака. Области их применения и физико-химические условия проведения процессов. Привести схему радиального конвертера монооксида углерода, температурный режим, состав реактора и принцип работы. Состав корпуса и теплоизоляции. Преимущества и недостатки.

3.66. Контактный аппарат для получения серного ангидрида в производстве серной кислоты. Физико-химические основы получения серного ангидрида: химическая реакция, температура, давление и катализатор. Привести схему аппарата, его состав, принцип работы и температурный режим. Способы охлаждения реакционных газов с внутренними или внешними теплообменными устройствами.

3.67. Контактный аппарат для окисления аммиака в монооксид азота в производстве азотной кислоты. Физико-химические основы получения монооксида азота: химическая реакция, температура, давление и катализатор. Привести схему реактора, его состав, принцип работы. Недостатки контактных аппаратов с неподвижным катализатором. Дать сравнение таких аппаратов с аппаратами с гранулированным и пылевидным катализаторами.

3.68. Установка для дегидрирования бутана в бутилены в псевдоожиженном слое катализатора. Состав установки: реактор, регенератор и десорбер. Привести схему установки, принцип ее работы и назначение всех устройств: циклонов, провальных решеток, реактора, регенератора, десорбера. Штуцера для подачи бутановой фракции, водородосо-

держашего топливного газа, воздуха и выхода реакционных и дымовых газов.

3.69. Аппараты для проведения газовых реакций на твердом катализаторе при высоком давлении: колонны синтеза аммиака с трубками Фильда и четырехполочная. Физико-химические условия: температурный режим, давление, катализатор. Привести схему колонны синтеза с двойными противоточными трубками, его состав, принцип работы. Преимущества и недостатки реактора.

3.70. Четырехполочная колонна синтеза аммиака высокого давления в производстве аммиака и азотной кислоты. Физико-химические основы процесса: уравнение химической реакции, давление, температура, катализатор. Привести схему реактора, его состав, принцип работы. Габаритные размеры колонны синтеза аммиака производительностью 1360 т/сутки. Основные недостатки полочных колонн. Пути уменьшения сопротивления и повышения эффективности контактирования.

3.71. Затворы высокого давления в аппаратах для проведения газовых реакций на твердом катализаторе: с плоской металлической прокладкой, самоуплотняющийся затвор (привести их схемы). Требования, предъявляемые к затворам, их классификация, область применения. Прокладки, материал прокладок в колоннах малого (диаметром до 600 мм) и большого диаметров в зависимости от рабочих давлений и температур.

3.72. Крекинг и пиролиз. Основные конструкции печей крекинга и пиролиза. Физико-химические условия разложения углеводородного сырья: температура, давление, катализатор. Отличия каталитического крекинга от термического. Продукты, получаемые пиролизом углеводородных газов и бензиновых фракций. Основные элементы печей: стальной сварной каркас, кирпичная кладка, змеевик горелки, дымоход и труба (привести их схемы).

3.73. Печи пиролиза и крекинга, область их применения и основные элементы. Привести схему узкокамерной трубчатой печи с верхним выводом дымовых газов с одной камерой, однорядными настенными экранами и свободным вертикальным факелом типа ГС1. Основные

узлы, принцип работы. Назначение радиантной и конвективной камер, горелок и газохода. Преимущества и недостатки узкокамерных трубчатых печей.

3.74. Узкокамерные трубчатые печи с верхним отводом дымовых газов. Область их применения и основные типы. Привести схему двухкамерной печи с однорядными настенными экранами и объемно-настильным факелом типа ГН2. Основные элементы печи: каркас, змеевик, горелка, футеровка и т.д. Техническая характеристика печей: поверхность нагрева радиантной трубы, теплопроизводительность, габариты и масса.

3.75. Узкокамерные трубчатые печи с верхним отводом дымовых газов. Основные типы печей, область их применения, преимущества и недостатки узкокамерных печей. Привести схему двухкамерной печи с излучающими стенками из беспламенных панельных горелок с центральным двухрусным трубным экраном типа А<sub>2</sub>В2. Техническая характеристика печей: поверхность нагрева радиантной трубы, габариты, масса и теплопроизводительность.

3.76. Узкокамерные трубчатые печи с верхним отводом дымовых газов, горизонтальными трубами в камерах радиации и конвекции. Область применения и основные типы печей. Привести схему двухкамерной печи настольного веерного сжигания газового топлива с центральным двухрядным трубным экраном типа А<sub>2</sub>В2. Техническая характеристика печей: поверхность нагрева радиантной трубы, габариты, масса и теплопроизводительность.

3.77. Секционные коробчатые трубные печи со свободным вертикальным факелом. Основные типы печей, область их применения. Привести схему печи с верхней камерой конвекции на каждую секцию, вертикальными трубами радиации и горизонтальными – конвекции, однорядным настенным и двухрядным межсекционными экранами однокамерного типа ВС1. Техническая характеристика печей: поверхность нагрева радиантной трубы, теплопроизводительность, габариты и масса.

3.78. Секционные коробчатые трубные печи со свободным вертикальным факелом, верхней камерой конвекции на каждую секцию, вертикальными трубами радиации и горизонтальными – конвекции, однорядным настенным и двухрядными межсекционными экранами для одно - (BC1), двух - (BC2), трех - (BC3) и четырех- (BC4) камерных. Привести схему трубчатых печей типа BC. Техническая характеристика печей: поверхность нагрева радиантной трубы, теплопроизводительность, габариты и масса.

3.79. Цилиндрические трубчатые печи с верхней камерой конвекции, вертикальными трубами экрана и горизонтальными трубами конвекции. Привести схему однокамерной печи с вертикальным факелом, однорядным настенным трубным экраном типа ЦС1, область применения. Техническая характеристика печей: поверхность нагрева радиантной трубы, теплопроизводительность, габариты и масса.

3.80. Цилиндрические трубчатые печи с верхней камерой конвекции, вертикальными трубами экрана и горизонтальными трубами конвекции. Привести схему однокамерной печи с однорядным двухпоточным настенным трубным экраном со смещением горелок в сторону входа продукта типа ЦС'1.

3.81. Цилиндрические трубчатые печи с верхней камерой конвекции, вертикальными трубами экрана и горизонтальными трубами конвекции. Привести схему четырехкамерной печи с центральной призмой в топке, настильным факелом и дифференциальным подводом воздуха по высоте факела, однорядными настенными и двухрядными межсекционными экранами типа ЦД4. Конструкция печи, принцип работы и техническая характеристика.

3.82. Цилиндрические трубчатые печи с кольцевой камерой конвекции, вертикальными трубами в камерах радиации и конвекции. Типы печей, область их применения. Привести схему однокамерной печи с вертикальным факелом и однорядным настенным трубным экраном типа КС1. Назначение и состав печи, принцип работы. Техническая характеристика: поверхность нагрева радиантных труб, теплопроизводительность.

3.83. Трубные печи. Общие технические характеристики печей и их назначение для различных технологических процессов в нефтеперерабатывающей, нефтехимической и газовой промышленности. Виды топлива для работы печей. Краткое описание конструкции: камера конвекции, утилизатор дымовых газов (воздухоподогреватель, котел-утилизатор) или газосборник и т.п. Условное обозначение печей по конструктивному исполнению и способу сжигания топлива.

3.84. Цилиндрические трубчатые печи с кольцевой камерой конвекции, вертикальными трубами в камерах радиации и конвекции. Область применения, типы печей. Привести схему однокамерной печи с вертикальным факелом, однорядным настенным двухпоточным экраном со смещением горелки в сторону входа продукта типа КС'1. Назначение, состав печи и принцип работы. Техническая характеристика и ее отличие от печи типа КС1.

3.85. Цилиндрические трубчатые печи с кольцевой камерой конвекции, вертикальными трубами в камерах радиации и конвекции. Условные обозначения печей, их назначение. Привести схему четырехкамерной печи с центральной призмой в топке, настильным факелом и дифференциальным подводом воздуха по высоте факела, однорядными настенными и двухрядными межкамерными экранами типа КД4. Техническая характеристика печей.

3.86. Печи двухопорные с вращающимися барабанами. Область применения, материалы основных узлов и деталей. Основные конструкции двухопорных печей, состав и принцип работы. Привести схему печи поточной с правым расположением привода диаметром 2000 мм и длиной 20000 мм, указать ее параметры и основные размеры. Преимущества и недостатки печей.

3.87. Печи общего назначения: печи двух- и многоопорные с вращающимися барабанами. Назначение печей, основные узлы и детали печей, материалы для их изготовления. Способы движения теплоносителя (химического реагента) и обрабатываемого материала. Привести схему двухопорной противоточной печи с правым расположением привода диаметром 1600 мм и длиной 16000 мм, указать ее параметры и основные размеры.

3.88. Печи многоопорные с вращающимися барабанами. Область применения, материалы основных узлов и деталей. Основные конструкции многоопорных печей, состав и принцип работы. Конструктивные отличия двух-, трех- и четырехопорных печей с правым и левым расположением привода. Привести схему и основные конструктивные параметры трехопорной печи с правым расположением привода диаметром 3000 мм и длиной 45000 мм.

3.89. Четырехопорная печь с правым или левым расположением привода. Область применения, состав, основные узлы и детали и их конструкционные материалы. Привести схему четырехопорной печи с левым расположением привода, ее отличия от двух- и трехопорных печей. Способы движения теплоносителя (химического реагента) и обрабатываемого материала. Техническая характеристика привода печи.

3.90. Установка для обжига пирита в барабанной печи. Основные конструкции двух- и многоопорных печей, основные узлы и детали: опорно-упорные станции, барабан, бандаж и т.п. Основные отличия печей-реакторов от барабанных сушилок. Привести схему установки с необходимым оборудованием, принцип работы и характеристики. Способы теплообмена химических реагентов для экзо- и эндотермических реакций.

3.91. Барабанная печь для кальцинирования соды с необходимым оборудованием. Способ обогрева продуктов реакции. Привести схему барабанной печи, принцип ее работы и конструктивные параметры. Основные параметры: производительность, режим работы, температурный режим, расход топлива и их зависимость от свойств перерабатываемого материала. Преимущества и недостатки барабанных печей.

3.92. Газожидкостные реакторы. Физико-химические основы процесса: влияние диффузии реагентов и кинетики реакции, проводимой в газовой, жидкой фазах и на межфазной поверхности. Основные типы газожидкостных реакторов: насадочные, тарельчатые, распылительные и пенные. Отличия газожидкостных реакторов от абсорберов. Область применения газожидкостных реакторов.

3.93. Реактор-турбоабсорбер. Область применения аппарата. Основные стадии процесса: диффузия реагентов и собственно химическая реакция. Привести схему реактора-турбоабсорбера, основные элементы конструкции и принцип работы. Способы теплообмена в жидкой фазе и применяемое оборудование. Преимущества и недостатки газожидкостного реактора данной конструкции.

3.94. Реактор с механическим распылением жидкости. Область применения реактора. Способы повышения эффективности реагирования газа и жидкости (диффузионный или кинетический). Привести схему реактора, состав конструкции и принцип работы. Конструктивные и режимные факторы повышения эффективности быстрых реакций.

3.95. Тарельчатая колонна для окисления изопропилбензола. Привести схему колонны, состав конструкции и принцип работы. Способы интенсификации процесса окисления изопропилбензола. Влияние теплообмена в жидкой фазе на эффективность процесса и конструкции теплообменных устройств. Преимущества и недостатки тарельчатых колонн для организации газожидкостных реакций.

3.96. Барботажный кожухотрубчатый реактор. Область применения аппарата, способы создания барботажа и его влияние на интенсификацию газожидкостных реакций в диффузионной и кинетической области. Привести схему барботажного кожухотрубчатого реактора, основные элементы конструкции и принцип работы. Преимущества и недостатки реактора.

3.97. Пенный реактор для контактирования газа и жидкости. Отличия пенных реакторов от реакторов барботажного типа. Способы создания динамической пены и ее свойства. Область применения пенных реакторов. Привести схему трехступенчатого (трехполочного) пенного реактора, состав конструкции и принцип работы. Допустимые скорости движения газа.

3.98. Реактор с циркуляционным контуром для жидкофазного окисления алкилбензолов. Область применения реакторов газлифтного типа. Привести схему реактора с циркуляционным контуром, состав конст-

рукции и принцип работы. Конструктивные и режимные факторы повышения эффективности химико-технологического процесса методом газлифта.

3.99. Составить алгоритм (порядок расчета) суммарного объема трехсекционного проточного изотермического реактора смешения (каскада реакторов смешения) с равными объемами секций. Принять, что в реакторе протекает реакция 1-го порядка, а производительность и степень превращения исходного вещества заданны. Привести формулы для расчета модулей реакции для 2-й, 3-й секций и всего реактора (каскада) в целом. Привести алгоритм расчета реактора, в котором протекает реакция 2-го порядка (1-го типа). Провести сравнение реакторов с различными механизмами реакций. Привести формулы для расчета модуля реакции для известной степени превращения  $u$ .

3.100. В кубовом проточном изотермическом реакторе с интенсивно работающей мешалкой проводится жидкофазная реакция 1-го порядка. Выбрать теоретическую модель и вывести формулу для расчета необходимого объема реактора при заданных производительности и степени превращения. Вывести формулу для расчета модуля реакции, если степень превращения равна  $u$ . Описать внутренние теплообменные элементы, применяемые в таких реакторах. Дать эскизы этих элементов.

3.101. В трубчатом проточном реакторе без рециркуляции и перемешивающих устройств в изотермических условиях проводится реакция 1-го порядка. Пренебрегая отклонениями реактора от его теоретической модели, вывести формулу для расчета необходимого его объема при заданных производительности и степени превращения. Привести уравнение для расчета модуля реакции, если степень превращения равна  $u$ . Определить, как обеспечиваются равномерность течения реакции по сечению аппарата и отвод теплоты реакции.

3.102. Общая характеристика газожидкостных реакторов, их сходство и отличие от абсорберов. Вывод формул для расчета скорости реакции, сопровождающейся массообменом (3 случая). Методы интенсификации процесса в диффузионном и кинетическом режимах. Привес-

ти примеры реакторов для быстрых и медленных реакций, их эскизы и характеристики.

3.103. В трех параллельно работающих кубовых реакторах периодическим путем проводится жидкофазная реакция 1-го порядка, причем в течение  $n$  часов достигается степень превращения  $u=A$ . Вспомогательное время, затрачиваемое на загрузку исходных веществ, выгрузку продукта, разогрев и охлаждение реактора, составляет  $m$  часов. Вывести формулу для расчета степени превращения, если эти реакторы перевести на проточное питание, преобразовав их тем самым в трехсекционный реактор смешения и исключив вспомогательное время при сохранении среднечасовой производительности установки. Объем каждого аппарата равен  $V$ ,  $m^3$ . Установить, возможна ли такая замена без снижения степени превращения.

3.104. Особенности протекания и аппаратного оформления эмульсионных (гетерофазных) жидкостных реакций, их сходство с газожидкостными реакциями. Роль перемешивающих устройств. Методы интенсификации медленных и быстрых эмульсионных реакций. Привести примеры реакторов, предназначенных для гетерофазных жидкостных реакций, их эскизы и характеристики.

3.105. Ведущая роль реакторов в химической технологии. Факторы, определяющие конструкцию реактора. Классификация реакторов в зависимости от метода отвода тепла и агрегатного состояния реагентов. Привести примеры реакторов для проведения каталитических процессов. Нарисовать схемы, описать устройство и работу реакторов с катализаторами. Их преимущества и недостатки.

3.106. Вывод и анализ уравнения скорости реакции, сопровождающейся межфазным массообменом (диффузией): лимитирующая стадия процесса. Диффузионный и кинетический режимы течения реакции, их характерные признаки (влияние температуры, давления, концентраций в фазах, перемешивания). Методы интенсификации процесса газожидкостной реакции и выбор аппаратуры для быстрых и медленных реакций в двухфазных газожидкостных системах.

3.107. Реакторы-котлы. Их конструктивное оформление и условия работы. Роль и типы применяемых перемешивающих устройств. Конструирование мешалок: выбор типа, окружной скорости, расчет мощности, затрачиваемой на перемешивание, и усилий в элементах перемешивающего устройства. Привести схему реактора с мешалкой, рубашкой или змеевиком, показать основные элементы конструкций и принцип работы.

3.108. Реакторы-котлы: аппаратное оформление, область применения и условия работы. Теплообменные элементы в реакторах, их выбор и конструирование: внутренние и внешние теплообменные устройства. Привести схему реактора с выносным теплообменником и циркуляционным насосом, его состав и принцип работы. Преимущества и недостатки реакторов с выносными теплообменными элементами.

3.109. Назначение и место физических и химических процессов в химической технологии. Определяющая роль реакций и реакторов в структуре химических производств. Зависимость характера физических процессов (тепло- и массообменных, гидродинамических и др.) от требований реакционного процесса и конструкций реакторов. Классификация реакторов: по тепловому режиму, методу теплообмена, схеме работы, направлению и режиму течения реагентов, их агрегатному состоянию.

3.110. Реакторы периодического и непрерывного действия, их характерные признаки. Связь между временем, необходимым для достижения заданной степени превращения и объемом периодического и проточного реакторов. Определение времени гомогенной реакции, объема реактора смешения (одно- и многосекционного) и реактора вытеснения в случае реакции 1-го порядка. Сопоставление объемов реакторов смешения и вытеснения в зависимости от степени превращения, порядка реакции, числа секций.

3.111. Кубовые реакторы, область их применения, степень соответствия гидродинамического режима в реакторе модели идеального смешения. Варианты секционирования реакторов, их сравнение с учетом температурных, теплообменных и гидравлических условий. Влияние

конструкции реактора на выход целевого продукта: типа мешалки, теплообменных (внутренних, внешних или выносных) устройств и энергозатраты процесса.

3.112. Колонные газожидкостные аппараты с насадкой или тарелками. Область применения, особенности газожидкостных реакций: наличие межфазного массообмена. Диффузионный и кинетический режимы. Сходство и отличие газожидкостных реакторов от абсорберов. Привести схемы тарельчатого аппарата и насадочного, основные элементы конструкции, принцип работы. Преимущества и недостатки тарельчатых и насадочных реакторов.

3.113. Аппараты для проведения реакций между газом и твердым веществом. Область применения и основные особенности аппаратов для процессов "газ-твердое тело". Шахтные печи и газогенераторы, устройство и работа. Привести схемы аппаратов. Преимущества и недостатки.

3.114. Вертикальные цельносварные аппараты с эллиптическими днищами. Назначение, область применения, номинальные объемы и условные давления. Привести схему конструкции аппарата, таблицу штуцеров, схему опоры с условными обозначениями конструктивных параметров. Дать пояснение условного обозначения аппарата и привести пример.

3.115. Вертикальные аппараты с эллиптическим днищем и крышкой и рубашкой. Назначение, область применения, номинальные объемы, условные давления и площадь поверхности теплообмена. Привести схему конструкции аппарата с условными обозначениями конструктивных параметров. Показать крепление теплообменной рубашки к корпусу аппарата, указать таблицу штуцеров аппарата, схему опорной конструкции и ее крепление к аппарату. Условное обозначение аппарата.

3.116. Вертикальные аппараты с коническим (90°) отбортованным днищем и эллиптической крышкой. Назначение, область применения, номинальные объемы и условные давления. Привести схему аппарата, таблицу штуцеров, схему опоры с условными обозначениями конст-

руктивных параметров. Дать пояснение условного обозначения аппарата и привести пример.

3.117. Вертикальные цельносварные аппараты с нижним коническим (90°) неотбортованным и верхним плоским днищами. Назначение, область применения и номинальные объемы. Привести схему аппарата с условными обозначениями конструктивных параметров. Таблица штуцеров, схема опор на лапах и стойках. Условные обозначения аппаратов, привести пример.

3.118. Вертикальные стальные аппараты с перемешивающими устройствами. Назначение, область применения, материальное исполнение корпуса (марки сталей). Состав аппарата: корпус, крышки, рубашки, змеевики, отражательные перегородки, опоры, штуцера, уплотнения. Предельные рабочее избыточное и остаточное давления в аппарате. Таблица штуцеров и их назначение. Диаметры корпуса, рекомендации по применению мешалок, типы мотор-редукторов. Привести схему аппарата исполнения 0003 с условными обозначениями конструктивных параметров. Условные обозначения исполнения аппаратов и их расшифровка.

3.119. Вертикальный стальной аппарат с перемешивающим устройством исполнения 0010. Назначение и область применения аппарата, его состав: корпус, днища, тип мешалки, мотор-редуктор, тип уплотнения. Привести схемы или эскизы узлов оборудования и схему аппарата исполнения 0010-2.0,6 с условными обозначениями конструктивных параметров. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

3.120. Вертикальный стальной аппарат с перемешивающим устройством исполнения 1003. Назначение и область применения аппарата. Аппарат цельносварной с эллиптическим днищем и крышкой исполнения 1003-25.0,6 (привести схему, состав и материальное исполнение). Характер опорной конструкции, типы мотор-редукторов. Торцовое уплотнение (ее схема, состав и принцип действия). Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

3.121. Вертикальные стальные аппараты с перемешивающими устройствами исполнения 1010. Назначение, область применения, исполнение корпуса и его условное давление. Технические требования к материалам, изготовлению, приемке и методам испытаний. Змеевики и опоры (схема, конструкция, принцип работы). Привести схему цельносварного аппарата с эллиптическим днищем и крышкой исполнения 1010-25.0,6 с условными обозначениями конструктивных параметров. Основные узлы, принцип действия. Техническая характеристика, таблица штуцеров.

3.122. Аппараты вертикальные цельносварные с рамной мешалкой без внутренних устройств исполнения 1110. Область применения, назначение аппарата. Рекомендации по процессам, осуществляемым в аппарате. Основные узлы аппарата (их назначение и принцип работы). Привести схему аппарата с эллиптическим днищем и крышкой и гладкой приварной рубашкой исполнения 1110-50.0,6 с геометрическими размерами оборудования и схему соединения привода вала мотор-редуктора с валом мешалки. Техническая характеристика аппарата.

3.123. Аппараты вертикальные с плоским днищем и съёмной плоской крышкой исполнения 8003. Назначение, область применения аппарата. Основные узлы оборудования, температура и давление внутренней среды, конструкционные материалы. Привести схему аппарата с турбинной мешалкой исполнения 8003-5.0 с геометрическими размерами (сальниковое уплотнение и соединение вала привода с валом мешалки). Техническая характеристика, таблица штуцеров.

3.124. Аппарат цельносварной с плоским днищем и крышкой с турбинной мешалкой и отражательными перегородками исполнения 9023.2-32.0. Привести схемы аппарата, сальникового уплотнения, соединения вала привода с валом мешалки и уплотнение аппарата. Преимущества и недостатки аппарата. Пуск, эксплуатация и ремонт оборудования. Техническая характеристика, назначение штуцеров и их таблица.

3.125. Малогабаритные приводы типа ПЭМ в исполнениях с полым валом (П) и со сплошным валом (ВК) в вертикальных стальных аппа-

ратах с перемешивающими устройствами. Схемы приводов типа ПЭМ в исполнениях П и ВК, условные обозначения и их размеры. Технические характеристики ПЭМ: мощность электродвигателя, частота вращения выходного вала, крутящий момент выходного вала. Показать соединение вала привода с валом рамной мешалки в аппарате исполнения 0110.

3.126. Элементы кинетики химических реакций: основные типы химических реакций. Классификация химических реакций: по механизму реакции, направлению, порядку, методам возбуждения, области течения, фазовому состоянию и тепловому эффекту. Скорость химической реакции и уравнение скорости химической реакции.

3.127. Перемешивающие устройства в реакторах для проведения жидкофазных реакций: лопастная, якорная, рамная, турбинная, винтовая, планетарная, шнековая, газлифтная, пневматическая и другие. Область применения перемешивающих устройств в зависимости от физико-химических условий реакционной смеси: вязкости, плотности, температурных и концентрационных полей в реакторах (привести схемы перемешивающих устройств).

3.128. Аппараты для проведения реакций между газом и твердым веществом. Основные типы аппаратов: вертикальные цилиндрические реакторы (шахтные печи и газогенераторы); полочные обжиговые печи; барабанные вращающиеся печи; реакторы (печи) с псевдооживленным слоем. Дать общие характеристики, схемы и принципы работы.

3.129. Реакторы с псевдооживленным слоем. Основные отличия реакторов с сушилками кипящего слоя. Привести схему газогенератора Винклера для газификации измельченного угля. Принцип работы, конструкция и область применения. Преимущества и недостатки. Конструктивные отличия газогенератора Винклера от печи кипящего слоя для обжига пирита.

3.130. Аппараты для проведения газовых реакций на твердом катализаторе. Требования, предъявляемые к катализаторам органического и неорганического происхождения: удельная поверхность, активность,

срок службы, физико-химическая природа. Область применения газовых реакций на твердом катализаторе. Конструкция реактора низкого давления, применяемого для конверсии метана, принцип работы и физико-химические условия его применения: температура, давление и катализатор. Привести схему конвертера метана.

3.131. Установка для дегидрирования бутана в бутилены в псевдооживленном слое катализатора. Состав установки: реактор, регенератор и десорбер. Привести схему установки, принцип ее работы и назначение всех устройств: циклонов, провальных решеток, реактора, регенератора, десорбера. Штуцера для подачи бутановой фракции, водородосодержащего топливного газа, воздуха и выхода реакционных и дымовых газов.

3.132. Крекинг и пиролиз. Основные конструкции печей крекинга и пиролиза. Физико-химические условия разложения углеводородного сырья: температура, давление, катализатор. Отличия каталитического крекинга от термического. Продукты, получаемые пиролизом углеводородных газов и бензиновых фракций. Основные элементы печей: стальной сварной каркас, кирпичная кладка, змеевик горелки, дымоход и труба (привести их схемы).

3.133. Секционные коробчатые трубные печи со свободным вертикальным факелом. Основные типы печей, область их применения. Привести схему печи с верхней камерой конвекции на каждую секцию, вертикальными трубами радиации и горизонтальными – конвекции, однорядным настенным и двухрядным межсекционными экранами однокамерную типа ВС1. Техническая характеристика печей: поверхность нагрева радиантной трубы, теплопроизводительность, габариты и масса.

3.134. Цилиндрические трубчатые печи с верхней камерой конвекции, вертикальными трубами экрана и горизонтальными трубами конвекции. Привести схему однокамерной печи с вертикальным факелом, однорядным настенным трубным экраном типа ЦС1, область применения. Техническая характеристика печей: поверхность нагрева радиантной трубы, теплопроизводительность, габариты и масса.

3.135. Трубные печи. Общие технические характеристики печей и их назначение для различных технологических процессов в нефтеперерабатывающей, нефтехимической и газовой промышленности. Виды топлива для работы печей. Краткое описание конструкции: камера конвекции, утилизатор дымовых газов (воздухоподогреватель, котел-утилизатор) или газосборник и т.п. Условное обозначение печей по конструктивному исполнению и способу сжигания топлива.

3.136. Печи общего назначения: печи двух- и многоопорные с вращающимися барабанами. Назначение печей, основные узлы и детали печей, материалы для их изготовления. Способы движения теплоносителя (химического реагента) и обрабатываемого материала. Привести схему двухопорной противоточной печи с правым расположением привода диаметром 1600 мм и длиной 16000 мм, указать ее параметры и основные размеры.

3.137. Барабанная печь для кальцинирования соды с необходимым оборудованием. Способ обогрева продуктов реакции. Привести схему барабанной печи, принцип ее работы и конструктивные параметры. Основные параметры: производительность, режим работы, температурный режим, расход топлива и их зависимость от свойств перерабатываемого материала. Преимущества и недостатки барабанных печей.

3.138. Тарельчатая колонна для окисления изопрропилбензола. Привести схему колонны, состав конструкции и принцип работы. Способы интенсификации процесса окисления изопрропилбензола. Влияние теплообмена в жидкой фазе на эффективность процесса и конструкции теплообменных устройств. Преимущества и недостатки тарельчатых колонн для организации газожидкостных реакций.

3.139. Реактор с циркуляционным контуром для жидкофазного окисления алкилбензолов. Область применения реакторов газлифтного типа. Привести схему реактора с циркуляционным контуром, состав конструкции и принцип работы. Конструктивные и режимные факторы повышения эффективности химико-технологического процесса методом газлифта.

3.140. Общая характеристика газожидкостных реакторов, их сходство и отличие от абсорберов. Вывод формул для расчета скорости реакции, сопровождающейся массообменом (3 случая). Методы интенсификации процесса при диффузионном и кинетическом режимах. Привести примеры реакторов для быстрых и медленных реакций, их эскизы и характеристики.

3.141. Вывод и анализ уравнения скорости реакции, сопровождающейся межфазным массообменом (диффузией): лимитирующая стадия процесса. Диффузионный и кинетический режимы течения реакции, их характерные признаки (влияние температуры, давления, концентраций в фазах, перемешивания). Методы интенсификации процесса газожидкостной реакции и выбор аппаратуры для быстрых и медленных реакций в двухфазных газожидкостных системах.

3.142. Реакторы периодического и непрерывного действия, их характерные признаки. Связь между временем, необходимым для достижения заданной степени превращения и объемом периодического и проточного реакторов. Определение времени гомогенной реакции, объема реактора смешения (одно- и многосекционного) и реактора вытеснения в случае реакции 1-го порядка. Сопоставление объемов реакторов смешения и вытеснения в зависимости от степени превращения, порядка реакции, числа секций.

3.143. Вертикальный стальной аппарат с перемешивающим устройством и змеевиком исполнения 0033. Назначение аппарата, его состав, исполнение корпуса, тип мешалки и ее конструкция. Привести схему аппарата вышеуказанного исполнения с условными обозначениями конструктивных параметров. Конструкция опоры и типы мотор-редукторов. Техническая характеристика аппарата исполнения 0033-5.0,6, таблица штуцеров и их назначение.

3.144. Аппарат вертикальный цельносварной с перемешивающим устройством и змеевиком исполнения 1033. Назначение, область применения аппарата. Основные материалы, используемые для изготовления аппарата. Типы применяемых опор (в виде лап или стоек). Привести схему аппарата с цельносварными днищем и крышкой исполнения 1033-25.0,6 с условными обозначениями конструктивных пара-

метров. Торцовое уплотнение (схема, состав, принцип действия). Техническая характеристика, таблица штуцеров.

3.145. Вертикальный стальной аппарат с перемешивающим устройством исполнения 1003. Назначение и область применения аппарата. Аппарат цельносварной с эллиптическим днищем и крышкой исполнения 1003-50.0,6 (привести схему, состав и материальное исполнение). Характер опорной конструкции, типы мотор-редукторов. Торцовое уплотнение (ее схема, состав и принцип действия). Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

3.146. Вертикальные стальные аппараты с перемешивающими устройствами. Типы аппаратов и перемешивающих устройств. Диаметры аппаратов, рекомендации по применению мешалок, типы мотор-редукторов и уплотнения. Привести схему цельносварного аппарата с рамной мешалкой и рубашкой из полутруб исполнения 1210-32.0,6. Назначение, область применения. Основные узлы аппарата (схемы, состав, принцип действия). Привод с подвижным соединением вала мотор-редуктора с валом мешалки. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

3.147. Аппараты цельносварные с эллиптическими днищами и крышкой, с рубашкой из полутруб исполнения 1203. Назначение и область применения аппарата. Предельные значения рабочих температур и избыточных давлений. Технические требования к материалам. Привести схему вертикального аппарата с турбинной открытой мешалкой исполнения 1203-50.0,6 с геометрическими размерами. Основные узлы. Привести схему подвижного соединения вала мотор-редуктора с валом мешалки.

3.148. Аппарат вертикальный с плоским днищем и съёмной плоской крышкой исполнения 8033. Назначение, область применения аппарата. Технические требования к материалам, изготовлению, приемке и методам испытаний. Габариты оборудования. Привести схему аппарата с турбинной мешалкой и змеевиком исполнения 8033-6,3.0 (показать соединения крышки с корпусом, торцового уплотнения и вала привода с валом мешалки). Техническая характеристика, таблица штуцеров.

3.149. Аппарат цельносварной с плоскими днищем и крышкой с турбинной мешалкой и отражательными перегородками исполнения 9023.2-25.0. Привести схемы аппарата, сальникового уплотнения, соединения вала привода с валом мешалки и уплотнение аппарата. Преимущества и недостатки аппарата. Пуск, эксплуатация и ремонт оборудования. Техническая характеристика, назначение штуцеров и их таблица.

3.150. Малогабаритные приводы типа ПЭМ в исполнениях с полым валом (П) и со сплошным валом (ВК) в вертикальных стальных аппаратах с перемешивающими устройствами. Схемы приводов типа ПЭМ в исполнениях П и ВК, условные обозначения и их размеры. Технические характеристики ПЭМ: мощность электродвигателя, частота вращения выходного вала, крутящий момент выходного вала. Показать соединение вала привода с валом рамной мешалки в аппарате исполнения 0110.

#### **Задачи к контрольному заданию №2 по разделу «Химические и емкостные аппараты»**

3.1. Определить число потоков и продолжительность пребывания сырья и продуктов пиролиза в радиантных трубах печи, если известно: сырьем служит пропан; производительность установки по сырью 40000 кг/ч; температура на входе в радиантные трубы и выходе из печи 550 °С и 815 °С соответственно; выход продуктов (в % масс.):  $H_2$  2,8;  $CH_4$  17,8;  $C_2H_2$  0,8;  $C_2H_4$  29,5;  $C_2H_6$  9,2;  $C_3H_6$  14,0;  $C_3H_8$  24,7; кокс 1,2; в трубы печи подают водяной пар 15% масс. на сырье; давление на входе в секцию 0,18 МПа и на выходе из нее 0,13 МПа, тепло, передаваемое радиантными трубами, 25,5 МВт. Принять массовую скорость подачи сырья 130 кг/(м<sup>2</sup>·с),  $d_{внут}$ =0,102 м,  $d_{нар}$ =0,114 м,  $l$ =12 м, теплонпряженность труб 23,8 кВт/м<sup>2</sup>.

3.2. Определить объем реакционной зоны в трубчатой печи пиролиза бензина, если известно: нагрузка печи по сырью — бензину ( $d_4^{20} = 0,740$ ;  $M=110$  кг/кмоль) 12000 кг/ч и продолжительность реакции 0,55 с; температура и давление в реакционном змеевике соот-

ветственно 850 °С и 0,232 МПа; расход водяного пара 50% масс. на сырьё; степень превращения 65%; молекулярная масса газов пиролиза 25 кг/кмоль.

3.3. Определить размеры реактора на установке пиролиза с движущимся слоем коксового теплоносителя, если известно: сырьём служит пропан; производительность реактора  $G_c = 4500$  кг/ч по сырью; насыпная и истинная плотности теплоносителя 800 кг/м<sup>3</sup> и 1700 кг/м<sup>3</sup> соответственно; условия процесса: температура 825 °С, давление 0,18 МПа и продолжительность пребывания сырья в реакторе 1,2 с; водяного пара подается 80% масс. на сырьё; отношение высоты реактора к диаметру 2,5 : 1.

3.4. Определить продолжительность контакта и размеры реактора установки пиролиза в кипящем слое песка, если известно: сырьём служит пропан, которого подается 3200 кг/ч; в реактор поступает водяной пар 70% масс. на сырьё; выход продуктов (в % масс.): газа 89,9, бензина с к. к. 200 °С 9,5, кокса и потери 0,6; условия процесса: температура 800 °С; давление 0,2 МПа; объемная скорость подачи сырья  $\omega = 2,8 \cdot 10^{-5}$  с<sup>-1</sup>; плотность кипящего слоя  $\rho_{к.с.} = 1200$  кг/м<sup>3</sup>, насыпная и истинная плотности песка 1600 кг/м<sup>3</sup> и 2500 кг/м<sup>3</sup> соответственно; линейная скорость движения паров в реакторе  $u = 0,6$  м/с; плотность газа  $\rho = 1$  кг/м<sup>3</sup>.

3.5. Определить продолжительность контакта и размеры реактора установки пиролиза с кипящим слоем коксового теплоносителя, если известно: сырьё — гудрон относительной плотностью  $d_4^{20} = 0,9960$ ; производительность установки  $G_c = 55000$  кг/ч по сырью; условия процесса: температура 780 °С, давление 0,18 МПа, объемная скорость подачи сырья  $1,66 \cdot 10^{-3}$  с<sup>-1</sup> и продолжительность контакта 9,6 с; выход продуктов (в % масс.): газа 37,2, жидких углеводородов 35,5, кокса и потери 27,3; молекулярная масса газа и жидких углеводородов соответственно 21,5 кг/кмоль и 200 кг/кмоль; в реактор подается водяной пар 45% масс. на сырьё; отношение высоты реактора к его диаметру 0,6 : 1.

3.6. Производительность установки каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора составляет 500 т/сут по сырью. Определить диаметр реактора и высоту слоя катализатора в нем, если известно: сырьём установки является газойль относительной плотностью  $d_4^{20} = 0,878$ ; выход кокса  $X_k = 5,9\%$  масс. на сырьё; объемная скорость подачи сырья  $\omega = 2,0$  ч<sup>-1</sup>; насыпная плотность катализатора  $\rho_{нас} = 700$  кг/м<sup>3</sup>; допустимое отложение кокса на катализаторе  $X'_k = 2,0\%$  масс.; линейная скорость движения катализатора в реакторе  $u = 0,008$  м/с.

3.7. На установке каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора перерабатывают 500 т/сут газойля. Определить размеры регенератора и продолжительность пребывания в нем частиц катализатора, если известно: насыпная плотность катализатора  $\rho_{нас} = 700$  кг/м<sup>3</sup>; линейная скорость движения частиц катализатора в регенераторе  $u = 0,004$  м/с; интенсивность выжигания кокса  $K = 15$  кг/м<sup>3</sup> слоя в 1 ч; допустимое отложение кокса на отработанном катализаторе  $X'_k = 2\%$ ; выход кокса  $X_k = 5,9\%$  масс. на сырьё.

3.8. На установке каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора перерабатывают тяжелый газойль — 50000 кг/ч. Определить диаметр реактора и высоту слоя катализатора в нем, если известно: относительная плотность сырья  $d_4^{20} = 0,918$ ; объемная скорость подачи сырья в реакторе  $\omega = 2,5$  ч<sup>-1</sup>; насыпная плотность катализатора  $\rho_{нас} = 700$  кг/м<sup>3</sup>; линейная скорость движения частиц катализатора в реакторе  $u = 0,003$  м/с; выход кокса на сырьё  $X_k = 3,4\%$  масс.; Допустимое отложение кокса на отработанном катализаторе  $X'_k = 1,6\%$ ; остаточное содержание кокса на регенерированном катализаторе 0,3%.

3.9. На установке каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора перерабатывают 33400 кг/ч солярового дистиллята. Определить размеры регенератора и продолжительность пребывания в нем частиц катализатора, если известно: выход кокса на сырьё  $X_k = 4,7\%$  масс; насыпная плотность катализатора  $\rho_{нас} = 720$  кг/м<sup>3</sup>; линейная скорость движения частиц катализатора в регенераторе  $u = 0,0035$  м/с; допустимое отложение кокса на отработанном катализаторе  $X'_k = 2,0\%$

масс.; интенсивность выжигания кокса  $15 \text{ кг/м}^3$  слоя в 1 ч; сечение регенератора круглое.

3.10. На установке каталитического крекинга с кипящим слоем катализатора перерабатывают  $80000 \text{ кг/ч}$  вакуумного газойля. Определить диаметр и высоту реактора (без учета отпарной секции), если известно: объем паров, проходящих через реактор,  $V_p=25 \text{ м}^3/\text{с}$ ; скорость паров над кипящим слоем катализатора  $u=0,75 \text{ м/с}$ ; относительная плотность сырья  $d_4^{20} = 0,896$ ; объемная скорость подачи сырья  $\omega=1,25 \text{ ч}^{-1}$ ; насыпная плотность катализатора и плотность кипящего слоя соответственно  $\rho_{\text{нас}}=820 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{\text{к.с.}}=400 \text{ кг/м}^3$ ; высота отстойной зоны  $h_{\text{о.з.}}=5 \text{ м}$ .

3.11. На установке каталитического крекинга с кипящим слоем катализатора кратность циркуляции катализатора 10 и объемная скорость подачи сырья  $\omega=2,5 \text{ ч}^{-1}$ . Определить продолжительность пребывания сырья и катализатора в реакторе.

3.12. На установке каталитического крекинга типа Ортофлю В циркулирует  $890000 \text{ кг/ч}$  катализатора. Определить размеры отпарной секции реактора, если известно: расход водяного пара составляет  $0,6\%$  масс. на циркулирующий катализатор; продолжительность пребывания катализатора в отпарной секции  $\tau = 1 \text{ мин}$ ; скорость движения водяных паров  $u=0,3 \text{ м/с}$ ; плотность кипящего слоя катализатора  $\rho_{\text{к.с.}}=380 \text{ кг/м}^3$ ; температура и давление в секции  $480 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $0,25 \text{ МПа}$ .

3.13. На установке каталитического крекинга с кипящим слоем циркулирует  $500000 \text{ кг/ч}$  катализатора. Определить размеры отпарной секции, расположенной под реактором, если известно: расход водяного пара  $0,5\%$  масс. на катализатор; температура и давление в секции  $470 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $0,2 \text{ МПа}$ , в отпарной секции имеются перегородки, которые уменьшают ее сечение на  $50\%$ ; скорость подачи водяного пара (на живое сечение секции)  $u=0,6 \text{ м/с}$ ; продолжительность пребывания катализатора в секции  $\tau=1,5 \text{ мин}$ ; плотность кипящего слоя катализатора  $\rho_{\text{к.с.}}=400 \text{ кг/м}^3$ .

3.14. Определить диаметр и высоту регенератора установки каталитического крекинга с кипящим слоем катализатора, если известно: объем дымовых газов  $V_{\text{д.г.}}=27,8 \text{ м}^3/\text{с}$ ; скорость движения дымовых газов над кипящим слоем катализатора  $u=0,73 \text{ м/с}$ ; масса циркулирующего катализатора  $G_{\text{к.ц.}}=585000 \text{ кг/ч}$ ; продолжительность пребывания катализатора в регенераторе  $\tau=10 \text{ мин}$ ; плотность кипящего слоя  $\rho_{\text{к.с.}}=450 \text{ кг/м}^3$ ; высота отстойной зоны принимается равной  $h_{\text{о.з.}}=5,3 \text{ м}$ .

3.15. В регенераторе установки каталитического крекинга с кипящим слоем катализатора сжигают  $8350 \text{ кг/ч}$  кокса. Определить температуру катализатора на выходе из регенератора, если известно: масса циркулирующего катализатора  $G_{\text{к.ц.}}=1200000 \text{ кг/ч}$ ; расход воздуха  $11,5 \text{ кг/кг}$  кокса; воздух подается с температурой  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ; температура катализатора на входе в регенератор  $480 \text{ }^\circ\text{C}$ ; теплота сгорания кокса (с учетом неполного сгорания) в  $Q_p''=23,442 \text{ МДж/кг}$ ; удельная теплоемкость катализатора  $C_{\text{кт.}}=1,046 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ , кокса  $C_{\text{к.}}=1,255 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ , воздуха  $C_{\text{в.}}=1,0 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$  и дымовых газов  $C_{\text{д.г.}}=0,45 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ .

3.16. На установке каталитического риформинга с платиновым катализатором производительностью  $100000 \text{ кг/ч}$  по сырью перерабатывают фракцию с температурами  $85\text{—}120 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $d_4^{20} = 0,724$ ;  $T_{\text{кр.}}=541 \text{ K}$ ;  $P_{\text{кр.}}=2,72 \text{ МПа}$ ;  $M=100 \text{ кг/кмоль}$ ). Определить размеры реакторов, если известно: температура и давление в реакторе  $530 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $2,02 \text{ МПа}$ ; объемная скорость подачи сырья  $\omega=1,5 \text{ ч}^{-1}$ ; объем циркулирующего газа  $1000 \text{ м}^3/\text{м}^3$  сырья; на установке шесть реакторов, соединенных последовательно по три.

3.17. На установке каталитического риформинга с платиновым катализатором производительностью  $60000 \text{ кг/ч}$  по сырью перерабатывают фракцию с температурами  $120\text{—}180 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $d_4^{20} = 0,772$ ;  $T_{\text{кр.}}=601 \text{ K}$ ;  $P_{\text{кр.}}=2,50 \text{ МПа}$ ;  $M=133 \text{ кг/кмоль}$ ). Определить размеры реакторов, если известно: давление и средняя температура в реакторе  $2,02 \text{ МПа}$  и  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ ; объемная скорость подачи сырья  $\omega=1,0 \text{ ч}^{-1}$ ; объем циркулирующего водорода  $1500 \text{ м}^3/\text{м}^3$  сырья; линейная скорость движения паров сырья и циркулирующего газа  $\omega=0,5 \text{ м/с}$ ; на установке шесть реакторов, соединенных последовательно по три.

3.18. На установке платформинга производительностью 50000 кг/ч по сырью перерабатывают фракцию с температурами 85—180 °С ( $d_4^{20} = 0,757$ ;  $t_{\text{ср.кип}} = 136^\circ\text{C}$ ). Определить температуру продуктов реакции на выходе из первого реактора, если известно: температура сырья и циркулирующего газа на входе в реактор 510 °С; давление в реакторе 3,33 МПа; выход (в % масс.)  $\text{H}_2 = 1,3$ , сухого газа 8,7, бутановой фракции ( $T_{\text{кр}} = 425^\circ\text{C}$ ;  $P_{\text{кр}} = 3,6$  МПа;  $M = 58$  кг/кмоль) 5,4, дебутанизованного бензина ( $d_4^{20} = 0,783$ ;  $t_{\text{ср.кип}} = 126^\circ\text{C}$ ) 84,6; состав газов (в % масс.): сухого — 8,1  $\text{C}_1$ , 32,3  $\text{C}_2$ , 59,6  $\text{C}_3$ ; циркулирующего — 25,4  $\text{H}_2$ , 9  $\text{C}_1$ , 24,2  $\text{C}_2$ , 23  $\text{C}_3$ , 10,4  $\text{C}_4$ , 8  $\text{C}_5$ ; кратность циркулирующего газа 1200 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сырья; глубина превращения сырья в первом реакторе  $X = 55\%$ ; теплота реакции  $q_p = 503$  кДж/кг превращенного сырья.

3.19. Определить размеры реакторов на установке парофазной изомеризации n-пентана в присутствии хлористого алюминия, если известно: производительность установки по сырью  $v_c = 500$  м<sup>3</sup>/сут; объемная скорость подачи сырья  $\omega = 2,5$  ч<sup>-1</sup>; глубина превращения сырья за однократный пропуск  $X = 60\%$ ; трубки имеют внутренний диаметр 50 мм, длину 5 м; общее число реакторов 5.

3.20. Определить размеры реактора на установке изомеризации n-пентана на платиновом катализаторе, если известно: производительность установки по сырью  $G_c = 800$  т/сут; объемная скорость подачи сырья  $\omega = 2,5$  ч<sup>-1</sup>; насыпная плотность катализатора  $\rho_{\text{нас}} = 650$  кг/м<sup>3</sup>.

3.21. Определить размеры реакторов на установке изомеризации n-гексана в присутствии палладия на цеолите, если известно: производительность установки по сырью  $G_c = 1600$  т/сут; объемная скорость подачи сырья  $\omega = 3,5$  ч<sup>-1</sup>; насыпная плотность катализатора  $\rho_{\text{нас}} = 680$  кг/м<sup>3</sup>; общее число реакторов 2.

3.22. Определить температуру выхода продуктов изомеризации n-пентана из реактора, если известно: катализатор — палладий на цеолите; производительность установки по сырью  $G_c = 1000$  т/сут; состав изомеризата (в % масс.): 1,2  $\text{C}_1$ —  $\text{C}_3$ , 1,0  $\text{C}_4$ , 76,8 изо -  $\text{C}_5$ , 21,0 n-  $\text{C}_5$ ; сырье поступает в реактор с температурой 330. °С; давление в реак-

торе 3,13 МПа; кратность циркуляции водорода к сырью 3 моль/моль; процесс протекает с выделением тепла ( $q_p = 92$  кДж/кг изопентана).

3.23. Определить размеры реакторов установки одноступенчатого гидрокрекинга с неподвижным слоем катализатора, если известно: производительность установки по сырью  $G_c = 1000$  т/сут; объемная скорость подачи  $\omega = 1,2$  ч<sup>-1</sup>; катализатор — алюмокобальтмолибденовый с насыпной плотностью  $\rho_{\text{нас}} = 650$  кг/м<sup>3</sup>; сырье — тяжелый газойль с относительной плотностью  $d_4^{20} = 0,882$ ; общее число реакторов 3.

3.24. Определить размеры реакторов установки двухступенчатого гидрокрекинга с неподвижным слоем катализатора, если известно: производительность установки по сырью  $G_c = 50000$  кг/ч; сырье — вакуумный газойль с относительной плотностью  $d_4^{20} = 0,996$ ; объемная скорость подачи сырья в реактор первой ступени  $\omega_1 = 1,0$  ч<sup>-1</sup>; в реактор второй ступени  $\omega_2 = 2,0$  ч<sup>-1</sup>; относительная плотность гидрогенизита  $d_4^{20} = 0,858$ ; в реакторах первой ступени применяется алюмокобальтмолибденовый катализатор, во второй ступени — платина на окиси алюминия; насыпная плотность катализаторов  $\rho_{\text{нас}} = 650$  кг/м<sup>3</sup>; на первой ступени гидрокрекинга работают три реактора, на второй — два.

3.25. Определить размеры реактора установки гидрокрекинга с кипящим слоем катализатора, если известно: производительность установки по сырью  $G_c = 75000$  кг/ч; объемная скорость подачи сырья  $\omega = 1,5$  ч<sup>-1</sup>; насыпная плотность катализатора  $\rho_{\text{нас}} = 740$  кг/м<sup>3</sup>; плотность кипящего слоя  $\rho_{\text{к.с}} = 510$  кг/м<sup>3</sup>; объем паров над кипящим слоем катализатора  $V_{\text{п}} = 2,6$  м<sup>3</sup>/с; скорость движения паров  $u = 0,3$  м/с; сырье — вакуумный газойль с относительной плотностью  $d_4^{20} = 0,920$ ; высота отстойной зоны  $h_{0,3} = 4,75$  м.

3.26. Определить размеры реактора установки гидродеалкилирования метилнафталина в присутствии алюмокобальтмолибденового катализатора, если известно: производительность установки по сырью  $G_c = 5200$  кг/ч; от-

носительная плотность сырья  $d_4^{20} = 1,000$ ; объемная скорость подачи сырья  $\omega = 0,5 \text{ ч}^{-1}$ .

3.27. Определить массу холодного водорода, вводимого в реактор установки гидродеалкилирования, если известно: производительность реактора по сырью  $G_c = 4600 \text{ кг/ч}$ ; сырье — тяжелый остаток с относительной плотностью  $d_4^{20} = 0,825$  после каталитического риформинга бензина; кратность циркуляции водородсодержащего газа  $1000 \text{ м}^3/\text{м}^3$  сырья; температура сырья на входе и продуктов на выходе из реактора соответственно  $615 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $635 \text{ }^\circ\text{C}$ ; давление в реакторе  $6 \text{ МПа}$ ; выход продуктов (в % масс.): нафталина  $36,0$ ; бензина  $47,0$ ; котельного топлива  $8,0$ ; газа  $9,0$ ; расход водорода  $1,2\%$  масс.

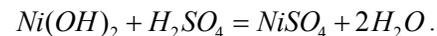
3.28. Рассчитать и подобрать нормализованный реактор-котел периодического действия для переработки  $85 \text{ кг/ч}$  реакционной массы. Начальная концентрация реагирующего вещества  $C_n = 0,17 \text{ кмоль/м}^3$ ; степень превращения  $y = 0,7$ ; константа скорости реакции, протекающей по первому порядку  $K_{p1} = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ; температура реакции  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ ; давление в реакторе  $0,25 \text{ МПа}$ ;  $\rho_{ж} = 1050 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu_{жс} = 0,015 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ;  $C_{ж} = 1900 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ ;  $\lambda_{жс} = 0,18 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ .

3.29. Рассчитать мощность привода реактора-котла с рамной мешалкой. Плотность реакционной смеси  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu = 0,020 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ;  $n = 0,834 \text{ 1/с}$ ; диаметр мешалки  $d_M = 0,9 \text{ м}$ ; диаметр аппарата  $D = 1,0 \text{ м}$ ; высота мешалки  $H_1 = 0,85 \text{ м}$ .

3.30. На установке каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора перерабатывают  $12500 \text{ кг/ч}$  солярового дистиллята. Определить размеры регенератора и продолжительность пребывания в нем частиц катализатора, если известно: выход кокса на сырье  $X_k = 4,7\%$  масс; насыпная плотность катализатора  $\rho_{нас} = 730 \text{ кг/м}^3$ ; линейная скорость движения частиц катализатора в регенераторе  $u = 0,0021 \text{ м/с}$ ; допустимое отложение кокса на отработанном катализаторе  $X'_k = 2,0\%$

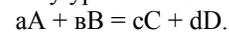
масс. интенсивность выжигания кокса  $15 \text{ кг/м}^3$  слоя в  $1 \text{ ч}$ ; сечение регенератора круглое.

3.31. Рассчитать скорость химической реакции и объем реактора-котла непрерывного действия для получения сульфата никеля путем взаимодействия гидроокиси никеля с серной кислотой по реакции



Производительность установки  $G = 2,0 \text{ т/сут}$  по безводному  $NiSO_4$ . Степень превращения  $y = 0,85$ . Константа скорости реакции второго порядка составляет  $K_{p2} = 5,76 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/(\text{кмоль}\cdot\text{с})$ . Сумма масс продуктов, составляющих реакционную смесь, приходящихся на одну тонну целевого продукта  $\sum m_i = 6257 \text{ кг/т}$ . Плотность реакционной смеси  $\rho_{см} = 1167 \text{ кг/м}^3$ .

3.32. Рассчитать время реакции, диаметр трубы реактора и скорость движения в ней реакционной среды, приняв, что режим движения среды в реакторе - турбулентный. Определить количество секций реактора и рассчитать его гидравлическое сопротивление. Объемный расход реакционной среды  $V = 16 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; начальная концентрация компонента А  $C_{An} = 16 \text{ кмоль/м}^3$ ; начальная концентрация компонента В  $C_{Bn} = 1,8 \text{ кмоль/м}^3$ ; степень превращения  $y = 0,85$ ; константа скорости реакции  $K_{p2} = 0,05 \text{ м}^3/(\text{кмоль}\cdot\text{с})$ ; плотность реакционной среды  $\rho = 980 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость реакционной среды  $6,0 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ . Реакция происходит по стехиометрическому уравнению типа:



3.33. Рассчитать камеру радиации печи пиролиза для этановой фракции. Производительность по сырью  $G = 7000 \text{ кг/ч}$ ; количество добавляемого водяного пара  $Z = 700 \text{ кг/ч}$ ; температура сырья на входе в печь равна  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ; состав сырья для пиролиза и состав продуктов пиролиза даны в табл. 3.1 и 3.2; сжигается газовое топливо следующего состава:  $\text{CH}_4 - 59\%$  и  $\text{H}_2 - 41\%$  (об.).

3.34. Рассчитать и подобрать нормализованный реактор-котел периодического действия по исходным данным: производительность по ре-

акционной массе  $G=100$  кг/ч; начальная концентрация реагирующего вещества  $C_{н}=0,18$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,7$ ; константа скорости реакции второго порядка  $K_{p2}=5,5 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/(кмоль·с); температура реакции  $t_p=120^\circ\text{C}$ ; давление в реакторе  $P=0,3$  МПа; плотность  $\rho_{ж}=1100$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость  $\mu_{жс}=0,015$  Па·с; теплоемкость  $C_{ж}=1900$  Дж/(кг·К); теплопроводность  $\lambda_{жс}=0,18$  Вт/(м·К).

3.35. Рассчитать и подобрать нормализованный реактор-котел периодического действия по исходным данным: производительность по реакционной массе  $G=120$  кг/ч; начальная концентрация реагирующего вещества  $C_{н}=0,2$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,75$ ; константа скорости реакции второго порядка  $K_{p2}=4 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/(кмоль·с); температура реакции  $t_p=110^\circ\text{C}$ ; давление в реакторе  $P=0,4$  МПа; плотность  $\rho_{ж}=1050$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость  $\mu_{жс}=0,02$  Па·с; теплоемкость  $c_{жс}=1800$  Дж/(кг·К); теплопроводность  $\lambda_{жс}=0,19$  Вт/(м·К).

3.36. Рассчитать и подобрать нормализованный реактор-котел периодического действия по исходным данным: производительность по реакционной массе  $G=150$  кг/ч; начальная концентрация реагирующего вещества  $C_{н}=0,3$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,8$ ; константа скорости реакции второго порядка  $K_{p2}=4,5 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/(кмоль·с); температура реакции  $t_p=130^\circ\text{C}$ ; давление в реакторе  $P=0,4$  МПа; плотность  $\rho_{ж}=1200$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость  $\mu_{жс}=0,025$  Па·с; теплоемкость  $c_{жс}=2000$  Дж/(кг·К); теплопроводность  $\lambda_{жс}=0,19$  Вт/(м·К).

3.37. Рассчитать и подобрать нормализованный реактор-котел периодического действия по исходным данным: производительность по реакционной массе  $G=200$  кг/ч; начальная концентрация реагирующего вещества  $C_{н}=0,25$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,7$ ; константа скорости реакции второго порядка  $K_{p2}=5 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/(кмоль·с); температура реакции  $t_p=125^\circ\text{C}$ ; давление в реакторе  $P=0,4$  МПа; плотность

$\rho_{ж}=1250$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость  $\mu_{жс}=0,020$  Па·с; теплоемкость  $C_{ж}=1800$  Дж/(кг·К); теплопроводность  $\lambda_{жс}=0,185$  Вт/(м·К).

3.38. Рассчитать скорость химической реакции и объем реактора-котла непрерывного действия. Уравнение химической реакции:  $\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ; производительность по продукту С ( $\text{CuSO}_4$ )  $G=4$  т/сут; концентрация исходных веществ А ( $\text{CuO}$ ) и В ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) в водных растворах или суспензиях  $x_a=0,30^*$ ,  $x_b=0,80^*$ ; коэффициент пропорциональности в уравнении Аррениуса  $k_o=1,0 \cdot 10^{10}$ ; энергия активации химической реакции  $E=105 \cdot 10^6$  Дж/кмоль; степень превращения  $y=0,77$ ; плотность чистых веществ  $\rho_A=6400$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_B=1830$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_C=3800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_D=1000$  кг/м<sup>3</sup>. *Примечание:* 1. Константы  $k_o$  и  $E$  взяты произвольно. 2.\* Реагент находится в водной суспензии.

3.39. Рассчитать скорость химической реакции и объем реактора-котла непрерывного действия. Уравнение химической реакции:  $\text{CuO} + 2\text{HCl} = \text{CuCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ; производительность по продукту С ( $\text{CuCl}_2$ )  $G=3$  т/сут; концентрация исходных веществ А ( $\text{CuO}$ ) и В ( $\text{HCl}$ ) в водных растворах или суспензиях  $x_a=0,30^*$ ,  $x_b=0,65$ ; коэффициент пропорциональности в уравнении Аррениуса  $k_o=2,0 \cdot 10^{10}$ ; степень превращения  $y=0,81$ ; энергия активации химической реакции  $E=110 \cdot 10^6$  Дж/кмоль; плотность чистых веществ  $\rho_A=6400$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_B=1600$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_C=3050$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_D=1000$  кг/м<sup>3</sup>. *Примечание:* 1. Константы  $k_o$  и  $E$  взяты произвольно. 2.\* Реагент находится в водной суспензии.

3.40. Рассчитать скорость химической реакции и объем реактора-котла непрерывного действия. Уравнение химической реакции:  $\text{FeO} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ; производительность по продукту С ( $\text{FeSO}_4$ )  $G=8$  т/сут; концентрация исходных веществ А ( $\text{FeO}$ ) и В ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) в водных растворах или суспензиях  $x_a=0,25^*$ ,  $x_b=0,75$ ; коэффициент пропорциональности в уравнении Аррениуса  $k_o=98 \cdot 10^{10}$ ; степень превращения  $y=0,82$ ; энергия активации химической реакции  $E=120 \cdot 10^6$  Дж/кмоль; плотность чистых веществ  $\rho_A=5180$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_B=1830$

кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_C = 1900$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_D = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. *Примечание:* 1. Константы  $k_o$  и  $E$  взяты произвольно. 2.\* Реагент находится в водной суспензии.

3.41. Рассчитать скорость химической реакции и объем реактора-котла непрерывного действия. Уравнение химической реакции:  $\text{CaO} + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ; производительность по продукту С ( $\text{CaCl}_2$ )  $G = 7$  т/сут; концентрация исходных веществ А ( $\text{CaO}$ ) и В ( $\text{HCl}$ ) в водных растворах или суспензиях  $x_a = 1,0^*$  и  $x_b = 0,20$ ; коэффициент пропорциональности в уравнении Аррениуса  $k_o = 97 \cdot 10^{10}$ ; степень превращения  $y = 0,84$ ; энергия активации химической реакции  $E = 114 \cdot 10^6$  Дж/кмоль; плотность чистых веществ  $\rho_A = 3370$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_B = 1600$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_C = 2510$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_D = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. *Примечание:* 1. Константы  $k_o$  и  $E$  взяты произвольно. 2.\* Реагент находится в водной суспензии.

3.42. Рассчитать скорость химической реакции и объем реактора-котла непрерывного действия. Уравнение химической реакции:  $\text{HCl} + \text{NH}_4\text{OH} = \text{NH}_4\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$ ; производительность по продукту С ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )  $G = 3$  т/сут; концентрация исходных веществ А ( $\text{HCl}$ ) и В ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) в водных растворах или суспензиях  $x_a = 0,05^*$ ,  $x_b = 0,10$ ; коэффициент пропорциональности в уравнении Аррениуса  $k_o = 50 \cdot 10^{10}$ ; степень превращения  $y = 0,85$ ; энергия активации химической реакции  $E = 100 \cdot 10^6$  Дж/кмоль; плотность чистых веществ  $\rho_A = 1600$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_B = 1700$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_C = 1530$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_D = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. *Примечание:* 1. Константы  $k_o$  и  $E$  взяты произвольно. 2.\* Реагент находится в водной суспензии.

3.43. Рассчитать скорость химической реакции и объем реактора-котла непрерывного действия. Уравнение химической реакции:  $2\text{HCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ; производительность по продукту С ( $\text{CaCl}_2$ )  $G = 5$  т/сут; концентрация исходных веществ А ( $\text{HCl}$ ) и В ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) в водных растворах или суспензиях  $x_a = 0,06$ ,  $x_b = 0,18^*$ ; коэффициент пропорциональности в уравнении Аррениуса  $k_o = 55 \cdot 10^{10}$ ; степень превращения  $y = 0,86$ ; энергия активации химической реакции  $E = 106 \cdot 10^6$  Дж/кмоль; плотность чистых веществ  $\rho_A = 1600$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_B =$

2240 кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_C = 2510$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_D = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. *Примечание:* 1. Константы  $k_o$  и  $E$  взяты произвольно. 2.\* Реагент находится в водной суспензии.

3.44. Рассчитать мощность привода реактора-котла с рамной мешалкой по исходным данным: внутренний диаметр аппарата  $D = 1,2$  м; высота мешалки  $H_1 = 0,9$  м; диаметр мешалки  $d_M = 1,1$  м; плотность реакционной массы  $\rho = 1100$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость реакционной массы  $\mu = 10 \cdot 10^{-3}$  Па·с; частота вращения мешалки  $n = 50$  мин<sup>-1</sup>.

3.45. Рассчитать мощность привода реактора-котла с рамной мешалкой по исходным данным: внутренний диаметр аппарата  $D = 1,0$  м; высота мешалки  $H_1 = 0,7$  м; диаметр мешалки  $d_M = 0,9$  м; плотность реакционной массы  $\rho = 1200$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость реакционной массы  $\mu = 15 \cdot 10^{-3}$  Па·с; частота вращения мешалки  $n = 50$  мин<sup>-1</sup>.

3.46. Рассчитать мощность привода реактора-котла с ленточной мешалкой по исходным данным: внутренний диаметр аппарата  $D = 2,0$  м; высота мешалки  $H_1 = 2,0$  м; диаметр мешалки  $d_M = 1,86$  м; плотность реакционной массы  $\rho = 1400$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость реакционной массы  $\mu = 10 \cdot 10^{-3}$  Па·с; частота вращения мешалки  $n = 60$  мин<sup>-1</sup>.

3.47. Рассчитать мощность привода реактора-котла с ленточной мешалкой по исходным данным: внутренний диаметр аппарата  $D = 2,2$  м; высота мешалки  $H_1 = 2,16$  м; диаметр мешалки  $d_M = 2,04$  м; плотность реакционной массы  $\rho = 1200$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость реакционной массы  $\mu = 5 \cdot 10^{-3}$  Па·с; частота вращения мешалки  $n = 60$  мин<sup>-1</sup>.

3.48. Рассчитать мощность привода реактора-котла со шнековой мешалкой по исходным данным: внутренний диаметр аппарата  $D = 2,4$  м; высота мешалки  $H_1 = 2,2$  м; диаметр мешалки  $d_M = 2,3$  м; плотность реакционной массы  $\rho = 1300$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость реакционной массы  $\mu = 20 \cdot 10^{-3}$  Па·с; частота вращения мешалки  $n = 50$  мин<sup>-1</sup>.

3.49. Рассчитать мощность привода реактора-котла со шнековой мешалкой по исходным данным: внутренний диаметр аппарата  $D=2,8$  м; высота мешалки  $H_1=3,2$  м; диаметр мешалки  $d_M=2,6$  м; плотность реакционной массы  $\rho=950$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость реакционной массы  $\mu=20 \cdot 10^{-3}$  Па·с; частота вращения мешалки  $n=50$  мин<sup>-1</sup>.

3.50. Определить объем реакционной зоны в трубчатой печи пиролиза бензина, если известно: нагрузка печи по сырью — бензину ( $d_4^{20} = 0,740$ ;  $M=110$  кг/кмоль) 18000 кг/ч и продолжительность реакции 0,55 с; температура и давление в реакционном змеевике соответственно 850 °С и 0,32 МПа; расход водяного пара 50% масс.; глубина превращения 65%; молекулярная масса газов пиролиза 25 кг/кмоль.

3.51. Определить размеры реактора на установке пиролиза с движущимся слоем коксового теплоносителя, если известно: сырьем служит пропан; производительность реактора  $G_c=3500$  кг/ч по сырью; насыпная и истинная плотности теплоносителя 800 кг/м<sup>3</sup> и 1700 кг/м<sup>3</sup> соответственно; условия процесса: температура 825 °С, давление 0,12 МПа и продолжительность пребывания сырья в реакторе 1,2 с; водяной пар подается 80% масс. на сырье; отношение высоты реактора к диаметру 2,5 : 1.

3.52. Определить продолжительность контакта и размеры реактора установки пиролиза в кипящем слое песка, если известно: сырьем служит пропан, которого подается 2400 кг/ч; в реактор поступает водяной пар 70% масс. на сырье; выход продуктов (в % масс.): газа 89,9, бензина с температурой конца кипения (к.к.) 200 °С 9,5, кокса и потери 0,6; условия процесса: температура 800 °С; давление 0,16 МПа; объемная скорость подачи сырья  $\omega=0,1$  ч<sup>-1</sup>; плотность кипящего слоя  $\rho_{к.с.}=1200$  кг/м<sup>3</sup>, насыпная и истинная плотности песка 1600 кг/м<sup>3</sup> и 2500 кг/м<sup>3</sup> соответственно; линейная скорость движения паров в реакторе  $u=0,6$  м/с; плотность газа  $\rho=1$  кг/м<sup>3</sup>.

3.53. Определить продолжительность контакта и размеры реактора установки пиролиза с кипящим слоем коксового теплоносителя, если

известно: сырье — гудрон с относительной плотностью  $d_4^{20} = 0,9960$ ; производительность установки  $G_c = 40000$  кг/ч по сырью; условия процесса: температура 780 °С, давление 0,24 МПа, объемная скорость подачи сырья 6,0 ч<sup>-1</sup> и продолжительность контакта 9,6 с; выход продуктов (в % масс.): газа 37,2, жидких углеводородов 35,5, кокса и потери 27,3; молекулярная масса газа и жидких углеводородов соответственно 21,5 кг/кмоль и 200 кг/кмоль; в реактор подается водяной пар 45% масс. на сырье; отношение высоты реактора к его диаметру 0,6 : 1.

3.54. Производительность установки каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора составляет 350 т/сут по сырью. Определить диаметр реактора и высоту слоя катализатора в нем, если известно: сырьем установки является газойль с относительной плотностью  $d_4^{20} = 0,878$ ; выход кокса  $X_k = 5,9\%$  масс. на сырье; объемная скорость подачи сырья  $\omega=2,0$  ч<sup>-1</sup>; насыпная плотность катализатора  $\rho_{нас}=720$  кг/м<sup>3</sup>; допустимое отложение кокса на катализаторе  $X'_k=2,0\%$  масс.; линейная скорость движения катализатора в реакторе  $u=0,008$  м/с.

3.55. На установке каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора перерабатывают 400 т/сут. газойля. Определить размеры регенератора и продолжительность пребывания в нем частиц катализатора, если известно: насыпная плотность катализатора  $\rho_{нас}=700$  кг/м<sup>3</sup>; линейная скорость движения частиц катализатора в регенераторе  $u=0,004$  м/с; интенсивность выжигания кокса  $K=15$  кг/м<sup>3</sup> слоя в 1 ч; допустимое отложение кокса на отработанном катализаторе  $X'_k=2\%$ ; выход кокса  $X_k=5,9\%$  масс. на сырье.

3.56. На установке каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора перерабатывают тяжелый газойль — 25000 кг/ч. Определить диаметр реактора и высоту слоя катализатора в нем, если известно: относительная плотность сырья  $d_4^{20} = 0,918$ ; объемная скорость подачи сырья в реакторе  $\omega=2,5$  ч<sup>-1</sup>; насыпная плотность катализатора  $\rho_{нас}=720$  кг/м<sup>3</sup>; линейная скорость движения частиц катализатора в реакторе

$u=0,003$  м/с; выход кокса на сырье  $X_k=3,4\%$  масс.; допустимое отложение кокса на отработанном катализаторе  $X'_k=1,6\%$ ; остаточное содержание кокса на регенерированном катализаторе составляет  $0,3\%$ .

3.57. На установке каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора перерабатывают  $23200$  кг/ч солярового дистиллята. Определить размеры регенератора и продолжительность пребывания в нем частиц катализатора, если известно: выход кокса на сырье  $X_k=4,7\%$  масс; насыпная плотность катализатора  $\rho_{нас}=700$  кг/м<sup>3</sup>; линейная скорость движения частиц катализатора в регенераторе  $u=0,004$  м/с; допустимое отложение кокса на отработанном катализаторе  $X'_k=2,0\%$  масс. интенсивность выжигания кокса  $15$  кг/м<sup>3</sup> слоя в  $1$  ч; сечение регенератора круглое.

3.58. Рассчитать время реакции, диаметр трубы и гидравлическое сопротивление трубчатого реактора. Исходные данные: объемный расход реакционной смеси  $V=4$  м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация исходного вещества А  $C_{Ан}=2,0$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,50$ ; порядок реакции  $n=0$ ; константа скорости реакции  $k_p=5,0 \cdot 10^{-4}$  кмоль/(м<sup>3</sup>·с); плотность реакционной среды  $\rho=800$  кг/м<sup>3</sup>; динамическая вязкость реакционной среды  $\mu=4,35 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

3.59. Рассчитать время реакции, диаметр трубы и гидравлическое сопротивление трубчатого реактора. Исходные данные: объемный расход реакционной смеси  $V=8$  м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация исходного вещества А  $C_{Ан}=1,8$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,60$ ; порядок реакции  $n=0$ ; константа скорости реакции  $k_p=3,6 \cdot 10^{-4}$  кмоль/(м<sup>3</sup>·с); плотность реакционной среды  $\rho=850$  кг/м<sup>3</sup>; динамическая вязкость реакционной среды  $\mu=6,31 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

3.60. Рассчитать время реакции, диаметр трубы и гидравлическое сопротивление трубчатого реактора. Исходные данные: объемный расход реакционной смеси  $V=12$  м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация исходного вещества А  $C_{Ан}=1,5$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,70$ ; порядок реакции  $n=1$ ; константа скорости реакции  $k_p=4,8 \cdot 10^{-4}$  с<sup>-1</sup>; плот-

ность реакционной среды  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup>; динамическая вязкость реакционной среды  $\mu=7,62 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

3.61. Рассчитать время реакции, диаметр трубы и гидравлическое сопротивление трубчатого реактора. Исходные данные: объемный расход реакционной смеси  $V=16$  м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация исходного вещества А  $C_{Ан}=1,1$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,80$ ; порядок реакции  $n=1$ ; константа скорости реакции  $k_p=8,0 \cdot 10^{-4}$  с<sup>-1</sup>, плотность реакционной среды  $\rho=950$  кг/м<sup>3</sup>; динамическая вязкость реакционной среды  $\mu=8,25 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

3.62. Рассчитать время реакции, диаметр трубы и гидравлическое сопротивление трубчатого реактора. Исходные данные: объемный расход реакционной смеси  $V=20$  м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация исходных веществ А и В  $C_{Ан}=0,81$  кмоль/м<sup>3</sup> и  $C_{Вн}=0,92$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,85$ ; порядок реакции  $n=1$ ; константа скорости реакции  $k_p=17 \cdot 10^{-4}$  с<sup>-1</sup>; плотность реакционной среды  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>; динамическая вязкость реакционной среды  $\mu=10,4 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

3.63. Рассчитать время реакции, диаметр трубы и гидравлическое сопротивление трубчатого реактора. Исходные данные: объемный расход реакционной смеси  $V=24$  м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация исходных веществ А и В  $C_{Ан}=0,52$  кмоль/м<sup>3</sup> и  $C_{Вн}=0,57$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,75$ ; порядок реакции  $n=1$ ; константа скорости реакции  $k_p=20 \cdot 10^{-4}$  с<sup>-1</sup>; плотность реакционной среды  $\rho=1050$  кг/м<sup>3</sup>; динамическая вязкость реакционной среды  $\mu=11,4 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

3.64. Рассчитать время реакции, диаметр трубы и гидравлическое сопротивление трубчатого реактора. Исходные данные: объемный расход реакционной смеси  $V=28$  м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация исходного вещества А  $C_{Ан}=0,33$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,65$ ; порядок реакции  $n=1$ ; константа скорости реакции  $k_p=5,8 \cdot 10^{-4}$  с<sup>-1</sup>; плотность реакционной среды  $\rho=1100$  кг/м<sup>3</sup>; динамическая вязкость реакционной среды  $\mu=13,6 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

3.65. Рассчитать время реакции, диаметр трубы и гидравлическое сопротивление трубчатого реактора. Исходные данные: объемный расход реакционной смеси  $V=32 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; начальная концентрация исходного вещества  $A \text{ } C_{\text{АН}}=0,24 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ ; степень превращения  $u=0,55$ ; порядок реакции  $n=1$ ; константа скорости реакции  $k_p=5,3 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ ; плотность реакционной среды  $\rho=820 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; динамическая вязкость реакционной среды  $\mu=11,6 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

3.66. Рассчитать время реакции, диаметр трубы и гидравлическое сопротивление трубчатого реактора. Исходные данные: объемный расход реакционной смеси  $V=36 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; начальная концентрация исходного вещества  $A \text{ } C_{\text{АН}}=0,18 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ ; степень превращения  $u=0,82$ ; порядок реакции  $n=0$ ; константа скорости реакции  $k_p=1,0 \cdot 10^{-4} \text{ кмоль}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ ; плотность реакционной среды  $\rho=930 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; динамическая вязкость реакционной среды  $\mu=12,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

3.67. Рассчитать время реакции, диаметр трубы и гидравлическое сопротивление трубчатого реактора. Исходные данные: объемный расход реакционной смеси  $V=40 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; начальная концентрация исходного вещества  $A \text{ } C_{\text{АН}}=0,15 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ ; степень превращения  $u=0,72$ ; порядок реакции  $n=0$ ; константа скорости реакции  $k_p=1,1 \cdot 10^{-4} \text{ кмоль}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ ; плотность реакционной среды  $\rho=1020 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; динамическая вязкость реакционной среды  $\mu=14,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

3.68. Рассчитать время реакции, диаметр трубы и гидравлическое сопротивление трубчатого реактора. Исходные данные: объемный расход реакционной смеси  $V=35 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; начальные концентрации исходных веществ  $A$  и  $B \text{ } C_{\text{АН}}=0,20 \text{ кмоль}/\text{м}^3$  и  $C_{\text{ВН}}=0,22 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ ; степень превращения  $u=0,63$ ; порядок реакции  $n=2$ ; константа скорости реакции  $k_p=40 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/(\text{кмоль}\cdot\text{с})$ ; плотность реакционной среды  $\rho=1070 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; динамическая вязкость реакционной среды  $\mu=13,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

3.69. Рассчитать камеру радиации пиролиза для этановой фракции. Производительность по сырью  $G=10000 \text{ кг}/\text{ч}$ ; количество добавляемого водяного пара  $Z=1000 \text{ кг}/\text{ч}$ ; температура сырья на входе в печь

равна  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ; состав сырья для пиролиза и состав продуктов пиролиза даны см. Таблица 6, Таблица 7; сжигается газовое топливо следующего состава:  $\text{CH}_4 - 59\%$  и  $\text{H}_2 - 41\%$  (об.).

3.70. Рассчитать камеру радиации пиролиза для этановой фракции. Производительность по сырью  $G=15000 \text{ кг}/\text{ч}$ ; количество добавляемого водяного пара  $Z=1500 \text{ кг}/\text{ч}$ ; температура сырья на входе в печь  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ; состав сырья для пиролиза и состав продуктов пиролиза даны см. Таблица 6, Таблица 7; сжигается газовое топливо следующего состава:  $\text{CH}_4 - 56\%$  и  $\text{H}_2 - 44\%$  (об.).

3.71. Рассчитать камеру радиации пиролиза для этановой фракции. Производительность по сырью  $G=6000 \text{ кг}/\text{ч}$ ; количество добавляемого водяного пара  $Z=600 \text{ кг}/\text{ч}$ ; температура сырья на входе в печь  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ; состав сырья для пиролиза и состав продуктов пиролиза даны см. Таблица 6, Таблица 7; сжигается газовое топливо следующего состава:  $\text{CH}_4 - 58\%$  и  $\text{H}_2 - 42\%$  (об.).

3.72. Рассчитать камеру радиации пиролиза для этановой фракции. Производительность по сырью  $G=8000 \text{ кг}/\text{ч}$ ; количество добавляемого водяного пара  $Z=800 \text{ кг}/\text{ч}$ ; температура сырья на входе в печь  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ; состав сырья для пиролиза и состав продуктов пиролиза даны см. Таблица 6, Таблица 7; сжигается газовое топливо следующего состава:  $\text{CH}_4 - 60\%$  и  $\text{H}_2 - 40\%$  (об.).

3.73. Рассчитать камеру радиации пиролиза для этановой фракции. Производительность по сырью  $G=13000 \text{ кг}/\text{ч}$ ; количество добавляемого водяного пара  $Z=1300 \text{ кг}/\text{ч}$ ; температура сырья на входе в печь  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ; состав сырья для пиролиза и состав продуктов пиролиза даны см. Таблица 6, Таблица 7; сжигается газовое топливо следующего состава:  $\text{CH}_4 - 60\%$  и  $\text{H}_2 - 40\%$  (об.).

3.74. Подобрать перемешивающее устройство для аппарата с номинальным объемом  $V_n = 5 \text{ м}^3$ , в котором содержится суспензия с частицами размером  $\delta = 1,5 \text{ мм}$ . Вязкость жидкости  $\mu = 0,0065 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , плотность жидкости  $\rho_{\text{ж}} = 1020 \text{ кг}/\text{м}^3$ , плотность твердой фазы  $\rho_{\text{т}} = 1700$

кг/м<sup>3</sup>. Массовая доля твердой фазы до 90%. Давление в аппарате 0,3 МПа; среда некоррозионна и невзрывоопасна.

3.75. Рассчитать реактор-котел периодического действия для переработки 15000 кг в сутки реакционной смеси при следующих исходных данных. Начальная концентрация реагирующего вещества  $C_n=0,17$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,7$ ; константа скорости реакции, протекающей по первому порядку,  $K_{p1} = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$  температура реакции  $t_p = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ ; давление в реакторе  $P=0,3$  МПа; тепловой эффект реакции (экзотермической)  $q = 2,8 \cdot 10^9 \text{ Дж/кмоль}$ ; реакционная смесь имеет следующие физические свойства:  $\rho_{ж} = 1050 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu_{ж} = 0,015 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ;  $C_{жс} = 1900 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ ;  $\lambda_{жс} = 0,18 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ .

3.76. Рассчитать количество реакторов в каскаде, их номинальный объем и тепловые потоки от реакции в каждом аппарате при следующих исходных данных. Реакция протекает по схеме  $A + B \rightarrow C$ . На реакцию подается раствор вещества  $A$  в количестве  $V_A = 2,7 \text{ м}^3/\text{ч}$  с концентрацией  $C_A = 5 \text{ кмоль/м}^3$  и раствор вещества  $B$  в количестве  $V_B = 2,0 \text{ м}^3/\text{ч}$  с концентрацией  $C_B=7 \text{ кмоль/м}^3$ . Степень превращения вещества  $A$   $y_A=0,88$ . Температура реакции  $t_p = 87 \text{ }^\circ\text{C}$ . Константа скорости реакции описывается уравнением

$$K_p = 6,4 \cdot 10^{-13} \exp\left[-1,2 \cdot 10^8 / (RT_p)\right].$$

Тепловой эффект реакции  $q = 8,0 \text{ МДж/кмоль}$ .

3.77. Рассчитать количество кислорода, растворяемого в культуральной жидкости при температуре  $t = 35 \text{ }^\circ\text{C}$  и избыточном давлении  $p_{изб} = 0,05 \text{ МПа}$ . В качестве ферментатора принят сосуд с перегородками и с открытой турбинной мешалкой. Массовый расход культуральной жидкости составляет  $G = 500 \text{ кг/ч}$ ; время пребывания ее в аппарате  $\tau = 4 \text{ ч}$ .

3.78. Подобрать барботажный реактор непрерывного действия для каталитического окисления углеводородов со средней молекулярной массой  $M=86 \text{ кг/кмоль}$ . Производительность реактора по жидкости  $V_{ж} = 5 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Расход воздуха, приведенный к нормальным условиям ( $p_0=0,1 \text{ МПа}$ ,  $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), составляет  $V_{г} = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Температура реакции  $t_p = 92 \text{ }^\circ\text{C}$ , давление  $p = 0,2 \text{ МПа}$ , время реакции до требуемой степени превращения

$\tau_p=2,8 \text{ ч}$ . Реакция экзотермическая, теплота реакции  $q_p=735 \text{ кДж}$  при окислении 1 кг сырья. Температура хладагента должна быть не ниже  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

3.79. Рассчитать основные технические данные реактора для каталитического окисления жидкости. Окисление  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$  жидкости осуществляется воздухом при его расходе, приведенном к нормальным условиям ( $P = 0,1 \text{ МПа}$   $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $V_{гo} = 1800 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Температура реакции  $t_p=180^\circ\text{C}$ ; при давлении в аппарате  $P = 0,6 \text{ МПа}$ . Время реакции до требуемой степени превращения составляет  $\tau_p = 45 \text{ мин}$ . Тепловой эффект экзотермической реакции  $q_p=6,3 \text{ МДж}$  на 1 кг окисленного сырья.

3.80. Рассчитать перемешивающее устройство и подобрать к нему мотор-редуктор с номинальным объемом  $V_n = 8 \text{ м}^3$ , в котором содержится суспензия с частицами размером  $\delta=0,8 \text{ мм}$ . Вязкость жидкости  $\mu = 0,0034 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , плотность жидкости  $\rho_{ж} = 1000 \text{ кг/м}^3$ , плотность твердой фазы  $\rho_{т} = 1400 \text{ кг/м}^3$ . Давление в аппарате 0,6 МПа; среда взрыво- и пожароопасна.

3.81. Рассчитать реактор-котел периодического действия для переработки 15000 кг в сутки реакционной смеси при следующих исходных данных. Начальная концентрация реагирующего вещества  $C_{An}=0,20 \text{ кмоль/м}^3$ ; степень превращения  $y_a=0,6$ ; константа скорости реакции, протекающей по первому порядку,  $K_{p1}=5,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ; температура реакции  $t_p = 105 \text{ }^\circ\text{C}$ ; тепловой эффект реакции  $q_p= 4,2 \text{ МДж/кмоль}$ ; реакционная смесь имеет следующие физические свойства:  $\rho_{ж} = 950 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu_{ж} = 0,005 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ;  $c_{ж} = 2700 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ ;  $\lambda_{жс} = 0,18 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ .

3.82. Подобрать нормализованный аппарат с мешалкой для растворения водорода  $\text{H}_2$  в воде и определить количество поглощенного газа по исходным данным: объемная доля целевого компонента в газе  $y = 0,85$ ; избыточное давление  $p_{изб}=1,5 \text{ МПа}$ ; расход газа, приведенный к рабочим условиям  $G_{г}^* = 160 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; производительность аппарата по жидкости  $L_{г}^* = 0,17 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; среднее время пребывания жидкости в реакторе  $\tau_{cp}=3 \text{ ч}$ ; температура реакции  $t_p = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ .

3.83. Рассчитать и выбрать тип барботажного реактора для проведения химических превращений по исходным данным: производительность аппарата по жидкости  $L_V^* = 3,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; расход газа, приведенный к рабочим условиям  $G_V^* = 140 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; давление в реакторе  $P = 0,65 \text{ МПа}$ ; время окисления продукта до требуемой степени превращения  $\tau_p = 1,5 \text{ ч}$ ; теплота реакции при окислении 1 кг сырья  $q_p = 7,8 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$ ; температура реакции  $t_p = 130 \text{ }^\circ\text{C}$ ; наибольшая допустимая температура теплоносителя  $\theta = 105^\circ\text{C}$ ; плотность  $\rho_{ж} = 910 \text{ кг/м}^3$ ; теплоемкость  $c_{жс} = 1900 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ ; теплопроводность  $\lambda_{жс} = 0,13 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ ; кинематическая вязкость  $\nu_{жс} = 1,40 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ; поверхность натяжения на границе жидкость-газ  $\sigma = 19 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ .

3.84. Определить число потоков и продолжительность пребывания сырья и продуктов пиролиза в радиантных трубах печи, если известно: сырьем служит пропан; производительность установки по сырью 30000 кг/ч; температура на входе в радиантные трубы и выходе из печи  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $815 \text{ }^\circ\text{C}$  соответственно; выход продуктов (в % масс.):  $\text{H}_2$  2,8;  $\text{CH}_4$  17,8;  $\text{C}_2\text{H}_2$  0,8;  $\text{C}_2\text{H}_4$  29,5;  $\text{C}_2\text{H}_6$  9,2;  $\text{C}_3\text{H}_6$  14,0;  $\text{C}_3\text{H}_8$  24,7; кокс 1,2; в трубы печи подают водяной пар 15% масс. на сырье; давление на входе в секцию 0,18 МПа и на выходе из нее 0,13 МПа, тепло, передаваемое радиантными трубами, 25,5 МВт. Принять массовую скорость подачи сырья  $120 \text{ кг/(м}^2\cdot\text{с)}$ ,  $d_{\text{внут}} = 102 \text{ мм}$ ,  $d_{\text{нар}} = 114 \text{ мм}$ ,  $l = 12 \text{ м}$ , теплонапряженность труб  $23,84 \text{ кВт/м}^2$ .

3.85. Определить объем реакционной зоны в трубчатой печи пиролиза бензина, если известно: нагрузка печи по сырью — бензину ( $d_4^{20} = 0,740$ ;  $M = 110 \text{ кг/кмоль}$ ) 18000 кг/ч и продолжительность реакции 0,55 с; температура и давление в реакционном змеевике соответственно  $850 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $0,32 \text{ МПа}$ ; расход водяного пара 50% масс. на сырье; глубина превращения 65%; молекулярная масса газов пиролиза  $25 \text{ кг/кмоль}$ .

3.86. Определить размеры реактора на установке пиролиза с движущимся слоем коксового теплоносителя, если известно: сырьем служит пропан; производительность реактора  $G_c = 3500 \text{ кг/ч}$  по сырью;

насыпная и истинная плотности теплоносителя  $800 \text{ кг/м}^3$  и  $1700 \text{ кг/м}^3$  соответственно; условия процесса: температура  $825 \text{ }^\circ\text{C}$ , давление  $0,12 \text{ МПа}$  и продолжительность пребывания сырья в реакторе  $1,2 \text{ с}$ ; в реактор подается водяной пар 80% масс. на сырье; отношение высоты реактора к диаметру  $2,5 : 1$ .

3.87. Определить продолжительность контакта и размеры реактора установки пиролиза в кипящем слое песка, если известно: сырьем служит пропан, которого подается  $2400 \text{ кг/ч}$ ; в реактор поступает водяной пар 70% масс. на сырье; выход продуктов (в % масс.): газа 89,9, бензина с к. к.  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  9,5, кокса и потери 0,6; условия процесса: температура  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ ; давление  $0,16 \text{ МПа}$ ; объемная скорость подачи сырья  $\omega = 0,1 \text{ ч}^{-1}$ ; плотность кипящего слоя  $\rho_{к.с.} = 1200 \text{ кг/м}^3$ , насыпная и истинная плотности песка  $1600 \text{ кг/м}^3$  и  $2500 \text{ кг/м}^3$  соответственно; линейная скорость движения паров в реакторе  $u = 0,6 \text{ м/с}$ ; плотность газа  $\rho = 1,1 \text{ кг/м}^3$ .

3.88. Определить продолжительность контакта и размеры реактора установки пиролиза с кипящим слоем коксового теплоносителя, если известно: сырье — гудрон с относительной плотностью  $d_4^{20} = 0,9960$ ; производительность установки  $G_c = 40000 \text{ кг/ч}$  по сырью; условия процесса: температура  $780 \text{ }^\circ\text{C}$ , давление  $0,24 \text{ МПа}$ , объемная скорость подачи сырья  $6,0 \text{ ч}^{-1}$  и продолжительность контакта  $9,6 \text{ с}$ ; выход продуктов (в % масс.): газа 37,2, жидких углеводородов 39,5, кокса и потери 27,3; молекулярная масса газа и жидких углеводородов соответственно  $21,5 \text{ кг/кмоль}$  и  $200 \text{ кг/кмоль}$ ; в реактор подается водяной пар 45% масс. на сырье; отношение высоты реактора к его диаметру  $0,6 : 1$ .

3.89. Производительность установки каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора составляет  $350 \text{ т/сут}$  по сырью. Определить диаметр реактора и высоту слоя катализатора в нем, если известно: сырьем установки является газойль с относительной плотностью  $d_4^{20} = 0,878$ ; выход кокса  $X_k = 5,9\%$  масс. на сырье; объемная скорость подачи сырья  $\omega = 2,0 \text{ ч}^{-1}$ ; насыпная плотность катализатора  $\rho_{\text{нас}} = 700 \text{ кг/м}^3$ ; допустимое отложение кокса на катализаторе

$X'_k=2,0\%$  масс.; линейная скорость движения катализатора в реакторе  $u=0,008$  м/с.

3.90. На установке каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора перерабатывают 400 т/сут. газойля. Определить размеры регенератора и продолжительность пребывания в нем частиц катализатора, если известно: насыпная плотность катализатора  $\rho_{\text{нас}}=700$  кг/м<sup>3</sup>; линейная скорость движения частиц катализатора в регенераторе  $u=0,004$  м/с; интенсивность выжигания кокса  $K=15$  кг/м<sup>3</sup> слоя в 1 ч; допустимое отложение кокса на отработанном катализаторе  $X'_k=2\%$ ; выход кокса  $X_k=5,9\%$  масс. на сырье.

3.91. На установке каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора перерабатывают тяжелый газойль — 25000 кг/ч. Определить диаметр реактора и высоту слоя катализатора в нем, если известно: относительная плотность сырья  $d_4^{20} = 0,918$ ; объемная скорость подачи сырья в реакторе  $\omega=2,5$  ч<sup>-1</sup>; насыпная плотность катализатора  $\rho_{\text{нас}}=700$  кг/м<sup>3</sup>; линейная скорость движения частиц катализатора в реакторе  $u=0,0024$  м/с; выход кокса на сырье  $X_k=3,4\%$  масс.; Допустимое отложение кокса на отработанном катализаторе  $X'_k=1,6\%$ ; остаточное содержание кокса на регенерированном катализаторе составляет 0,3%.

3.92. На установке каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора перерабатывают 23200 кг/ч солярового дистиллята. Определить размеры регенератора и продолжительность пребывания в нем частиц катализатора, если известно: выход кокса на сырье  $X_k=4,7\%$  масс; насыпная плотность катализатора  $\rho_{\text{нас}}=700$  кг/м<sup>3</sup>; линейная скорость движения частиц катализатора в регенераторе  $u=0,0042$  м/с; допустимое отложение кокса на отработанном катализаторе  $X'_k=2,0\%$  масс. интенсивность выжигания кокса 15 кг/м<sup>3</sup> слоя в 1 ч; сечение регенератора круглое.

3.93. На установке каталитического крекинга с кипящим слоем катализатора перерабатывают 45000 кг/ч вакуумного газойля. Определить диаметр и высоту реактора (без учета отпарной секции), если известно: объем паров, проходящих через реактор,  $G_v=25$  м<sup>3</sup>/с; скорость паров над кипящим слоем катализатора  $u=0,35$  м/с; относительная плот-

ность сырья  $d_4^{20} = 0,896$ ; объемная скорость подачи сырья  $\omega=1,25$  ч<sup>-1</sup>; насыпная плотность катализатора и плотность кипящего слоя соответственно  $\rho_{\text{нас}} = 820$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{\text{к.с.}}=400$  кг/м<sup>3</sup>; высота отстойной зоны  $h_{0,3}=5$  м.

3.94. На установке каталитического крекинга с кипящим слоем катализатора кратность циркуляции катализатора 10 и объемная скорость подачи сырья  $\omega=4,2$  ч<sup>-1</sup>. Определить продолжительность пребывания сырья и катализатора в реакторе.

3.95. На установке каталитического крекинга типа Ортофлору В циркулирует 470000 кг/ч катализатора. Определить размеры отпарной секции реактора, если известно: расход водяного пара 0,6% масс. на циркулирующий катализатор; продолжительность пребывания катализатора в отпарной секции  $\tau=1$  мин; скорость движения водяных паров  $u=0,3$  м/с; плотность кипящего слоя катализатора  $\rho_{\text{к.с.}} = 380$  кг/м<sup>3</sup>; температура и давление в секции 480 °С и 0,15 МПа.

3.96. На установке каталитического крекинга с кипящим слоем циркулирует 250000 кг/ч катализатора. Определить размеры отпарной секции, расположенной под реактором, если известно: расход водяного пара 0,5% масс. на катализатор; температура и давление в секции 430 °С и 0,16 МПа, в отпарной секции имеются перегородки, которые уменьшают ее сечение на 50%; скорость подачи водяного пара (на живое сечение секции)  $u=0,6$  м/с; продолжительность пребывания катализатора в секции  $\tau=1,5$  мин; плотность кипящего слоя катализатора  $\rho_{\text{к.с.}} = 400$  кг/м<sup>3</sup>.

3.97. Определить диаметр и высоту регенератора установки каталитического крекинга с кипящим слоем катализатора, если известно: объемный расход дымовых газов  $V_{\text{д.г.}}=17,2$  м<sup>3</sup>/с; скорость движения дымовых газов над кипящим слоем катализатора  $u=0,73$  м/с; масса циркулирующего катализатора  $G^*=325000$  кг/ч; продолжительность пребывания катализатора в регенераторе  $\tau = 10$  мин; плотность кипящего слоя  $\rho_{\text{к.с.}} = 450$  кг/м<sup>3</sup>; высота отстойной зоны принимается равной  $h_{0,3}=5,3$  м.

3.98. В регенераторе установки каталитического крекинга с кипящим слоем катализатора сжигают 3420 кг/ч кокса. Определить температуру катализатора на выходе из регенератора, если известно: масса циркулирующего катализатора  $G=600000$  кг/ч; расход воздуха 11,5 кг/кг кокса; воздух подается с температурой 25 °С; температура катализатора на входе в регенератор 480 °С; теплота сгорания кокса (с учетом неполного сгорания в  $Q_p''=23,442$  МДж/кг; удельная теплоемкость катализатора 1,046 кДж/(кг·К), кокса 1,255 кДж/(кг·К), воздуха 1,0 кДж/(кг·К) и дымовых газов 0,45 кДж/(кг·К).

3.99. На установке каталитического риформинга с платиновым катализатором производительностью 70000 кг/ч по сырью перерабатывают фракцию 85—120°С ( $d_4^{20}=0,724$ ;  $T_{кр}=541$  К;  $P_{кр}=2,72$  МПа;  $M=100$  кг/кмоль). Определить размеры реакторов, если известно: температура и давление в реакторе 420 °С и 2,02 МПа; объемная скорость подачи сырья  $\omega=1,5$  ч<sup>-1</sup>; объем циркулирующего газа 1000 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сырья; на установке шесть реакторов, соединенных последовательно по три.

3.100. На установке каталитического риформинга с платиновым катализатором производительностью 23000 кг/ч по сырью перерабатывают фракцию с температурами 120—180 °С ( $d_4^{20}=0,772$ ;  $T_{кр}=601$  К;  $P_{кр}=2,50$  МПа;  $M=133$  кг/кмоль). Определить размеры реакторов, если известно: давление и средняя температура в реакторе 1,02 МПа и 480 °С; объемная скорость подачи сырья  $\omega=1,0$  ч<sup>-1</sup>; объем циркулирующего водорода 1500 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сырья; линейная скорость движения паров сырья и циркулирующего газа  $\omega=0,5$  м/с; на установке шесть реакторов, соединенных последовательно по три.

3.101. Водные растворы веществ А и В перемешиваются в смесителе без их химического взаимодействия и поступают в реактор, где протекает реакция вида:  $A+B=2\cdot C$ . Расход  $G_a=2,0$  кмоль/ч вещества А в 1,5 раз больше расхода  $G_b$  кмоль/ч вещества В, а концентрация  $C_a=2,0$  кмоль/м<sup>3</sup> вещества А в 1,5 раз больше концентрации  $C_b$ , кмоль/м<sup>3</sup> вещества В. Кинетическое уравнение реакции имеет вид:  $-dC_b/dt=K_1\cdot C_b$ , где  $K_1=0,35$  ч<sup>-1</sup> – константа

скорости реакции первого порядка. Определить объемы реактора идеального вытеснения, одно- и четырехсекционного реакторов идеального смешения, м<sup>3</sup> при заданной степени превращения  $y=0,88$ . Определить концентрации исходных веществ А и В перед входом в реактор, концентрацию продукта  $C_c$ , кмоль/м<sup>3</sup> и расход раствора  $G$ , кмоль/ч на выходе из реактора. Схема к расчету приведена на рис.3.1.

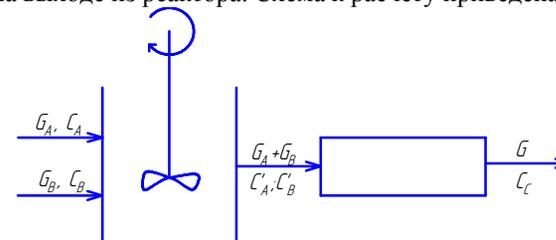


Рис.3.1

3.102. Определить основные размеры сосуда D и H и выбрать тип мешалки аппарата объемом  $V=0,63$  м<sup>3</sup>, в котором перемешивается суспензия с частицами размером  $\delta_t=1,0$  мкм. Вязкость сплошной фазы жидкости  $\mu_{ж}=0,0050$  Па·с, плотность жидкости  $\rho_{ж}=1020$  кг/м<sup>3</sup> и плотность твердой фазы  $\rho_t=2000$  кг/м<sup>3</sup>. Массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_t=0,25$ , давление в аппарате  $P=0,6$  МПа. Среда в аппарате агрессивна и взрывоопасна. Для выбранного типа мешалки принять проектную скорость вращения  $w$ , рассчитать мощность привода N и подобрать мотор-редуктор. Основные размеры сосуда и условия работы мешалок представлены в табл. 9.1 литературного источника [11], там же в табл. 9.4 приведены основные технические данные реакторов-котлов с эллиптическими днищами и крышками. Нарисовать схему реактора с перемешивающим устройством, обозначить на ней все размеры и величины, отметить направления движения потоков и разобраться в условиях работы аппарата.

3.103. Водные растворы веществ А и В перемешиваются в смесителе без их химического взаимодействия и поступают в реактор, где протекает реакция вида:  $A+B=2\cdot C$ . Расход  $G_a=G_b=3,2$  кмоль/ч, а концентрация  $C_a=2,4$  кмоль/м<sup>3</sup> вещества А в 1,2 раза больше концентрации  $C_b$ , кмоль/м<sup>3</sup> вещества В. Кинетическое уравнение реакции имеет вид:-

$dC_B/dt = K_1 \cdot C_B$ , где  $K_1 = 0,28 \text{ ч}^{-1}$  – константа скорости реакции первого порядка. Определить объемы реактора идеального вытеснения, одно- и двухсекционного реакторов идеального смешения,  $\text{м}^3$  при заданной степени превращения  $y = 0,65$ . Определить концентрации исходных веществ А и В перед входом в реактор, концентрацию продукта  $C_c$ ,  $\text{кмоль}/\text{м}^3$  и расход раствора  $G$ ,  $\text{кмоль}/\text{ч}$  на выходе из реактора. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.101.

3.104. В реакторе периодического действия протекает необратимая реакция первого порядка. Продукты реакции в исходном растворе отсутствуют, реакция протекает без изменений плотности реагирующих веществ. Известно, что за время реакции  $\tau_1 = 120 \text{ с}$  в целевой продукт превращается 1/5 часть исходного вещества. Определить степень превращения при  $\tau_2 = 360 \text{ с}$  в непрерывнодействующих реакторах идеального смешения и идеального вытеснения.

3.105. Реакция  $A+B=2C$  проводится в двух реакторах идеального смешения объемами  $V_1 = 0,5 \text{ м}^3$  и  $V_2 = 1,5 \text{ м}^3$ , соединенных последовательно. Начальные концентрации исходных веществ  $C_{Aн} = 0,22 \text{ кмоль}/\text{м}^3$  и  $C_{Bн} = 0,34 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ , их объемные производительности  $L_{VA} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  и  $L_{VB} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ . Константа скорости реакции  $K_A = 4,6 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Определить производительность по продукту. Как изменится производительность по продукту, если 2 реактора идеального смешения заменить одним реактором идеального вытеснения, объем которого равен сумме объемов двух реакторов смешения (остальные параметры те же)? Плотность реакционной смеси не меняется. Схема к расчету приведена на рис.3.2.

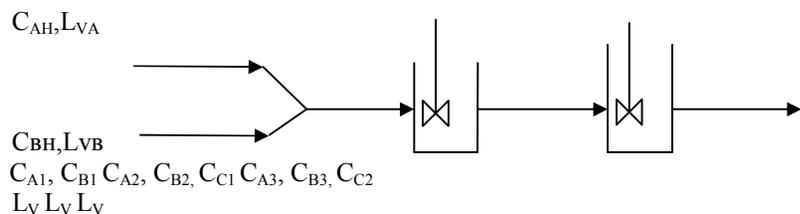


Рис.3.2

3.106. Водные растворы веществ А и В перемешиваются в смесителе без их химического взаимодействия и поступают в реактор, где протекает реакция вида:  $A+B=2C$ . Расход  $G_a = 5,4 \text{ кмоль}/\text{ч}$  вещества А в 1,2 раз больше расхода  $G_B$   $\text{кмоль}/\text{ч}$  вещества В, а концентрация  $C_a = 4,2 \text{ кмоль}/\text{м}^3$  вещества А в 1,2 раз больше концентрации  $C_B$ ,  $\text{кмоль}/\text{м}^3$  вещества В. Кинетическое уравнение реакции имеет вид:  $-dC_B/dt = K_1 \cdot C_B$ , где  $K_1 = 0,32 \text{ ч}^{-1}$  – константа скорости реакции первого порядка. Определить объемы реактора идеального вытеснения, одно - и трехсекционного реакторов идеального смешения,  $\text{м}^3$  при заданной степени превращения  $y = 0,86$ . Определить концентрации исходных веществ А и В перед входом в реактор, концентрацию продукта  $C_c$ ,  $\text{кмоль}/\text{м}^3$  и расход раствора  $G$ ,  $\text{кмоль}/\text{ч}$  на выходе из реактора. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.101.

3.107. В реакторе периодического действия протекает жидкофазная реакция второго порядка вида:  $A+B=C+D$  при постоянном объеме: начальные концентрации исходных веществ связаны соотношением  $C_{Aн}/C_{Bн} = 0,55/0,45$ , степень превращения по веществу В  $y_B = 0,3$  за время реакции  $\tau = 100 \text{ с}$ . Определить степень превращения веществ А и В в реакторах идеального смешения объемом  $V_1$  и вытеснения объемом  $V_2$  при условии, что соотношение концентраций исходных веществ на входе в реактор остается прежним, а подача исходных веществ А и В осуществляется раздельно:  $L_{VA} = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $L_{VB} = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ , объемы реакторов  $V_1 = V_2 = V = 5,0 \text{ м}^3$ . Схема к расчету приведена на рис.3.3

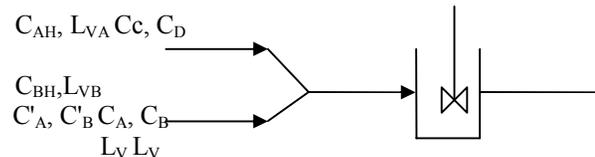


Рис.3.3

3.108. В реакторе периодического действия протекает необратимая реакция первого порядка. Продукты реакции в исходном растворе отсутствуют, реакция протекает без изменений плотности реагирующих веществ. Известно, что за время реакции  $\tau_1 = 90 \text{ с}$  в целевой продукт превращается 1/4 часть исходного вещества. Определить степень пре-

вращения при  $\tau_2=180$  с в непрерывнодействующих реакторах идеального смешения и идеального вытеснения.

3.109. Водные растворы веществ А и В перемешиваются в смесителе без их химического взаимодействия и поступают в реактор, где протекает реакция вида:  $A+B=2\cdot C$ . Расход  $G_a=4,5$  кмоль/ч вещества А в 0,8 раз больше расхода  $G_b$  кмоль/ч вещества В, а концентрация  $C_a=3,5$  кмоль/м<sup>3</sup> вещества А в 0,8 раз больше концентрации  $C_b$  кмоль/м<sup>3</sup> вещества В. Кинетическое уравнение реакции имеет вид:  $-dC_b/dt=K_1\cdot C_b$ , где  $K_1=0,35$  ч<sup>-1</sup> – константа скорости реакции первого порядка. Определить объемы реактора идеального вытеснения, одно- и трехсекционного реакторов идеального смешения м<sup>3</sup>, при заданной степени превращения  $y=0,82$ . Определить концентрации исходных веществ А и В перед входом в реактор, концентрацию продукта  $C_c$ , кмоль/м<sup>3</sup> и расход раствора  $G$ , кмоль/ч на выходе из реактора. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.101.

3.110. Определить основные размеры сосуда D и H и выбрать тип мешалки аппарата объемом  $V=1,0$  м<sup>3</sup>, в котором перемешивается суспензия с частицами размером  $\delta_r=1,2$  мкм. Вязкость сплошной фазы жидкости  $\mu_{ж}=0,0015$  Па·с, плотность жидкости  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup> и плотность твердой фазы  $\rho_r=1500$  кг/м<sup>3</sup>. Массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,30$ , давление в аппарате  $P=2,0$  МПа. Среда в аппарате агрессивна и взрывоопасна. Для выбранного типа мешалки принять проектную скорость вращения  $w$ , рассчитать мощность привода N и подобрать мотор-редуктор. Основные размеры сосуда и условия работы мешалок представлены в табл. 9.1 литературного источника [11], там же в табл. 9.4 приведены основные технические данные реакторов-котлов с эллиптическими днищами и крышками. Нарисовать схему реактора с перемешивающим устройством, обозначить на ней все размеры и величины, отметить направления движения потоков и разобраться в условиях работы аппарата.

3.111. В реакторе периодического действия протекает жидкофазная реакция второго порядка вида:  $A+B=C+D$  при постоянном объеме: начальные концентрации исходных веществ связаны соотношением  $C_{Aн}/C_{Bн}=0,65/0,35$ , степень превращения по веществу В  $y_b=0,3$  за вре-

мя реакции  $\tau=80$  с. Определить степень превращения веществ А и В в реакторах идеального смешения объемом  $V_1$  и вытеснения объемом  $V_2$  при условии, что соотношение концентраций исходных веществ на входе в реактор остается прежним, а подача исходных веществ А и В осуществляется раздельно:  $L_{V_a}=2,8\cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с,  $L_{V_b}=3,7\cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с, объемы реакторов  $V_1=V_2=V=5,2$  м<sup>3</sup>. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.107.

3.112. Реакция  $A+B=2\cdot C$  проводится в двух реакторах идеального смешения объемами  $V_1=0,2$  м<sup>3</sup> и  $V_2=0,6$  м<sup>3</sup>, соединенных последовательно. Начальные концентрации исходных веществ  $C_{Aн}=0,24$  кмоль/м<sup>3</sup> и  $C_{Bн}=0,36$  кмоль/м<sup>3</sup>, их объемные производительности  $L_{V_a}=8\cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с и  $L_{V_b}=4\cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с. Константа скорости реакции  $K_A=4,1\cdot 10^{-2}$  с<sup>-1</sup>. Определить производительность по продукту. Как изменится производительность по продукту, если 2 реактора идеального смешения заменить одним реактором идеального вытеснения, объем которого равен сумме объемов двух реакторов смешения (остальные параметры те же)? Плотность реакционной смеси не меняется. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.105.

3.113. Водные растворы веществ А и В перемешиваются в смесителе без их химического взаимодействия и поступают в реактор, где протекает реакция вида:  $A+B=2\cdot C$ . Расход  $G_a=6,5$  кмоль/ч вещества А в 1,5 раза больше расхода  $G_b$ , кмоль/ч вещества В, а концентрация  $C_a=3,5$  кмоль/м<sup>3</sup> вещества А равна концентрации  $C_b$  кмоль/м<sup>3</sup> вещества В. Кинетическое уравнение реакции имеет вид:  $-dC_b/dt=K_1\cdot C_b$ , где  $K_1=0,25$  ч<sup>-1</sup> – константа скорости реакции первого порядка. Определить объемы реактора идеального вытеснения, одно- и трехсекционного реакторов идеального смешения, м<sup>3</sup> при заданной степени превращения  $y=0,90$ . Определить концентрации исходных веществ А и В перед входом в реактор, концентрацию продукта  $C_c$ , кмоль/м<sup>3</sup> и расход раствора  $G$ , кмоль/ч на выходе из реактора. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.101.

3.114. Определить основные размеры сосуда D и H и выбрать тип мешалки аппарата объемом  $V=1,25$  м<sup>3</sup>, в котором перемешивается суспензия с частицами размером  $\delta_r=1,2$  мкм. Вязкость сплошной фазы

жидкости  $\mu_{ж}=0,0038$  Па·с, плотность жидкости  $\rho_{ж}=1100$  кг/м<sup>3</sup> и плотность твердой фазы  $\rho_{т}=2300$  кг/м<sup>3</sup>. Массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,45$ , давление в аппарате  $P=0,3$  МПа. Среда в аппарате агрессивна и взрывоопасна. Для выбранного типа мешалки принять проектную скорость вращения  $w$ , рассчитать мощность привода  $N$  и подобрать мотор-редуктор. Основные размеры сосуда и условия работы мешалок представлены в табл. 9.1 литературного источника [11], там же в табл. 9.4 приведены основные технические данные реакторов-котлов с эллиптическими днищами и крышками. Нарисовать схему реактора с перемешивающим устройством, обозначить на ней все размеры и величины, отметить направления движения потоков и разобраться в условиях работы аппарата.

3.115. В реакторе периодического действия протекает жидкофазная реакция второго порядка вида:  $A+B=C+D$  при постоянном объеме: начальные концентрации исходных веществ связаны соотношением  $C_{An}/C_{Bn}=0,55/0,45$ , степень превращения по веществу В  $y_b=0,3$  за время реакции  $\tau=80$  с. Определить степень превращения веществ А и В в реакторах идеального смешения и вытеснения при условии, что соотношение концентраций исходных веществ на входе в реактор остается прежним, а подача исходных веществ А и В осуществляется отдельно:  $L_{Va}=1,8 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с,  $L_{Vb}=2,7 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с, объемы реакторов  $V_1=V_2=V=3,2$  м<sup>3</sup>. Схему к расчету реактора смотри в задаче 3.107.

3.116. Водные растворы веществ А и В перемешиваются в смесителе без их химического взаимодействия и поступают в реактор, где протекает реакция вида:  $A+B=2 \cdot C$ . Расход и начальная концентрации вещества А два раза меньше расхода и начальной концентрации вещества В, где  $G_a=1,5$  кмоль/ч,  $C_a=2,5$  кмоль/м<sup>3</sup>. Кинетическое уравнение реакции имеет вид:  $-dC_b/dt=K_1 \cdot C_b$ , где  $K_1=0,35$  ч<sup>-1</sup> – константа скорости реакции первого порядка. Определить объемы реактора идеального вытеснения, одно- и двухсекционного реакторов идеального смешения м<sup>3</sup>, при заданной степени превращения  $y=0,90$ . Определить концентрации исходных веществ А и В перед входом в реактор, концентрацию продукта  $C_c$ , кмоль/м<sup>3</sup> и расход раствора  $G$ , кмоль/ч на выходе из реактора. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.101.

3.117. Реакция  $A+B=2 \cdot C$  проводится в двух реакторах идеального смешения объемами  $V_1=0,7$  м<sup>3</sup> и  $V_2=2,1$  м<sup>3</sup>, соединенных последовательно. Начальные концентрации исходных веществ  $C_{An}=0,24$  кмоль/м<sup>3</sup> и  $C_{Bn}=0,36$  кмоль/м<sup>3</sup>,  $C_{Cn}=0$ ; их объемные производительности  $L_{Va}=7 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с и  $L_{Vb}=3 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с. Константа скорости реакции  $K_A=0,50 \cdot 10^{-2}$  с<sup>-1</sup>. Определить производительность по продукту. Как изменится производительность по продукту, если 2 реактора идеального смешения заменить одним реактором идеального вытеснения, объем которого равен сумме объемов двух реакторов смешения (остальные параметры те же)? Плотность реакционной смеси не меняется. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.105.

3.118. Водные растворы веществ А и В перемешиваются в смесителе без их химического взаимодействия и поступают в реактор, где протекает реакция вида:  $A+B=2 \cdot C$ . Расход  $G_a=G_b=5,0$  кмоль/ч и их концентрации  $C_a=C_b=4,0$  кмоль/м<sup>3</sup>. Кинетическое уравнение реакции имеет вид:  $-dC_b/dt=K_1 \cdot C_b$ , где  $K_1=0,40$  ч<sup>-1</sup> – константа скорости реакции первого порядка. Определить объемы реактора идеального вытеснения, одно- и трехсекционного реакторов идеального смешения, м<sup>3</sup> при заданной степени превращения  $y=0,65$ . Определить концентрации исходных веществ А и В перед входом в реактор, концентрацию продукта  $C_c$ , кмоль/м<sup>3</sup> и расход раствора  $G$ , кмоль/ч на выходе из реактора. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.101.

3.119. В реакторе периодического действия протекает необратимая реакция первого порядка. Продукты реакции в исходном растворе отсутствуют, реакция протекает без изменений плотности реагирующих веществ. Известно, что за время реакции  $\tau_1=120$  с в целевой продукт превращается 0,15 часть исходного вещества. Определить степень превращения при  $\tau_2=360$  с в непрерывнодействующих реакторах идеального смешения и идеального вытеснения.

3.120. Водные растворы веществ А и В перемешиваются в смесителе без их химического взаимодействия и поступают в реактор, где протекает реакция вида:  $A+B=2 \cdot C$ . Расход  $G_a=G_b=3,0$  кмоль/ч и а концентрация  $C_a=3,0$  кмоль/м<sup>3</sup> вещества А в 1,5 раз больше концентрации  $C_b$ , кмоль/м<sup>3</sup> вещества В. Кинетическое уравнение реакции имеет вид:

$dC_B/d\tau = K_1 \cdot C_B$ , где  $K_1 = 0,25 \text{ ч}^{-1}$  – константа скорости реакции первого порядка. Определить объемы реактора идеального вытеснения, одно- и четырехсекционного реакторов идеального смешения,  $\text{м}^3$  при заданной степени превращения  $y = 0,88$ . Определить концентрации исходных веществ А и В перед входом в реактор, концентрацию продукта  $C_c$ ,  $\text{кмоль}/\text{м}^3$  и расход раствора  $G$ ,  $\text{кмоль}/\text{ч}$  на выходе из реактора. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.101.

3.121. В реакторе периодического действия протекает жидкофазная реакция второго порядка вида:  $A+B=C+D$  при постоянном объеме: начальные концентрации исходных веществ связаны соотношением  $C_{Aн}/C_{Bн} = 0,65/0,35$ , степень превращения по веществу В  $y_B = 0,25$  за время реакции  $\tau = 100 \text{ с}$ . Определить степень превращения веществ А и В в реакторах идеального смешения объемом  $V_1$  и вытеснения объемом  $V_2$  при условии, что соотношение концентраций исходных веществ на входе в реактор остается прежним, а подача исходных веществ А и В осуществляется раздельно:  $L_{Vа} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $L_{Vв} = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ , объемы реакторов  $V_1 = V_2 = V = 4,5 \text{ м}^3$ . Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.107.

3.122. В реакторе периодического действия протекает необратимая реакция первого порядка. Продукты реакции в исходном растворе отсутствуют, реакция протекает без изменений плотности реагирующих веществ. Известно, что за время реакции  $\tau_1 = 180 \text{ с}$  в целевой продукт превращается 0,30 часть исходного вещества. Определить степень превращения при  $\tau_2 = 360 \text{ с}$  в непрерывнодействующих реакторах идеального смешения и идеального вытеснения.

3.123. Реакция  $A+B=2\cdot C$  проводится в двух реакторах идеального смешения объемами  $V_1 = 0,6 \text{ м}^3$  и  $V_2 = 1,1 \text{ м}^3$ , соединенных последовательно. Начальные концентрации исходных веществ  $C_{Aн} = 0,34 \text{ кмоль}/\text{м}^3$  и  $C_{Bн} = 0,46 \text{ кмоль}/\text{м}^3$ , их объемные производительности  $L_{Vа} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  и  $L_{Vв} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ . Константа скорости реакции  $K_A = 0,36 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Определить производительность по продукту. Как изменится производительность по продукту, если 2 реактора идеального смешения заменить одним реактором идеального вытеснения, объем которого равен сумме объемов двух реакторов смешения (ос-

тальные параметры те же)? Плотность реакционной смеси не меняется. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.105.

3.124. Определить основные размеры сосуда  $D$  и  $H$  и выбрать тип мешалки аппарата объемом  $V = 2,0 \text{ м}^3$ , в котором перемешивается суспензия с частицами размером  $\delta_r = 0,7 \text{ мкм}$ . Вязкость сплошной фазы жидкости  $\mu_{ж} = 0,0025 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , плотность жидкости  $\rho_{ж} = 1020 \text{ кг}/\text{м}^3$ , плотность твердой фазы  $\rho_r = 2500 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_r = 0,45$ , давление в аппарате  $P = 1,0 \text{ МПа}$ . Среда в аппарате агрессивна и взрывоопасна. Для выбранного типа мешалки принять проектную скорость вращения  $w$ , рассчитать мощность привода  $N$  и подобрать мотор-редуктор. Основные размеры сосуда и условия работы мешалок представлены в табл. 9.1 литературного источника [11], там же в табл. 9.4 приведены основные технические данные реакторов-котлов с эллиптическими днищами и крышками. Нарисовать схему реактора с перемешивающим устройством, обозначить на ней все размеры и величины, отметить направления движения потоков и разобраться в условиях работы аппарата.

3.125. Водные растворы веществ А и В перемешиваются в смесителе без их химического взаимодействия и поступают в реактор, где протекает реакция вида:  $A+B=2\cdot C$ . Расход  $G_a = 5,0 \text{ кмоль}/\text{ч}$  вещества А в 2 раза больше расхода  $G_b$ ,  $\text{кмоль}/\text{ч}$  вещества В, а концентрация  $C_a = 4,0 \text{ кмоль}/\text{м}^3$  вещества А в 1,5 раза больше концентрации  $C_b$ ,  $\text{кмоль}/\text{м}^3$  вещества В. Кинетическое уравнение реакции имеет вид:  $-dC_B/d\tau = K_1 \cdot C_B$ , где  $K_1 = 0,45 \text{ ч}^{-1}$  – константа скорости реакции первого порядка. Определить объемы реактора идеального вытеснения, одно- и двухсекционного реакторов идеального смешения,  $\text{м}^3$  при заданной степени превращения  $y = 0,88$ . Определить концентрации исходных веществ А и В перед входом в реактор, концентрацию продукта  $C_c$ ,  $\text{кмоль}/\text{м}^3$  и расход раствора  $G$ ,  $\text{кмоль}/\text{ч}$  на выходе из реактора. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.101.

3.126. В реакторе периодического действия протекает необратимая реакция первого порядка. Продукты реакции в исходном растворе отсутствуют, реакция протекает без изменений плотности реагирующих веществ. Известно, что за время реакции  $\tau_1 = 60 \text{ с}$  в целевой продукт

превращается 2/3 часть исходного вещества. Определить степень превращения при  $\tau_2=240$  с в непрерывнодействующих реакторах идеального смешения и идеального вытеснения.

3.127. Определить основные размеры сосуда D и H и выбрать тип мешалки аппарата объемом  $V=1,6 \text{ м}^3$ , в котором перемешивается суспензия с частицами размером  $\delta_r=1,2 \text{ мкм}$ . Вязкость сплошной фазы жидкости  $\mu_{ж}=0,0015 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , плотность жидкости  $\rho_{ж}=1000 \text{ кг/м}^3$  и плотность твердой фазы  $\rho_r=1500 \text{ кг/м}^3$ . Массовая доля твердой фазы  $\bar{X}_T=0,35$ , давление в аппарате  $P=3,2 \text{ МПа}$ . Среда в аппарате взрыво- и пожароопасна. Для выбранного типа мешалки принять проектную скорость вращения  $\omega$ , рассчитать мощность привода N и подобрать мотор-редуктор. Основные размеры сосуда и условия работы мешалок представлены в табл. 9.1 литературного источника [11], там же в табл. 9.4 приведены основные технические данные реакторов-котлов с эллиптическими днищами и крышками. Нарисовать схему реактора с перемешивающим устройством, обозначить на ней все размеры и величины, отметить направления движения потоков и разобраться в условиях работы аппарата.

3.128. Реакция  $A+B=2\cdot C$  проводится в двух реакторах идеального смешения объемами  $V_1=0,6 \text{ м}^3$  и  $V_2=1,8 \text{ м}^3$ , соединенных последовательно. Начальные концентрации исходных веществ  $C_{Aн}=0,26 \text{ кмоль/м}^3$  и  $C_{Bн}=0,38 \text{ кмоль/м}^3$ , их объемные производительности  $L_{Vа}=8\cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  и  $L_{Vв}=3\cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ . Константа скорости реакции  $K_A=0,33\cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Определить производительность по продукту. Как изменится производительность по продукту, если 2 реактора идеального смешения заменить одним реактором идеального вытеснения, объем которого равен сумме объемов двух реакторов смешения (остальные параметры те же)? Плотность реакционной смеси не меняется. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.105.

3.129. В реакторе периодического действия протекает жидкофазная реакция второго порядка вида:  $A+B=C+D$  при постоянном объеме: начальные концентрации исходных веществ связаны соотношением  $C_{Aн}/C_{Bн}=0,60/0,40$ , степень превращения по веществу B  $u_b=0,25$  за время реакции  $\tau=90 \text{ с}$ . Определить степень превращения веществ A и

В реакторах идеального смешения объемом  $V_1$  и вытеснения объемом  $V_2$  при условии, что соотношение концентраций исходных веществ на входе в реактор остается прежним, а подача исходных веществ A и B осуществляется раздельно:  $L_{Vа}=2\cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $L_{Vв}=3\cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ , объемы реакторов  $V_1=V_2=V=4,8 \text{ м}^3$ . Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.107.

3.130. Водные растворы веществ A и B перемешиваются в смесителе без их химического взаимодействия и поступают в аппарат, где протекает реакция вида:  $A+B=2\cdot C$ . Расходы веществ A и B  $G_a = G_b = 2,8 \text{ кмоль/ч}$  и их концентрации  $C_a=C_b=1,8 \text{ кмоль/м}^3$ . Кинетическое уравнение реакции имеет вид:  $-dC_b/dt=K_1\cdot C_b$ , где  $K_1=0,40 \text{ ч}^{-1}$  – константа скорости реакции первого порядка. Определить объемы реактора идеального вытеснения, одно- и трехсекционного реакторов идеального смешения,  $\text{м}^3$  при заданной степени превращения  $u=0,65$ . Определить концентрации исходных веществ A и B перед входом в реактор, концентрацию продукта  $C_c$ ,  $\text{кмоль/м}^3$  и расход раствора G,  $\text{кмоль/ч}$  на выходе из реактора. Схема к расчету реактора приведена в задаче 3.101.

3.131. Определить продолжительность контакта и размеры реактора установки пиролиза с кипящим слоем коксового теплоносителя, если известно: сырье — гудрон с относительной плотностью  $d_4^{20}=0,9960$ ; производительность установки  $G_c=55000 \text{ кг/ч}$  по сырью; условия процесса: температура  $780 \text{ }^\circ\text{C}$ , давление  $0,18 \text{ МПа}$ , объемная скорость подачи сырья  $1,66\cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  и продолжительность контакта  $9,6 \text{ с}$ ; выход продуктов (в % масс.): газа  $37,2$ , жидких углеводородов  $35,5$ , кокса и потери  $27,3$ ; молекулярная масса газа и жидких углеводородов соответственно  $21,5 \text{ кг/кмоль}$  и  $200 \text{ кг/кмоль}$ ; в реактор подается водяной пар  $45\%$  масс. на сырье; отношение высоты реактора к его диаметру  $0,6 : 1$ .

3.132. На установке каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора перерабатывают  $33400 \text{ кг/ч}$  солярового дистиллята. Определить размеры регенератора и продолжительность пребывания в нем частиц катализатора, если известно: выход кокса на сырье  $X_k=4,7\%$  масс; насыпная плотность катализатора  $\rho_{нас}=700 \text{ кг/м}^3$ ; линейная скорость движения частиц катализатора в регенераторе

$u=0,0035$  м/с; допустимое отложение кокса на отработанном катализаторе  $X'_k=2,0\%$  масс.; интенсивность выжигания кокса  $15$  кг/м<sup>3</sup> слоя в  $1$  ч; сечение регенератора круглое.

3.133. На установке каталитического крекинга типа Ортофлоу В циркулирует  $890000$  кг/ч катализатора. Определить размеры отпарной секции реактора, если известно: расход водяного пара составляет  $0,6\%$  масс. на циркулирующий катализатор; продолжительность пребывания катализатора в отпарной секции  $\tau=1$  мин; скорость движения водяных паров  $u=0,3$  м/с; плотность кипящего слоя катализатора  $\rho_{к.с.}=380$  кг/м<sup>3</sup>; температура и давление в секции  $480$  °С и  $0,25$  МПа.

3.134. На установке каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора перерабатывают  $500$  т/сут газойля. Определить размеры регенератора и продолжительность пребывания в нем частиц катализатора, если известно: насыпная плотность катализатора  $\rho_{нас}=720$  кг/м<sup>3</sup>; линейная скорость движения частиц катализатора в регенераторе  $u=0,004$  м/с; интенсивность выжигания кокса  $K=15$  кг/м<sup>3</sup> слоя в  $1$  ч; допустимое отложение кокса на отработанном катализаторе  $X'_k=2\%$ ; выход кокса  $X_k=5,9\%$  масс. на сырье.

3.135. Определить диаметр и высоту регенератора установки каталитического крекинга с кипящим слоем катализатора, если известно: объем дымовых газов  $V_{д.г.}=27,8$  м<sup>3</sup>/с; скорость движения дымовых газов над кипящим слоем катализатора  $u=0,73$  м/с; масса циркулирующего катализатора  $G_{к.ц.}=585000$  кг/ч; продолжительность пребывания катализатора в регенераторе  $\tau=10$  мин; плотность кипящего слоя  $\rho_{к.с.}=450$  кг/м<sup>3</sup>; высота отстойной зоны принимается равной  $h_{о.з.}=5,3$  м.

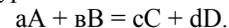
3.136. На установке платформинга производительностью  $50000$  кг/ч по сырью перерабатывают фракцию с температурами  $85-180$ °С ( $d_4^{20}=0,757$ ;  $t_{ср.кип}=136$ °С). Определить температуру продуктов реакции на выходе из первого реактора, если известно: температура сырья и циркулирующего газа на входе в реактор  $510$  °С; давление в реакторе  $3,33$  МПа; выход (в % масс.)  $H_2=1,3$ , сухого газа  $8,7$ , бутановой фракции ( $T_{кр}=425$  °С;  $P_{кр}=3,6$  МПа;  $M=58$  кг/кмоль)  $5,4$ , дебутанизиро-

ванного бензина ( $d_4^{20}=0,783$ ;  $t_{ср.кип}=126$  °С)  $84,6$ ; состав газов (в % масс.): сухого —  $8,1$   $C_1$ ,  $32,3$   $C_2$ ,  $59,6$   $C_3$ ; циркулирующего —  $25,4$   $H_2$ ,  $9$   $C_1$ ,  $24,2$   $C_2$ ,  $23$   $C_3$ ,  $10,4$   $C_4$ ,  $8$   $C_5$ ; кратность циркулирующего газа  $1200$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сырья; глубина превращения сырья в первом реакторе  $X=55\%$ ; теплота реакции  $q_p=503$  кДж/кг превращенного сырья.

3.137. Определить температуру выхода продуктов изомеризации н-пентана из реактора, если известно: катализатор — палладий на цеолите; производительность установки по сырью  $G_c=1000$  т/сут; состав изомеризата (в % масс.):  $1,2$   $C_1$ —  $C_3$ ,  $1,0$   $C_4$ ,  $76,8$  изо-  $C_5$ ,  $21,0$  н-  $C_5$ ; сырье поступает в реактор с температурой  $330$  °С; давление в реакторе  $3,13$  МПа; кратность циркуляции водорода к сырью  $3$  моль/моль; процесс протекает с выделением тепла ( $q_p=92$  кДж/кг изопентана).

3.138. Рассчитать и подобрать нормализованный реактор-котел периодического действия для переработки  $85$  кг/ч реакционной массы. Начальная концентрация реагирующего вещества  $C_n=0,17$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,7$ ; константа скорости реакции, протекающей по первому порядку  $K_{p1}=5,5 \cdot 10^{-5}$  с<sup>-1</sup>; температура реакции  $120$  °С; давление в реакторе  $0,25$  МПа;  $\rho_{ж}=1050$  кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_{жс}=0,015$  Па·с;  $c_{ж}=1900$  Дж/(кг·К);  $\lambda_{жс}=0,18$  Вт/(м·К).

3.139. Рассчитать время реакции, диаметр трубы реактора и скорость движения в ней реакционной среды, приняв, что режим движения среды в реакторе - турбулентный. Определить количество секций реактора и рассчитать его гидравлическое сопротивление. Объемный расход реакционной среды  $V=16$  м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация компонента А  $C_{An}=16$  кмоль/м<sup>3</sup>; начальная концентрация компонента В  $C_{Bn}=1,8$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,85$ ; константа скорости реакции  $K_{p2}=0,05$  м<sup>3</sup>/(кмоль·с); плотность реакционной среды  $\rho=980$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость реакционной среды  $6,0 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Реакция происходит по стехиометрическому уравнению типа:



3.140. Рассчитать и подобрать нормализованный реактор-котел периодического действия по исходным данным: производительность по реакционной массе  $G=200$  кг/ч; начальная концентрация реагирующего вещества  $C_{н}=0,25$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,7$ ; константа скорости реакции второго порядка  $K_{p2}=5 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/(кмоль·с); температура реакции  $t_p=125^\circ\text{C}$ ; давление в реакторе  $P=0,4$  МПа; плотность  $\rho_{ж}=1250$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость  $\mu_{жс}=0,02$  Па·с; теплоемкость  $c_{ж}=1800$  Дж/(кг·К); теплопроводность  $\lambda_{жс}=0,185$  Вт/(м·К).

3.141. Рассчитать скорость химической реакции и объем реактор-котла непрерывного действия. Уравнение химической реакции:  $\text{FeO} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ; производительность по продукту С ( $\text{FeSO}_4$ )  $G = 8$  т/сут; концентрация исходных веществ А ( $\text{FeO}$ ) и В ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) в водных растворах или суспензиях  $x_a=0,25^*$ ,  $x_b=0,75$ ; коэффициент пропорциональности в уравнении Аррениуса  $k_o=98 \cdot 10^{10}$ ; степень превращения  $y=0,82$ ; энергия активации химической реакции  $E = 120 \cdot 10^6$  Дж/кмоль; плотность чистых веществ  $\rho_A=5180$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_B=1830$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_C=1900$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_D=1000$  кг/м<sup>3</sup>. *Примечание:* 1. Константы  $k_o$  и  $E$  взяты произвольно. 2.\* Реагент находится в водной суспензии.

3.142. Рассчитать мощность привода реактор-котла с рамной мешалкой по исходным данным: внутренний диаметр аппарата  $D=1,0$  м; высота мешалки  $H_1=0,7$  м; диаметр мешалки  $d_M=0,9$  м; плотность реакционной массы  $\rho=1200$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость реакционной массы  $\mu=15 \cdot 10^{-3}$  Па·с; частота вращения мешалки  $n=50$  мин<sup>-1</sup>.

3.143. Рассчитать мощность привода реактор-котла со шнековой мешалкой по исходным данным: внутренний диаметр аппарата  $D=2,8$  м; высота мешалки  $H_1=3,2$  м; диаметр мешалки  $d_M=2,6$  м; плотность реакционной массы  $\rho=950$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость реакционной массы  $\mu=20 \cdot 10^{-3}$  Па·с; частота вращения мешалки  $n=50$  мин<sup>-1</sup>.

3.144. Определить продолжительность контакта и размеры реактор-установки пиролиза с кипящим слоем коксового теплоносителя, если

известно: сырье — гудрон с относительной плотностью  $d_4^{20} = 0,9960$ ; производительность установки  $G_c = 40000$  кг/ч по сырью; условия процесса: температура  $780^\circ\text{C}$ , давление  $0,24$  МПа, объемная скорость подачи сырья  $6,0$  ч<sup>-1</sup> и продолжительность контакта  $9,6$  с; выход продуктов (в % масс.): газа  $37,2$ , жидких углеводородов  $35,5$ , кокса и потери  $27,3$ ; молекулярная масса газа и жидких углеводородов соответственно  $21,5$  кг/кмоль и  $200$  кг/кмоль; в реактор подается водяной пар  $45\%$  масс. на сырье; отношение высоты реактора к его диаметру  $0,6 : 1$ .

3.145. На установке каталитического крекинга с подвижным слоем катализатора перерабатывают тяжелый газойль —  $25000$  кг/ч. Определить диаметр реактора и высоту слоя катализатора в нем, если известно: относительная плотность сырья  $d_4^{20} = 0,918$ ; объемная скорость подачи сырья в реакторе  $\omega=2,5$  ч<sup>-1</sup>; насыпная плотность катализатора  $\rho_{нас}=740$  кг/м<sup>3</sup>; линейная скорость движения частиц катализатора в реакторе  $w=0,0024$  м/с; выход кокса на сырье  $X_k=3,4\%$  масс.; допустимое отложение кокса на отработанном катализаторе  $X'_k=1,6\%$ ; остаточное содержание кокса на регенерированном катализаторе составляет  $0,3\%$ .

3.146. Рассчитать время реакции, диаметр трубы и гидравлическое сопротивление трубчатого реактора. Исходные данные: объемный расход реакционной смеси  $V=12$  м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация исходного вещества А  $C_{An}=1,5$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,70$ ; порядок реакции  $n=1$ ; константа скорости реакции  $k_p=4,8 \cdot 10^{-4}$  с<sup>-1</sup>; плотность реакционной среды  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup>; динамическая вязкость реакционной среды  $\mu=7,62 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

3.147. Рассчитать время реакции, диаметр трубы и гидравлическое сопротивление трубчатого реактора. Исходные данные: объемный расход реакционной смеси  $V=36$  м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация исходного вещества А  $C_{An}=0,18$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y=0,82$ ; порядок реакции  $n=0$ ; константа скорости реакции  $k_p=1,0 \cdot 10^{-4}$  кмоль/(м<sup>3</sup>·с) плотность реакционной среды  $\rho=930$  кг/м<sup>3</sup>; динамическая вязкость реакционной среды  $\mu=12,4 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

3.148. Рассчитать камеру радиации пиролиза для этановой фракции. Производительность по сырью  $G=10000$  кг/ч; количество добавляемого водяного пара  $Z=1000$  кг/ч; температура сырья на входе в печь равна  $35$  °С; состав сырья для пиролиза и состав продуктов пиролиза даны см. Таблица 6, Таблица 7; сжигается газовое топливо следующего состава:  $\text{CH}_4$ - 59% и  $\text{H}_2$ - 41% (об.).

3.149. Рассчитать количество реакторов в каскаде, их номинальный объем и тепловые потоки от реакции в каждом аппарате при следующих исходных данных. Реакция протекает по схеме  $A + B \rightarrow C$ . На реакцию подается раствор вещества  $A$  в количестве  $V_A = 2,7$  м<sup>3</sup>/ч с концентрацией  $C_A = 5$  кмоль/м<sup>3</sup> и раствор вещества  $B$  в количестве  $V_B = 2,0$  м<sup>3</sup>/ч с концентрацией  $C_B = 7$  кмоль/м<sup>3</sup>. Степень превращения вещества  $A$   $y=0,88$ . Температура реакции  $t_p = 87$  °С. Константа скорости реакции описывается уравнением:

$$K_p = 6,4 \cdot 10^{-13} \exp\left[-1,2 \cdot 10^8 / (RT_p)\right].$$

Тепловой эффект реакции  $q = 8,0$  МДж/кмоль.

3.150. Рассчитать реактор-котел периодического действия для переработки 15000 кг в сутки реакционной смеси при следующих исходных данных. Начальная концентрация реагирующего вещества  $C_{\text{An}}=0,20$  кмоль/м<sup>3</sup>; степень превращения  $y_A=0,6$ ; константа скорости реакции, протекающей по первому порядку,  $K_{p1}=5,5 \cdot 10^{-5}$  с<sup>-1</sup>; температура реакции  $t_p = 105$  °С;  $q_p=4,2$  МДж/кмоль; реакционная смесь имеет следующие физические свойства:  $\rho_{\text{ж}}=950$  кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_{\text{ж}} = 0,005$  Па·с;  $c_{\text{ж}} = 2700$  Дж/(кг·К);  $\lambda_{\text{ж}} = 0,18$  Вт/(м·К).

### Вопросы к контрольному заданию №2 по разделу «Аппараты для разделения неоднородных систем»

4.1. Фильтр-прессы рамные. Дать общую характеристику рамных фильтр-прессов типов РОМ, РОР, РЗМ и РЗР с ручным зажимом плит и электромеханическим зажимом с открытым и закрытым отводом фильтрата. Назначение, область применения, площади поверхности фильтрования, принцип работы. Привести схему фильтр-пресса от-

крытого типа с электромеханическим зажимом с условными обозначениями параметров. Условные обозначения рамного фильтр-пресса.

4.2. Фильтр-прессы рамные с ручным зажимом плит с открытым и закрытым отводом фильтрата (типоразмер 315x315). Назначение, область применения и принцип работы. Привести схему фильтр-пресса с ручным зажимом и закрытым отводом фильтрата с условными обозначениями параметров. Таблица штуцеров, площадь поверхности фильтрования. Условные обозначения рамного фильтр-пресса, привести пример.

4.3. Фильтр-прессы рамные с электромеханическим зажимом с открытым и закрытым отводом фильтрата (типоразмер 630x630). Назначение, область применения и принцип работы. Привести схему рамного фильтр-пресса заданной конструкции с условными обозначениями параметров. Площади поверхности фильтрования, давление и температура фильтруемой среды, таблица штуцеров. Условные обозначения рамных фильтр-прессов.

4.4. Фильтр-прессы рамные с электромеханическим зажимом с открытым и закрытым отводом фильтрата (типоразмер 820x820). Назначение, область применения, принцип работы. Привести схему рамного фильтр-пресса заданной конструкции с условными обозначениями параметров. Рабочее давление, температура, площадь поверхности фильтрования, таблица штуцеров. Пример условного обозначения рамного фильтр-пресса с закрытым отводом фильтрата.

4.5. Фильтр-прессы рамные с электромеханическим зажимом с открытым и закрытым отводом фильтрата (типоразмер 1000x1000). Назначение, область применения, принцип работы. Привести схему рамного фильтр-пресса заданной конструкции с условными обозначениями параметров. Рабочее давление, температура, площадь поверхности фильтрования, таблица штуцеров. Условные обозначения рамных фильтр-прессов, привести примеры.

4.6. Фильтр-прессы камерные. Дать общую характеристику камерных фильтр-прессов типов КМП, ФКМ, ФКВ 500-1У-02, ФОМ 52-1У-01,

ФОМ 87-1У-01 и ФОМ 600-1М-01. Назначение, область применения, давление, температура, площади поверхности фильтрования, принцип работы. Принципиальная схема работы фильтрующих плит для фильтр-пресса типа КМП, фильтрование, промывка и осушка осадка. Условные обозначения камерных фильтр-прессов, привести примеры.

4.7. Фильтр-прессы камерные с горизонтальными плитами типа КМП. Назначение, область применения, принцип работы. Привести схему камерного фильтр-пресса заданной конструкции с условными обозначениями параметров. Площади поверхности фильтрования, давление и температура фильтруемой среды. Продолжительность основных и вспомогательных операций, наибольшая толщина осадка. Таблица штуцеров и их назначение. Характеристики масло- и водонасосной станций. Условные обозначения камерных фильтров типа КМП, привести примеры.

4.8. Фильтр-прессы камерные автоматизированные с вертикальными плитами типа ФКМ. Назначение, область применения, схема фильтр-пресса и фильтрования, описание конструкции и принципа работы. Дать схему движения потоков камерного фильтр-пресса с закрытым отводом фильтрата, промывкой и просушкой осадка. Площади поверхности фильтрования, давление, температура фильтруемой среды и другие параметры характеристик фильтров типа ФКМ. Таблица штуцеров и их назначение для различных типоразмеров. Условные обозначения фильтров типа ФКМ.

4.9. Фильтр-прессы камерные с горизонтальными плитами с бобиной бумажной ленты типа КБИ. Назначение, область применения, схема фильтр-пресса типа КБИ и схема работы фильтрующих элементов, описание конструкции и принципа работы. Площади поверхности фильтрования, давление и температура фильтруемой среды, наибольшая толщина осадка и другие параметры технической характеристики фильтров типа КБИ. Таблица штуцеров и их назначение для различных типоразмеров. Условные обозначения фильтров типа КБИ.

4.10. Камерный фильтр-пресс ФКВ 500-1У-02. Назначение, область применения. Привести схему камерного фильтр-пресса указанного типа, дать описание конструкции и принципа работы. Техническая характеристика фильтр-пресса, таблица штуцеров и их назначение. Комплект поставки, условное обозначение фильтр-пресса типа ФКВ.

4.11. Камерный фильтр-пресс ФОМ 52-1У-01. Назначение область применения. Привести схему камерного фильтр-пресса указанного типа, дать описание конструкции и принципа работы. Техническая характеристика фильтр-пресса, таблица штуцеров и их назначение. Комплект поставки, условное обозначение вышеуказанного фильтр-пресса.

4.12. Камерный фильтр-пресс ФОМ 87-1У-01. Назначение, область применения. Привести схему камерного фильтр-пресса указанного типа, дать описание конструкции и принципа работы. Техническая характеристика фильтр-пресса, таблица штуцеров и их назначение. Комплект поставки, условное обозначение вышеуказанного фильтр-пресса.

4.13. Камерный фильтр-пресс ФОМ 600-1М-01. Назначение, область применения. Привести схему камерного фильтр-пресса указанного типа, дать описание конструкции и принципа работы. Техническая характеристика фильтр-пресса, таблица штуцеров и их назначение. Комплект поставки, условное обозначение вышеуказанного фильтр-пресса.

4.14. Фильтры патронные керамические типа ПКЖ. Назначение, область применения. Схема узла фильтрования с патронным керамическим фильтром. Физико-химические и механические свойства керамических фильтрующих элементов. Привести схему патронного керамического фильтра типа ПКЖ, дать описание конструкции и принципа работы. Техническая характеристика (площадь поверхности фильтрования, давление и температура фильтруемой среды и т.п.), таблица штуцеров и их назначение. Комплект поставки, условное обозначение фильтра.

4.15. Фильтры патронные керамические типа ПКО. Назначение, область применения. Привести схему патронного керамического фильтра типа ПКО, дать описание конструкции и принципа работы. Схема узла фильтрования с патронным керамическим фильтром. Физико-химические и механические свойства керамических фильтрующих элементов. Техническая характеристика (площадь поверхности фильтрования, давление и температура фильтруемой среды, материал и т.д.), таблица штуцеров и их назначение. Комплект поставки, условное обозначение фильтра, привести пример.

4.16. Фильтры вакуумные барабанные ячейковые общего назначения. Схема устройства фильтра, принцип работы. Назначение, область применения, типы фильтров (БОН и БОП). Площадь поверхности фильтрования, размеры барабана, масса фильтра, материальное исполнение ответственных деталей, наименование обрабатываемых продуктов. Условное обозначение, привести пример.

4.17. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения типа БОН1. Назначение, область применения, схема устройства фильтра, принцип его работы. Дать схему вакуумного фильтра БОН 1-1-1К с основными размерами конструктивных параметров. Техническая характеристика, материальное исполнение деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом, характер процесса, наименование обрабатываемых продуктов, таблица штуцеров и назначение.

4.18. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения с ножевым съемом осадка БОН 1-1-1Г. Назначение, область применения. Дать схему фильтра и устройства фильтрования с основными размерами конструктивных параметров. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение, материальное исполнение деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом, характер процесса.

4.19. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения с ножевым съемом осадка БОН 5-1,8-1У. Назначение, область применения. Дать схему фильтра и устройства фильтрования с основными

конструктивными параметрами. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение, конструкционное исполнение (марка стали), характер процесса.

4.20. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения с ножевым съемом осадка БОН 5-1,8-1К. Назначение, область применения. Привести схему фильтра и устройства фильтрования с основными обозначениями конструктивных параметров. Характер процесса, конструктивное исполнение (марка стали), техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.21. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения с ножевым съемом осадка БОН 5-1,8-1Г. Назначение, область применения. Дать схему фильтра с основными обозначениями конструктивных параметров, показать устройство фильтрования и принцип работы. Характер процесса, материальное исполнение деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом, техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.22. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения БОН 10-1,8-1У. Назначение, область применения. Привести схему фильтра с основными обозначениями конструктивных параметров. Устройство фильтрования, принцип работы. Материальное исполнение деталей, соприкасающихся с продуктом, характер процесса, техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.23. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения БОН 10-1,8-1К. Назначение, область применения. Дать схему фильтра с основными обозначениями конструктивных параметров. Принцип работы и устройство фильтрования, материальное исполнение деталей фильтра в зависимости от свойств суспензии, техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.24. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения БОН 10-1,8-1Г. Назначение, область применения. Привести схему фильтра с основными обозначениями конструктивных параметров.

Устройство фильтрования, принцип работы. Материальное исполнение деталей, соприкасающихся с продуктом, характер процесса, техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.25. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения БОН 20-2,4-1У. Назначение, область применения. Дать схему фильтра с основными обозначениями конструктивных параметров. Принцип работы и устройство фильтрования. Материальное исполнение деталей, соприкасающихся с продуктом, характер процесса, техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение, габаритные и присоединительные размеры.

4.26. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения БОН 20-2,4-1К. Назначение, область применения. Привести схему фильтра с основными обозначениями конструктивных параметров. Принцип работы и устройство фильтрования. Материальное исполнение деталей, соприкасающихся с продуктом, техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение, габаритные и присоединительные размеры.

4.27. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения БОН 20-2,4-1У. Устройство и работа фильтра и его основных узлов. Назначение, область применения. Привести схему фильтра с основными обозначениями конструктивных параметров. Принцип работы и устройство фильтрования. Материальное исполнение деталей, соприкасающихся с продуктом, техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.28. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения БОН 30-2,4-1У. Назначение, область применения. Устройство и работа фильтра и его основных узлов: барабана, привода и т.п. Привести схему фильтра с основными обозначениями конструктивных параметров. Конструктивное исполнение деталей, соприкасающихся с продуктом, техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.29. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения БОН 30. Назначение, область применения. Устройство и работа фильтра и его основных узлов: распределительной головки, устройства промывки и съема осадка. Привести схему фильтра БОН 30-2,4-1К с основными обозначениями конструктивных параметров. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.30. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения БОН 30-2,4-1Г. Назначение, область применения. Устройство и работа фильтра и его основных узлов: барабана, привода, распределительной головки и т.п. Привести схему фильтра с основными обозначениями конструктивных параметров. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.31. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения БОН 40. Назначение, область применения. Привести схему фильтра БОН 40-3-1У с основными обозначениями конструктивных параметров. Устройство и работа фильтра и его основных узлов: барабана, привода, распределительной головки, устройств промывки и съема осадка. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.32. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения БОН 80. Назначение, область применения. Привести схему фильтра БОН 80-3,75-5У с геометрическими размерами конструктивных параметров. Устройство и работа фильтра и его основных узлов: барабана, привода, распределительной головки и т.п. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.33. Фильтры вакуумные барабанные ячейковые общего назначения со сходящимся полотном типов БОП 5 и БОП 10. Назначение, область применения, условные обозначения. Схема устройства фильтра и его основных узлов: барабана, привода, распределительной головки, устройств промывки и съема осадка. Площадь поверхности фильтрования, размеры барабана, рабочее давление, габаритные размеры и масса.

4.34. Фильтр вакуумный барабанный со сходящимся полотном типа БОП 5. Назначение и область применения. Устройство и работа фильтра и его основных узлов. Привести схему фильтра БОП 5-1,8-1У с основными конструктивными параметрами. Конструкционные материалы деталей фильтра. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение, план опорной поверхности фильтра.

4.35. Фильтр вакуумный барабанный со сходящимся полотном типа БОП 5-1,8-1К. Назначение и область применения. Устройство и работа фильтра и его основных узлов. Привести схему фильтра с основными обозначениями конструктивных параметров. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.36. Фильтр вакуумный барабанный со сходящимся полотном типа БОП 5. Назначение и область применения. Привести схему фильтра БОП 5-1,8-1Г. Устройство и работа фильтра и его основных узлов: барабана, распределительной головки, привода, устройств промывки и съема осадка. Конструктивные материалы деталей фильтра. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.37. Фильтры вакуумные барабанные со сходящимся полотном типа БОП 10. Назначение, область применения, наименования обрабатываемых продуктов, материальное исполнение деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Привести схему фильтра БОП 10-1,8-1У. Устройство и работа фильтра и его узлов. Техническая характеристика, таблица штуцеров, их назначение.

4.38. Фильтр вакуумный барабанный со сходящимся полотном типа БОП 10-1,8-1К. Привести схему фильтра, устройство и работу фильтра и его узлов: барабана, распределительной головки, привода, устройств промывки и съема осадка. Таблица штуцеров, их назначение. Техническая характеристика: площадь поверхности фильтрования, размеры барабана, углы зон, рабочее давление и т.п.

4.39. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый общего назначения со сходящимся полотном типа БОП 10. Привести схему фильтра БОП 10-1,8-1Г, устройство и его работу. Эскизы барабана, распределительной головки, устройств промывки и съема осадка. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение, план опорных поверхностей фильтра типа БОП 10.

4.40. Фильтры вакуумные барабанные ячейковые общего назначения со сходящимся полотном типов БОП 20 и БОП 30. Условные обозначения. Характеристика обрабатываемых продуктов. Назначение фильтров и область их применения. Привести схему фильтра БОП 20-2,4-1У, его устройство и работу. Дать эскизы узлов: барабана и распределительной головки. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.41. Фильтр БОП 20-2,4-1К. Характеристика обрабатываемых продуктов. Назначение и область применения фильтра. Привести схему фильтра и его узлов: барабана, распределительной головки, привода, устройств промывки и съема осадка. Преимущества фильтров БОП по сравнению с фильтрами БОН. Техническая характеристика анализируемого фильтра, таблица штуцеров и их назначение.

4.42. Фильтр вакуумный барабанный со сходящимся полотном БОП 20-2,4-1Г. Наименование обрабатываемых продуктов. Назначение, область применения. Привести схему фильтра с основными условными обозначениями конструктивных параметров. Основные узлы фильтра: барабан, распределительная головка, устройство для снятия осадка и т.д. Техническая характеристика, таблица штуцеров, их назначение. Дать соответствующие эскизы и схемы.

4.43. Фильтр БОП 30-2,4-1У. Характеристика обрабатываемых продуктов. Назначение и область применения фильтра. Привести схему фильтра с условными обозначениями конструктивных параметров. Схема узлов: барабана, привода, распределительной головки, устройств промывки и съема осадка. Преимущества и недостатки филь-

ров со сходящим полотном. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров и их назначение.

4.44. Фильтр вакуумный барабанный ячеиковый общего назначения со сходящимся полотном типа БОП 30. Область применения и назначение. Привести схему фильтра БОП 30-2,4-1К с условными обозначениями конструктивных параметров, его устройство и работа. Дать эскизы узлов: барабана, распределительной головки, устройств промывки и съема осадка. Таблица штуцеров и их назначение, техническая характеристика.

4.45. Фильтр БОП 30-2,4-1Г. Назначение, область применения, характеристика обрабатываемых продуктов. Привести схему фильтра с условными обозначениями конструктивных параметров, техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение. Описать устройство и работу фильтра и его основных узлов: распределительной головки, устройств промывки и съема осадка, привода и барабана. Достоинства и недостатки фильтра.

4.46. Фильтр вакуумный барабанный общего назначения со сходящимся полотном типа БОП 40. Привести схему фильтра БОП 40-3-1У, устройство и его работа. Характеристика разделяемой суспензии, назначение и область применения фильтра. Дать условные обозначения конструктивных параметров фильтра, техническую характеристику и таблицу штуцеров.

4.47. Фильтр БОП 40-3-1К. Характеристика разделяемой суспензии. Область применения фильтра и его назначение. Привести схему фильтра и его узлов с основными геометрическими размерами конструктивных параметров. Конструкционные материалы деталей и узлов фильтра. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров и их назначение. Достоинства и недостатки фильтра.

4.48. Фильтр вакуумный барабанный ячеиковый общего назначения со сходящимся полотном БОП 40-3-5У. Характеристика разделяемой суспензии, назначение и область применения. Привести схему филь-

ра и его узлов: барабана, привода, устройств промывки и съема осадка, распределительной головки. Конструкционные материалы деталей и узлов. Техническая характеристика, таблица и назначение штуцеров. На схеме фильтра указать геометрические размеры конструктивных параметров.

4.49. Фильтр вакуумный барабанный общего назначения со сходящимся полотном типа БОП 80. Привести схему фильтра БОП 80-3,75-5У, принцип работы и устройство основных узлов: барабана, привода, распределительной головки, устройств промывки и съема осадка. Техническая характеристика, основные геометрические размеры конструктивных параметров, таблица штуцеров и их назначение. Характеристика разделяемой суспензии, назначение и область применения фильтра.

4.50. Фильтр БОП 80-3,75-5К. Назначение, область применения фильтра и характеристика разделяемой суспензии. Привести схему фильтра с основными геометрическими размерами конструктивных параметров. Основные узлы фильтра: барабан, привод, устройства промывки (регенерации) и съема осадка. Дать схему, или эскизы узлов. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.51. Фильтры вакуумные барабанные ячеиковые с намывным слоем типа БНМ. Условные обозначения фильтра. Назначение и область применения. Характер процесса, наименование обрабатываемых продуктов. Типоразмеры фильтров, площадь поверхности фильтрования, размеры барабана и длина, исполнение по материалу деталей соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Привести схему фильтра БНМ 5-1,8-1К с условными обозначениями конструктивных параметров. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.52. Фильтр вакуумный барабанный ячеиковый с намывным слоем БНМ 5-1,8-1Т. Назначение и область применения фильтра, наименование обрабатываемых продуктов. Привести схему фильтра с основными условными обозначениями конструктивных параметров. Основ-

ные узлы фильтра, их назначение, привести схемы или эскизы. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров и их назначение.

4.53. Фильтр БНМ 5-1,8-1Т, его название. Назначение и область применения фильтра, наименование обрабатываемых продуктов. Привести схему фильтра, принцип работы и устройство основных узлов: привода, барабана, распределительной головки, устройств промывки и съема осадка. Техническая характеристика, основные обозначения конструктивных параметров, таблица штуцеров и их назначение.

4.54. Фильтры типа БНМ 10, их условные обозначения. Область применения и назначение фильтра, характеристика разделяемой суспензии. Привести схему фильтра БНМ 10-1,8-1К с условными обозначениями конструктивных параметров. Устройство и принцип работы основных узлов фильтра. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.55. Фильтр вакуумный барабанный ячеиковый с намывным слоем БНМ 10-1,8-1Т. Назначение и область применения фильтра. Наименование обрабатываемых продуктов, исполнение по материалу деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Привести схему фильтра с условными обозначениями конструктивных параметров. Эскизы, устройства и принцип работы основных узлов фильтра. Техническая характеристика, штуцера: их назначение и таблица.

4.56. Фильтр БНМ 20-2,4-1У. Назначение, область применения фильтра и характеристика разделяемой суспензии. Привести схемы фильтра и основных узлов: барабана, приводов, распределительной головки, устройства регенерации и т.п. Показать условные обозначения конструктивных параметров. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров и их назначение. Габаритные и присоединительные размеры.

4.57. Фильтр вакуумный барабанный ячеиковый с намывным слоем типа БНМ 20. Назначение, область применения фильтра, наименование обрабатываемых продуктов. Привести схему БНМ 20-2,4-1К с ус-

ловными обозначениями конструктивных параметров. Исполнение по материалу деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Схемы основных узлов фильтра: барабана, распределительной головки, приводов, устройств промывки и съема осадка. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров, их назначение.

4.58. Фильтр БНМ 30-2,4-1У. Назначение, область применения фильтра, характеристика разделяемой суспензии. Схема фильтра, схема основных узлов фильтра с условными обозначениями конструктивных параметров. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров и их назначение. Габаритные и присоединительные размеры.

4.59. Фильтр вакуумный барабанный ячеиковый с намывным слоем типа БНМ 30. Назначение, область применения фильтра, характер процесса, наименование обрабатываемых продуктов. Привести схему фильтра БНМ 30-2,4-1К с условными обозначениями конструктивных параметров. Дать описание основных узлов фильтра: барабана, приводов, устройств промывки и съема осадка и распределительной головки. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров и их назначение.

4.60. Фильтр вакуумный барабанный ячеиковый с намывным слоем типа БНМ 40. Условные обозначения, назначение и область применения фильтра, характеристика разделяемой суспензии. Привести схему фильтра БНМ 40-3-1У с условными обозначениями конструктивных параметров. Конструктивное исполнение материалов деталей фильтра. Схема основных узлов. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.61. Фильтр БНМ 40-3-1К. Область применения и назначение фильтра, исполнение по материалу деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Привести схемы фильтра и основных узлов: барабана, распределительной головки, приводов с условными обозначениями конструктивных параметров. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.62. Фильтры вакуумные барабанные герметизированные ячеювые для горючих и легколетучих суспензий. Дать общую характеристику фильтров типоразмеров БГН 5, БГН 10, БГН 50 и БГН 80. Назначение, область применения, условные обозначения фильтров. Температура, давление, площади поверхности фильтрования, размеры барабана. Принципиальная схема работы фильтра типа БГН. Герметизация фильтра и условия его обеспечения.

4.63. Фильтры вакуумные барабанные типа БГН. Назначение, область применения, характер процесса, наименование обрабатываемых продуктов. Привести схему фильтра БГН 5-1,8-3К с условными обозначениями конструктивных параметров. Основные узлы фильтра: барабан, приводы, распределительная головка, устройства промывки и съема осадка (дать схемы или эскизы). Техническая характеристика фильтра, назначение штуцеров, условное давление и диаметр условного прохода.

4.64. Фильтр вакуумный барабанный герметизированный ячеювый для горючих и легколетучих суспензий типоразмера БГН 5-1,8-3Т. Конструктивное исполнение материалов деталей фильтра. Назначение, область применения фильтра, характеристика разделяемой суспензии. Привести схему фильтра с основными обозначениями конструктивных параметров. Эскизы основных узлов фильтра: барабана, приводов, распределительной головки, устройств промывки и съема осадка. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров и их назначение.

4.65. Фильтры вакуумные барабанные герметизированные ячеювые для горючих и легколетучих суспензий типа БГН. Назначение, область применения, конструктивное исполнение материалов деталей фильтра. Привести схему фильтра БГН 10-1,8-3Г с условными обозначениями конструктивных параметров, техническую характеристику и таблицу штуцеров. Дать эскизы узлов фильтра: барабана, устройств промывки и съема осадка.

4.66. Фильтр БГН 10-1,8-3Т. Область применения, назначение фильтра, наименование обрабатываемых продуктов, характер процесса, материальное исполнение деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Привести схемы фильтра и основных узлов: барабана, распределительной головки, приводов, устройств промывки и съема осадка. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров их назначение, габаритные и присоединительные размеры.

4.67. Фильтр вакуумный барабанный герметизированный ячеювый типоразмера БГН 10-1,8-3Г. Привести схему фильтра с основными условными обозначениями конструктивных параметров. Принцип работы фильтра и его основных узлов. Назначение и область применения фильтра, характеристика разделяемой суспензии. Герметизация фильтра и условия его обеспечения. Таблица штуцеров и их назначение. Техническая характеристика фильтра.

4.68. Фильтры вакуумные барабанные герметизированные ячеювые типа БГН, их условные обозначения. Характеристика разделяемой суспензии. Назначение и область применения фильтров, их типоразмеры. Характер процесса, материальное исполнение деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Привести схему фильтра БГН 10-1,8-3К с условными обозначениями конструктивных параметров. Основные узлы фильтра, их назначение (дать эскизы или схемы). Техническая характеристика, таблица штуцеров и назначение.

4.69. Фильтры вакуумные барабанные герметизированные ячеювые для горючих и легколетучих суспензий типов БГН 50 и БГН 80. Назначение и область применения фильтра, температура обрабатываемого продукта, давление инертного циркулирующего газа. Привести схему фильтра БГН 50-3-3У с геометрическими размерами конструктивных параметров, техническую характеристику и таблицу штуцеров. Показать конструкцию узла удаления осадка из корпуса.

4.70. Фильтр БГН 50-3-3Л. Назначение, область применения фильтра, материальное исполнение деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Привести схемы фильтра и его узлов: барабана, при-

водов, распределительной головки, устройств промывки и съема (выгрузки) осадка. Указать на схеме основные геометрические размеры конструктивных параметров. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.71. Фильтр вакуумный барабанный герметизированный ячейковый для горючих и легколетучих суспензий типоразмера БГН 80-3-3Л. Назначение, область применения фильтра, характеристика разделяемой суспензии. Привести схему фильтра с основными геометрическими размерами конструктивных параметров. Основные узлы фильтра (назначение, принцип работы, дать эскизы или схемы). Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.72. Фильтр вакуумный барабанный ячейковый для легкофильтрующихся суспензий БЛН 40-3-1К. Назначение, область применения фильтра. Условное обозначение, техническая характеристика. Привести схему фильтра с основными геометрическими размерами конструктивных параметров, таблицу штуцеров и их назначение, материал деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом.

4.73. Фильтр вакуумный безячейковый с намывным слоем ББМ 10-1,8-5К. Назначение, область применения фильтра. Основное отличие фильтров типа ББМ от фильтров БГН, БОП, БНМ и БОН. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров. Привести схему фильтра с геометрическими размерами конструктивных параметров, материал деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом.

4.74. Фильтры гравитационные барабанные ячейковые с наружной фильтрующей поверхностью типа БКВ. Условные обозначения существующих типоразмеров фильтра. Применение фильтра и его назначение. Принцип работы оборудования. Привести схему фильтра БКВ 20-2,6-1У с основными геометрическими размерами конструктивных параметров. Основные узлы фильтра и их назначение (дать эскизы или схемы). Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров, габаритные и присоединительные размеры.

4.75. Фильтр гравитационный барабанный ячейковый с наружной фильтрующей поверхностью типоразмера БКВ 20-2,6-5К. Назначение, область применения фильтра, материал основных деталей. Привести схемы фильтра и его основных узлов с геометрическими размерами конструктивных параметров. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров. Принцип работы оборудования, основные отличия фильтров типа БКВ от фильтров БОН.

4.76. Фильтр гравитационный барабанный ячейковый БКВ 40-3,4-1У. Назначение, область применения, температура и давление процесса фильтрования. Привести схему фильтра с условными обозначениями или размерами конструктивных параметров. Основные узлы фильтра, их конструкции и работа (дать схемы или эскизы), материальное исполнение деталей, соприкасающихся с продуктом. Техническая характеристика фильтра, таблица его штуцеров.

4.77. Фильтр БКВ 40-3,4-5К. Привести схему фильтра с условными обозначениями или размерами конструктивных параметров. Область применения, назначение и материал деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Основные узлы фильтра: конструкция, принцип работы (дать эскизы или схемы). Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.78. Фильтр гравитационный барабанный ячейковый типа БКВ. Назначение, область применения, характеристика разделяемой суспензии. Температура и давление процесса фильтрования. Показать схему фильтра БКВ 60-3,4-1У и его основных узлов с условными обозначениями конструктивных параметров. Показать отличия процесса фильтрования данного фильтра по сравнению с фильтрами типа БОП. Техническая характеристика и таблица штуцеров.

4.79. Фильтр БКВ 60-3,4-5К. Область применения, назначение, характеристика разделяемой суспензии. Показать схему фильтра и схемы его основных узлов: барабан, приводы, устройства промывки и съема осадка. Указать на схеме основные условные обозначения конструктивных параметров. Материал деталей, соприкасающихся с обрабаты-

ваемым продуктом. Техническая характеристика, таблица штуцеров, габаритные и присоединительные размеры.

4.80. Фильтры вакуумные дисковые. Дать общую характеристику вакуумных дисковых фильтров типов ДОО и ДТО. Назначение, область применения, площадь поверхности фильтрования, диаметр диска, исполнение материалов деталей, соприкасающихся с продуктом, характеристика суспензии. Принципиальная схема устройства фильтра, основные стадии работы фильтра, условные обозначения фильтров, привести примеры.

4.81. Фильтры общего назначения типа ДОО. Назначение, область применения, характеристика разделяемой суспензии, типоразмеры фильтров ДОО 16, ДОО 32, ДОО 50, ДОО 63, ДОО 160 и ДОО 250 и их исполнения. Площадь поверхности фильтрования, диаметр диска, рабочее давление и др. параметры технической характеристики фильтров. Привести схему фильтра ДОО 16-2,5-1У с основными условными (или геометрическими размерами) конструктивных параметров. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров и их назначение.

4.82. Вакуумный дисковый фильтр типоразмера ДОО 16-2,5-1К. Назначение, область применения, характеристика разделяемой суспензии. Привести схему вакуумного дискового фильтра с условными обозначениями (или геометрическими размерами) конструктивных параметров. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров, их назначение, габаритные и присоединительные размеры (показать план опорной поверхности).

4.83. Вакуумные дисковые фильтры типоразмеров ДОО 32. Назначение, область применения, характеристика разделяемой суспензии, исполнение материала деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Привести схему вакуумного дискового фильтра ДОО 32-2,5-1У с условными обозначениями (или геометрическими размерами) конструктивных параметров. Основные узлы фильтра: диск, распре-

делительная головка, привод мешалки (дать схемы или эскизы). Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.84. Вакуумный дисковый фильтр ДОО 32-2,5-1К. Область применения и назначение фильтра, характеристика разделяемой суспензии. Привести схему фильтра с геометрическими размерами (или условными обозначениями) конструктивных параметров, исполнение материала деталей, соприкасающихся с суспензией. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров и их назначение. Основные узлы фильтра: распределительная головка, устройства отдувки осадка и регенерации (дать эскизы или схемы).

4.85. Вакуумные дисковые фильтры типоразмеров ДОО 50. Область применения и назначение фильтра, характеристика разделяемой суспензии, исполнение материала деталей, соприкасающихся с обрабатываемой суспензией (продуктом). Привести схему вакуумного дискового фильтра ДОО 50-2,5-1У с условными обозначениями (или геометрическими размерами) конструктивных параметров. Основные узлы фильтра: головка распределительная, диск, корыто, вал (дать эскизы или схемы). Техническая характеристика и таблица штуцеров.

4.86. Вакуумный дисковый фильтр ДОО 50-2,5-1К. Область применения и назначение, характеристика разделяемой суспензии (продукта), исполнение материала деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Привести схему фильтра с геометрическими размерами (или условными обозначениями) конструктивных параметров. Основные узлы фильтра: диск, вал, распределительная головка, узел регенерации (дать схемы или эскизы). Техническая характеристика фильтра, таблица его штуцеров.

4.87. Вакуумные дисковые фильтры типоразмеров ДОО 63. Назначение, область применения фильтра, характеристика разделяемой суспензии (продукта). Основные узлы дисковых фильтров: диск, вал, распределительная головка, привод и т.д. (дать эскизы и схемы). Исполнение материала деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Привести схему фильтра ДОО 63-2,5-1У с условными обо-

значениями (или геометрическими параметрами) основных конструктивных параметров. Таблица штуцеров, техническая характеристика фильтра.

4.88. Вакуумный дисковый фильтр ДОО 63-2,5-1К. Область применения и назначение фильтра, характеристика разделяемой суспензии. Привести схему фильтра с основными геометрическими размерами (или условными обозначениями) конструктивных параметров. Исполнение материала деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Дать схемы или эскизы основных узлов дискового фильтра, их назначение и устройство. Таблица штуцеров, техническая характеристика фильтра.

4.89. Вакуумные дисковые фильтры типоразмеров ДОО 160. Назначение, область применения и условные обозначения фильтра. Характеристика разделяемой суспензии. Привести схему фильтра ДОО 160-3,75-1У с основными условными обозначениями (или геометрическими размерами) конструктивных параметров, исполнение материала деталей, соприкасающихся с суспензией. Основные узлы фильтра: диск полый вал, опоры, корыто, клапан отдувки осадка. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.90. Вакуумный дисковый фильтр ДОО 160-3,2-5У. Область применения фильтра и его назначение. Характеристика разделяемой суспензии: плотность твердой фазы, скорость осаждения ее крупных частиц и температура сплошной фазы. Привести схему фильтра с основными геометрическими размерами (или условными обозначениями) конструктивных параметров. Техническая характеристика фильтра и таблица штуцеров. Дать эскизы или схемы основных узлов фильтра, их назначение и принцип работы.

4.91. Вакуумный дисковый фильтр общего назначения ДОО 250-3,75-1У. Назначение и область применения фильтра. Характеристика разделяемой суспензии, исполнение деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом (суспензией). Дать схему фильтра с основными размерами (или условными обозначениями) конструктивных парамет-

ров. Привести схемы или эскизы узлов фильтра: распределительной головки, диска, полого вала, привода мешалки, их назначение и принцип работы. Техническая характеристика фильтра и таблица его штуцеров.

4.92. Вакуумный дисковый фильтр ДОО 63-2,5-5У. Область применения и назначение фильтра, характеристика разделяемой суспензии. Исполнение материала деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом (суспензией). Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение. Дать схему дискового фильтра с основными условными обозначениями (или размерами) конструктивных параметров. Основные узлы фильтра (дать схемы или эскизы), принцип работы и назначение.

4.93. Фильтры общего назначения типоразмера ДОО 100. Назначение, область применения, характер процесса и характеристика разделяемой суспензии. Привести схему вакуумного дискового фильтра ДОО 100-2,5-5У с основными размерами конструктивных параметров, материал деталей, соприкасающихся с суспензией. Основные узлы фильтра: диск, распределительная головка, полый вал, корыто, мешалка (дать эскизы или схемы). Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров и их назначение.

4.94. Фильтры типа ДОО (исполнение 5). Характеристика разделяемой суспензии, исполнение материала деталей, соприкасающихся с разделяемым продуктом (суспензией). Назначение и область применения фильтров типа ДОО. Привести схему фильтра ДОО 250-3,75-5У с основными размерами конструктивных параметров. Основные узлы фильтра, их конструкции и назначения (дать схемы или эскизы). Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров, их назначение.

4.95. Фильтры вакуумные дисковые для труднофильтруемых суспензий типа ДТО. Назначение и область применения фильтров типоразмеров ДТО 34, ДТО 51 и ДТО 68 (особенность их конструкции по сравнению с фильтрами типа ДОО). Привести схему фильтра ДТО 34-2,5-1Г с условными обозначениями или (геометрическими размерами)

основных конструктивных параметров. Принцип работы фильтра, основные узлы: диски, распределительная головка, полый вал, привод фильтра (дать эскизы или схемы). Техническая характеристика фильтра, назначение и таблица штуцеров.

4.96. Вакуумный дисковый фильтр для труднофильтруемых суспензий ДТО 51-2,5-1Т. Назначение, область применения, характеристика разделяемой суспензии. Привести схему фильтра с основными условными обозначениями конструктивных параметров, принцип работы и особенности конструкции. Техническая характеристика фильтра, назначение и таблица штуцеров. Основные узлы фильтра: распределительная головка, полый вал, устройство отдувки осадка (дать схемы или эскизы).

4.97. Вакуумный дисковый фильтр ДТО 68-2,5-1Т. Область применения фильтра, его назначение, особенность конструкции по сравнению с фильтрами типа ДОО. Привести схему фильтра с основными условными обозначениями (или геометрическими размерами) конструктивных параметров. Основные узлы фильтра: диск, полый вал, вакуум-насос, клапан отдувки осадка. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение, габаритные и присоединительные размеры.

4.98. Фильтры вакуумные ленточные. Общие сведения. Назначение, область применения, требования, предъявляемые к суспензии. Привести схему устройства фильтра типа ЛОН или ЛОП, основные элементы конструкции (указать позиции), принцип работы. Условные обозначения. Площадь поверхности фильтрования, ширина ленты, исполнение материала деталей, соприкасающихся с суспензией, наименование обрабатываемых продуктов, типоразмеры фильтра.

4.99. Фильтры вакуумные ленточные типа ЛОН. Область применения, назначение, характеристика разделяемой суспензии, условное обозначение. Привести схему фильтра ЛОН 1,8-1У с основными размерами конструктивных параметров. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение, план опорных поверхностей. Основные

узлы фильтра: барабаны, лента, вакуум-камеры, устройство регенерации (дать схемы или эскизы).

4.100. Фильтр вакуумный ленточный ЛОН 1,8-1К. Назначение, область применения фильтра, характеристика разделяемой суспензии, схема устройства фильтра, состав и принцип работы. Привести схему фильтра с основными размерами конструктивных параметров. Основные узлы фильтра: лента, вакуум-камеры, фильтровальная перегородка, устройства регенерации и промывки осадка (привести эскизы или схемы). Техническая характеристика, таблица штуцеров.

4.101. Фильтры вакуумные ленточные типоразмера ЛОН 1,8. Требования, предъявляемые к суспензии и ее характеристика. Область применения и назначение фильтра, материал деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом, наименование обрабатываемых продуктов, условные обозначения. Привести схему фильтра ЛОН 1,8-1Т с основными размерами конструктивных параметров. Основные узлы фильтра: назначение, принцип работы.

4.102. Фильтр вакуумный ленточный ЛОН 4-1У. Схема устройства фильтра, характеристика разделяемой суспензии. Область применения фильтра, назначение. Привести схему фильтра с основными размерами конструктивных параметров. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров и их назначение, материал деталей, соприкасающихся с суспензией. Дать схемы или эскизы основных узлов фильтра.

4.103. Фильтры вакуумные ленточные типоразмера ЛОН 4. Назначение, область применения фильтра. Требования, предъявляемые к суспензии и промывной жидкости. Условные обозначения. Привести схему фильтра ЛОН 4-1К, его устройства и показать основные геометрические размеры конструктивных параметров. Таблица штуцеров, назначение и техническая характеристика.

4.104. Фильтр вакуумный ленточный ЛОП 10-1У. Область применения, назначение фильтра, его материальное исполнение. Схема уст-

ройства фильтра, зоны фильтрования, состав и принцип работы. Привести схему фильтра с основными размерами конструктивных параметров. Техническая характеристика, таблица штуцеров и его назначение. Основные узлы фильтра: барабаны приводной и натяжной, вакуум-камеры, устройство снятия осадка.

4.105. Фильтры вакуумные ленточные типа ЛОП. Назначение, область применения фильтра, характеристика разделяемой суспензии, исполнение материала деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Привести схему фильтра ЛОП 12-1У с основными размерами конструктивных параметров (на схеме устройства показать зоны фильтрования и основные элементы конструкции). Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров и их назначение.

4.106. Фильтр вакуумный ленточный ЛОП 12-1К. Требования, предъявляемые к суспензии, назначение и область применения фильтра. Схема устройства фильтра, зоны фильтрования, состав и принцип работы. Привести схему фильтра с основными размерами конструктивных параметров. Таблица штуцеров, техническая характеристика, план опорной поверхности. Основные отличия фильтра от фильтра типа ЛОН.

4.107. Фильтр вакуумный ленточный ЛОП 15-1У. Область применения и назначение фильтра, его изготовление и поставка. Требования, предъявляемые к суспензии и промывной жидкости. Привести схему фильтра с основными геометрическими размерами конструктивных параметров: устройство фильтра, зоны фильтрования, состав и принцип работы. Основные узлы фильтра (привести схемы или эскизы). Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.108. Фильтры вакуумные ленточные типа ЛОП. Условные обозначения. Назначение и область применения фильтров, характеристика разделяемой суспензии: скорость осаждения осадка, требования к фильтрату. Площадь поверхности фильтрования, ширина ленты, масса фильтра, материал деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом (суспензией), наименование обрабатываемых продуктов. При-

вести схему фильтра ЛОП 30-1У с основными размерами конструктивных параметров, показать состав и схему устройства. Техническая характеристика, таблица штуцеров.

4.109. Фильтр ленточный ЛМН 10-1,5-1Г с механическим отжимом осадка. Область применения и назначение фильтра. Требования по предварительной обработке суспензии. Схема устройства фильтра, зоны фильтрования, обезвоживания осадка и регенерации. Привести схему фильтра с основными геометрическими размерами конструктивных параметров. Техническая характеристика фильтра, таблица штуцеров и их назначение. Привести схемы или эскизы основных узлов фильтра.

4.110. Фильтры вакуумные тарельчатые и ковшовые (карусельные). Назначение, область применения фильтров. Условные обозначения. Требования, предъявляемые к разделяемой суспензии. Привести схему фильтра ТОШ 20-1К с геометрическими размерами конструктивных параметров. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

Основные узлы фильтра: тарелка, фильтровальные элементы, распределительная головка, вакуум-насос, шнек (дать эскизы или схемы). Назначение и принцип работы фильтра и его узлов.

4.111. Фильтры вакуумные ковшовые (карусельные) типа ТКМ. Назначение, область применения. Условные обозначения. Материал деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом, изготовление и поставка. Площадь поверхности фильтрования, количество ковшей, частота вращения карусели, давление, масса фильтров типа ТКМ. Привести схему фильтра ТКМ 50-6К с геометрическими размерами конструктивных параметров (состав, принцип работы, основные узлы).

4.112. Фильтр вакуумный ковшовый (карусельный) ТКМ 100-6К. Область применения, назначение фильтра, характеристика разделяемой суспензии. Устройство, принцип работы и схема фильтра с основными геометрическими размерами конструктивных параметров. Материал

деталей, соприкасающихся с разделяемой суспензией. Техническая характеристика фильтра, таблица его штуцеров и назначение. Основные узлы фильтра: тарелка, распределительная головка, фильтровальные ковши, устройство отдувки осадка (дать схемы или эскизы).

4.113. Вакуум-фильтровальные установки (ФУ). Состав оборудования: узел для приготовления и распределения суспензий, мешалки, насосы, вакуум-насосы, воздуходувки, ресиверы, ловушки, конденсаторы смешения, трубопроводы, арматура, приборы контроля и регулирования расхода, температуры, давления и уровня. Дать их описание и назначение. Условия нормальной работы фильтра. Классификация схем ФУ, выбор схемы компоновки и основные требования к размещению ФУ при проектировании.

4.114. Барабанная вакуум-фильтровальная установка с отдельным отводом основного и промывного фильтратов, размещенная на одном уровне. Назначение и область применения, характеристика разделяемой суспензии. Состав вакуум-фильтровальной установки (привести схему установки), принцип работы. Условия нормальной работы барабанного вакуум-фильтра. Выбор и обоснование основного оборудования вакуум-фильтровальной установки.

4.115. Барабанная вакуум-фильтровальная установка с совместным отводом основного и промывного фильтратов, размещенная на двух уровнях (этажах). Область применения и назначение установки, характеристика разделяемой суспензии. Привести схему вакуум-фильтровальной установки, ее состав (бака с мешалками, насосы, вакуум-насос, барометрический конденсатор смешения, барабанный вакуум-фильтр и т.п.) и принцип работы.

4.116. Автоматизированная вакуум-фильтровальная установка с объединенными зонами фильтрования и просушки, применяемая на горно-обогатительных комбинатах черной металлургии. Привести схему вакуум-фильтровальной установки, условия процесса фильтрования, состав оборудования (вакуум-фильтр, ресивер, насос, вакуум-насос,

воздуходувка и т.п.), работоспособность фильтровальной установки, основные требования к размещению установки.

4.117. Автоматизированная вакуум-фильтровальная установка с отдельными зонами фильтрования и просушки, применяемая на горно-обогатительных комбинатах черной металлургии. Привести схему вакуум-фильтровальной установки, состав оборудования (вакуум-фильтр, насос, вакуум-насос, водоотделитель, гидрозатвор и т.п.), принцип работы установки, условия процесса фильтрования, основные требования к размещению установки и ее работоспособности.

4.118. Ленточная вакуум-фильтровальная установка с противоточной промывкой осадка. Назначение и область применения установки, характеристика разделяемой суспензии, требования к продуктовому осадку. Привести схему ленточной вакуум-фильтровальной установки, условия процесса фильтрования, состав оборудования (вакуум-фильтр, насосы для подачи суспензии и откачки фильтрата, ресивер, бачок-дозатор и т.п.) их назначение и принцип работы. Дать схему компоновки ресивера с автоматизированным центробежным насосом.

4.119. Выбор комплектующего оборудования (ресиверов, ловушек, конденсаторов, вакуум-насосов) для фильтровальных установок барабанного, тарельчатого, дискового, ленточного и карусельного вакуум-фильтров в случае одно- и многоступенчатой промывки осадка. Значения полезного расхода воздуха для вакуум-фильтров. Нормы расхода сжатого воздуха на отдувку осадка и регенерацию перегородки для вакуум-фильтров. Основные габаритные размеры оборудования, их масса и штуцера. Привести схемы или эскизы оборудования с основными размерами конструктивных параметров.

4.120. Барабанные, тарельчатые, дисковые, ленточные и карусельные вакуум-фильтровальные установки. Назначение и область применения установок. Выбор типа вакуум-фильтровальной установки по характеру разделяемой суспензии и требуемой чистоте получаемых осадка и фильтрата. Рекомендуемая комплектация вакуум-фильтров ресиверами, ловушками, конденсаторами, вакуум-насосами, воздуходувками.

4.121. Центрифуги непрерывного действия осадительные горизонтальные (прямоточные и противоточные) со шнековой выгрузкой осадка типа ОГШ. Характеристика разделяемой суспензии (концентрация твердой фазы, предельные размеры частиц, разность плотностей сплошной и дисперсной фаз). Технологическое назначение центрифуг, фактор разделения. Классификация центрифуг и их условные обозначения. Конструктивная схема центрифуг типа ОГШ, основные элементы конструкции, принцип работы.

4.122. Осадительная горизонтальная центрифуга непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка ОГШ-202К-03. Характеристика разделяемой суспензии. Привести конструктивную схему центрифуги и общий вид с основными геометрическими размерами конструктивных параметров. Назначение, область применения и основная конструктивная особенность центрифуги (дать расшифровку условного обозначения). Техническая характеристика центрифуги, принцип действия.

4.123. Центрифуга непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка ОГШ-207К-04. Назначение, область применения центрифуги, основная конструктивная особенность, детали центрифуги, соприкасающиеся с обрабатываемым продуктом. Привести конструктивную схему и общий вид центрифуги с основными геометрическими размерами конструктивных параметров. Принцип действия центрифуги и ее техническая характеристика: диаметр ротора, частота вращения, фактор разделения и т.п.

4.124. Центрифуги осадительные горизонтальные со шнековой выгрузкой осадка типа ОГШ. Область применения и назначения центрифуги, ее технологическое назначение: осветление и классификация, универсальное осаждение и обезвоживающее осаждение. Привести конструктивную схему и общий вид центрифуги ОГШ-202К-05 с основными геометрическими размерами оборудования. Основные узлы центрифуги (дать схемы или эскизы), принцип действия центрифуги и ее техническая характеристика.

4.125. Центрифуги непрерывного действия осадительные горизонтальные со шнековой выгрузкой осадка ОГШ-321К-01 и ОГШ-321К-02. Назначение, область применения, характеристика разделяемой суспензии, условные обозначения центрифуги. Фактор разделения и индекс производительности центрифуг. Привести конструктивную схему центрифуги ОГШ-321К-01 с геометрическими размерами оборудования и общий вид. Техническая характеристика центрифуги и ее принцип действия.

4.126. Центрифуга непрерывного действия ОГШ-352К-01. Назначение и область применения центрифуги. Преимущества центрифуг типов ОГШ по сравнению с фильтрами и отстойниками. Характеристика разделяемой суспензии, основные узлы центрифуги (редуктор, клиноременная передача, виброизолирующее устройство, шнек и т.п.). Привести общий вид и схему центрифуги с геометрическими размерами оборудования. Принцип действия центрифуги и техническая характеристика.

4.127. Фактор разделения и индекс производительности центрифуг. Осадительные центрифуги со шнековой выгрузкой осадка. Конструктивная схема центрифуг типа ОГШ, принцип действия. Привести общий вид центрифуги ОГШ-352К-03 с основными геометрическими размерами конструктивных параметров. Дать эскизы или схемы узлов центрифуги: клиноременная передача, шнек, поворотные шайбы или сменные заслонки. Техническая характеристика центрифуги.

4.128. Прочность и виброустойчивость роторов центрифуг. Конструирование валов и опор центрифуг и расчет критической скорости. Рассмотреть конструкции центрифуг ОГШ-352К-05, ОГШ-352К-06 и ОГШ-352К-12. Их назначение, область применения и техническая характеристика. Привести общий вид центрифуги с основными размерами конструктивных параметров, таблицу штуцеров и комплект поставки.

4.129. Осадительные центрифуги непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка типа ОГШ: устройство, принцип действия, достоинства и недостатки. Привести общий вид центрифуги ОГШ-353К-09 с геометрическими размерами оборудования и конструктивную схему. Рассмотреть основные узлы центрифуги: специальный редуктор, виброизолирующее устройство, шнек и поворотные шайбы (сменные заслонки) и дать эскизы или схемы. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.130. Центрифуга ОГШ-352Т-09. Назначение, область применения центрифуги, характеристика разделяемой суспензии, основная конструктивная особенность центрифуги. Основные узлы центрифуги: ротор цилиндрический, шнек, опоры, специальный редуктор, камеры выгрузки осадка и отвода фугата (эскизы или схемы). Привести общий вид центрифуги с основными геометрическими размерами конструктивных параметров, техническая характеристика.

4.131. Центрифуги осадительные горизонтальные со шнековой выгрузкой осадка типа ОГШ. Характеристика разделяемой суспензии, технологическое назначение центрифуги ОГШ-202К-03. Привести конструктивную схему центрифуги и общий вид с основными геометрическими размерами оборудования, техническая характеристика. Назначение, область применения и основная конструктивная особенность центрифуги (дать расшифровку условного обозначения). Основные отличия осадительных центрифуг типа ОГШ от центрифуг типа ФГШ.

4.132. Центрифуга непрерывного действия ОГШ-501К-11. Назначение и область применения центрифуги, материал деталей, соприкасающихся с разделяемым продуктом (суспензией), изготовление и поставка. Производительность центрифуги и фактор разделения. Привести общий вид центрифуги с геометрическими размерами и ее конструктивную схему. Основные узлы центрифуги: цилиндрический ротор, клиноременная передача ротора, опоры и шнек (дать эскизы). Техническая характеристика.

4.133. Осадительные центрифуги непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка типа ОГШ. Общие сведения (общий конструктивный признак по расположению ротора и шнека, планетарный редуктор, клиноременная передача). Назначение центрифуг, принцип действия (привести схему центрифуги типа ОГШ), осветляющие и классифицирующие центрифуги. Представить общий вид центрифуги ОГШ-502К-04 и ее техническую характеристику.

4.134. Классифицирующая и разделяющая центрифуга непрерывного действия ОГШ-501К-06. Характеристика разделяемой суспензии, расчетная производительность по суспензии, индекс производительности. Привести общий вид центрифуги и ее конструктивную схему с геометрическими размерами. Принцип действия, основные узлы центрифуги: конический или цилиндрический ротор, планетарный редуктор, шнек, опоры (дать схемы или эскизы). Техническая характеристика центрифуги и комплект поставки.

4.135. Разделяющая и обезвоживающая центрифуга ОГШ-501К-10. Назначение и область применения центрифуги, характеристика разделяемой суспензии. Расчетная производительность по суспензии, фактор разделения и индекс производительности центрифуги. Материал деталей центрифуги, соприкасающихся с суспензией. Привести принципиальную схему и общий вид центрифуги с основными геометрическими размерами. Принцип действия центрифуги, ее техническая характеристика.

4.136. Центрифуга для очистки бытовых и промышленных сточных вод ОГШ-631К-02. Область применения центрифуги, характеристика разделяемой суспензии, материал деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Фактор разделения, расчетная производительность по суспензии. Основные достоинства центрифуг типа ОГШ. Общий вид центрифуги с основными геометрическими размерами конструктивных параметров, конструктивная схема, основные узлы и детали оборудования, принцип действия и техническая характеристика.

4.137. Центрифуги ОГШ-631К-02 и ОГШ-631К-05. Назначение и область применения, техническая характеристика: внутренний диаметр, частота вращения, фактор разделения, объемная производительность по суспензии и т.п. Принципиальные схемы прямоточных шнековых центрифуг, их преимущества и недостатки. Привести общий вид центрифуги ОГШ-631К-05 и ее конструктивную схему с геометрическими размерами.

4.138. Центрифуга непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка ОГШ-802К-07 общего назначения. Область применения и назначение центрифуги. Привести конструктивную схему центрифуги и общий вид, принцип действия, состав оборудования, материал деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Схема планетарного редуктора центрифуги ОГШ-802К-07. Основные показатели работы центрифуги: индекс производительности, фактор разделения, объемная расчетная производительность по суспензии. Техническая характеристика.

4.139. Высокопроизводительная центрифуга непрерывного действия ОГШ-1001К-01. Назначение и область применения центрифуги, характеристика разделяемой суспензии. Материал деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Привести конструктивную схему и общий вид центрифуги с основными геометрическими размерами оборудования. Основные узлы центрифуги: ротор, кожух, станина, редуктор, уплотнения. Техническая характеристика центрифуги и ее основные показатели работы.

4.140. Центрифуги фильтрующие горизонтальные со шнековой выгрузкой осадка типа ФГШ. Назначение, область применения, основной конструктивный признак, характеристика разделяемых суспензий: дисперсный состав твердой фазы, плотность дисперсной фазы, концентрация суспензии, вязкость сплошной фазы. Привести конструктивную схему и общий вид центрифуги ФГШ-401К-02 с основными размерами оборудования. Техническая характеристика и комплект поставки.

4.141. Горизонтальная фильтрующая центрифуга со шнековой выгрузкой осадка ФГШ-401К-04. Главные факторы, определяющие выбор центрифуг: характеристика разделяемых суспензий и основные показатели работы. Материалы для изготовления центрифуги: ротор, вал, станина, кожух, устройства виброизоляции, кожух планетарного редуктора. Привести общий вид центрифуги и ее конструктивную схему с основными размерами оборудования и технической характеристикой.

4.142. Центрифуги непрерывного действия фильтрующие горизонтальные с пульсирующей выгрузкой осадка типа ФГП. Общие сведения: назначение, область применения, энергоемкость процесса и металлоемкость конструкции, характеристика разделяемой суспензии, достоинства и недостатки центрифуг с пульсирующей выгрузкой осадка. Конструктивная схема центрифуг типа ФГП, основные узлы: кожух, ротор, главный вал, станина, толкатель, силовой гидроцилиндр и маслоустановка.

4.143. Центрифуга 1/2 ФГП-401К-04 с пульсирующей выгрузкой осадка. Область применения, назначение, характеристика разделяемой суспензии. Материал деталей центрифуги, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом, изготовление и поставка оборудования. Конструктивная схема центрифуги, состав (основные узлы и детали) и принцип работы. Дать общий вид, таблицу штуцеров и техническую характеристику центрифуги.

4.144. Центрифуга непрерывного действия с пульсирующей выгрузкой осадка 1/2 ФГП-401К-05. Основные показатели работы: индекс производительности, фактор разделения, объемная производительность по суспензии. Привести конструктивную схему и общий вид центрифуги с основными размерами оборудования. Достоинства и недостатки центрифуг с пульсирующей выгрузкой осадка. Основные узлы и детали центрифуги. Техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.145. Центрифуга с пульсирующей выгрузкой осадка 1/2 ФГП-401Т-06. Назначение, область применения центрифуги, основные показатели работы. Характеристика разделяемой суспензии, дисперсный состав и эффективная плотность твердой фазы, вязкость жидкой фазы. Общий вид центрифуги, ее конструктивная схема с основными размерами оборудования, принцип работы, техническая характеристика, таблица штуцеров, назначение.

4.146. Двухкаскадная центрифуга непрерывного действия 1/2 ФГП-631К-01. Область применения, назначение центрифуги, характеристика разделяемой продукции, материал деталей центрифуг, соприкасающихся с суспензией. Техническая характеристика, таблица штуцеров и назначение. Основные показатели работы центрифуг: объемная производительность по суспензии, индекс производительности и фактор разделения. Конструктивная схема и общий вид центрифуги с основными размерами оборудования.

4.147. Основные узлы центрифуг непрерывного действия с пульсирующей выгрузкой осадка типа ФГП: станина, ротор, планетарно-дифференцированный редуктор, шнек, виброизолирующее устройство, привод центрифуги. Преимущества и недостатки центрифуг. Привести общий вид центрифуги 1/2 ФГП-631К-02 и ее конструктивную схему с основными размерами оборудования. Таблица штуцеров, их назначение и техническая характеристика.

4.148. Центрифуга непрерывного действия с пульсирующей выгрузкой осадка 1/2 ФГП-809К-05. Назначение, область применения центрифуги. Материал деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом. Характеристика разделяемой продукции (суспензии). Основные узлы центрифуги. Дать конструктивную схему и общий вид центрифуги с основными размерами оборудования, принцип работы, техническая характеристика, таблица штуцеров и их назначение.

4.149. Классификация промышленных центрифуг непрерывного и периодического действий и их условные обозначения. Рекомендации по применению различных процессов центрифугирования и способы вы-

грузки осадка. Основные показатели работы центрифуг: производительность по суспензии и по осадку, фактор разделения, индекс производительности. Материалы для изготовления центрифуг. Привести конструктивную схему и общий вид центрифуги 1/2 ФГП-801К-06, назначение, область применения, техническая характеристика и таблица штуцеров.

4.150. Центрифуги горизонтальные непрерывного действия с пульсирующей выгрузкой осадка типа ФГП. Рекомендации по их применению в зависимости от технологического процесса и способа выгрузки осадка. Основные узлы центрифуг типа ФГП: ротор, вал, кожух, станина, гидроцилиндр, привод, маслосистема с холодильником (описание конструкций, состав, принцип работы). Привести техническую характеристику, таблицу штуцеров, конструктивную схему центрифуги 1/2 ФГП-801К-07 и общий вид.

#### **Задачи по контрольному заданию №2 по разделу «Аппараты для разделения неоднородных систем»**

4.1. Определить поверхность фильтрования вновь проектируемого ленточного фильтра, предназначенного для переработки 0,006 м<sup>3</sup>/с суспензии шлифпорошка М40. Подобрать подходящий типоразмер фильтра. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,55$ ; температура  $t=35^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,21$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=4,56 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=12\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=165 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=50$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=3960$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=998$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,975 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время просушки осадка 75 с.

4.2. Определить полную производительность по суспензии и скорость движения ленты для вакуумного фильтра ЛОН4-1У при обработке

суспензии асбестового шлама. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,20$ ; температура  $t=20^0\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,40$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=5\cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=100\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=80$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=2500$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,9\cdot 10^{-3}$  Па·с.

4.3. Рассчитать производительность по сухому осадку, а также длины зон фильтрования, промывки осадка и сушки для фильтра ЛОН1,8-1У, предназначенного для переработки суспензии тонко измельченных железорудных концентратов в воде. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,623$ ; температура  $t=15^0\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,08$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=4\cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=5\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=35\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=69$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=2325$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,95\cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 150 кПа; температура  $20^0\text{C}$ ; расход воды  $0,5$  м<sup>3</sup>/час.

4.4. Определить длину стола фильтра ЛОП15-1У, соответствующую условиям получения осадка толщиной 15 мм в случае переработки  $0,004$  м<sup>3</sup>/с суспензии фосфогипса. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,35$ ; температура  $t=25^0\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,60$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=5,6\cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=32\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – перхлорвинил; сопротивление,

отнесенное к единице вязкости  $\beta=44\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=65$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=2240$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,989\cdot 10^{-3}$  Па·с; перепад давлений при промывке и просушке принять равным 65 кПа.

4.5. Определить необходимое число ленточных вакуум-фильтров марки ЛОП12-1К, предназначенных для переработки  $0,008$  м<sup>3</sup>/с суспензии сажеводяной смеси. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,0175$ ; температура  $t=63^0\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,90$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=401\cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=10\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=229\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=39,2$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=1359$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=998$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,95\cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 98 кПа; температура  $22^0\text{C}$ ; расход воды  $0,3$  м<sup>3</sup>/час.

4.6. На ленточном вакуум-фильтре ЛОП30-1У перерабатывается суспензия свекловичного преддефекованного сока 1. Рассчитать производительность фильтра по сухому остатку. Найти требуемую длину зоны фильтрования. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,179$ ; температура  $t=64^0\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,551$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=228\cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – лавсан 21710; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=36,26\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=53,3$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=1115$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1\cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 100 кПа; температура  $50^0\text{C}$ ; расход воды  $0,6$  м<sup>3</sup>/час.

4.7. На ленточном вакуум-фильтре ЛОП10-1У перерабатывается суспензия свекловичного преддефекованного сока 2. Рассчитать произво-

дительность по фильтрату. Найти требуемую скорость движения ленты. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,15$ ; температура  $t=60^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,568$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=228 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань фильтродиагональ 2074; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=44 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=40$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=1115$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,95 \cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 100 кПа; температура  $50^\circ\text{C}$ ; расход воды  $0,6$  м<sup>3</sup>/час.

4.8. На ленточном вакуум-фильтре ЛОП12-1У перерабатывается суспензия свекловичного преддефекованного сока 3. Рассчитать производительность по разделяемой суспензии. Найти требуемую скорость движения ленты. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,18$ ; температура  $t=42-52^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,447$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=228 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=25\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – бельтинг 2031; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=56 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=39,3$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=1200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=998$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,99 \cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 100 кПа; температура  $50^\circ\text{C}$ ; расход воды  $0,6$  м<sup>3</sup>/час.

4.9. На ленточном вакуум-фильтре ЛОП12-1К перерабатывается суспензия несгущенного сока первой сатурации. Рассчитать производительность по разделяемой суспензии. Найти требуемую скорость движения ленты. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,070$ ; температура  $t=72^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,424$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=52 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки

по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=73,5 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=49$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=1205$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1050$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1,02 \cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 235 кПа; температура  $70^\circ\text{C}$ ; расход воды  $0,72$  м<sup>3</sup>/час.

4.10. Какова будет производительность карусельного вакуум-фильтра ТКМ50-6К (К50-11К) при переработке суспензии тонко измельченных железорудных концентратов в воде? Рассчитать требуемую при этом скорость вращения карусели фильтра. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,623$ ; температура  $t=15^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,08$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=4 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=5\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=35 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=69$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=2325$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,95 \cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 150 кПа; температура  $20^\circ\text{C}$ ; расход воды  $0,5$  м<sup>3</sup>/час.

4.11. Определить производительность карусельного вакуум-фильтра ТКМ50-6К (К50-11К), предназначенного для переработки суспензии галитоилистых хвостов флотации, при условии образования слоя осадка толщиной  $0,035$  м. Определить углы секторов зон - фильтрования, промывки и просушки осадка. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,53$ ; температура  $t=20^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,12$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=0,432 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=6\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капроновая сетка 23112; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=40 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=71$  кПа;

плотность твердой фазы  $\rho_t=1600 \text{ кг/м}^3$ ; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=995 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,86 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; давление регенерирующей воды 294 кПа; температура  $15^\circ\text{C}$ ; расход воды  $0,6 \text{ м}^3/\text{час}$ .

4.12. Для карусельного фильтра ТКМ100-6К (К100-15К) рассчитать производительность по суспензии и время фильтрования при переработке суспензии каолина в воде, коагулированного известковым молоком, при условии образования осадка толщиной 50 мм. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_t=0,16$ ; температура  $t=12^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,51$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=1,5 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$ ; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=10\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=80 \cdot 10^9 \text{ 1/м}$ . Перепад давлений  $\Delta p=64 \text{ кПа}$ ; плотность твердой фазы  $\rho_t=2100 \text{ кг/м}^3$ ; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,99 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; давление регенерирующей воды 294 кПа; температура  $15^\circ\text{C}$ ; расход воды  $10 \text{ м}^3/\text{час}$ .

4.13. Для карусельного фильтра ТКМ100-6К (К100-15К) рассчитать производительность по сухому остатку при переработке суспензии каолина в воде, коагулированного известковым молоком, при условии образования осадка толщиной 40 мм. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_t=0,16$ ; температура  $t=12^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,51$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=1,5 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$ ; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=10\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=80 \cdot 10^9 \text{ 1/м}$ . Перепад давлений  $\Delta p=64 \text{ кПа}$ ; плотность твердой фазы  $\rho_t=2100 \text{ кг/м}^3$ ; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,99 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; давление регенерирующей воды 294 кПа; температура  $15^\circ\text{C}$ ; расход воды  $10 \text{ м}^3/\text{час}$ .

4.14. Определить производительность барабанного вакуум-фильтра БНМ5-1,8-1К, используемого для переработки суспензии культуральной жидкости. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_t=0,023$ ; температура  $t=40^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,64$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=24,78 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=35 \cdot 10^9 \text{ 1/м}$ . Перепад давлений  $\Delta p=27 \text{ кПа}$ ; плотность твердой фазы  $\rho_t=1000 \text{ кг/м}^3$ ; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=990 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,475 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; продолжительность вспомогательных операций 1500 с.

4.15. Определить производительность барабанного вакуум-фильтра БНМ20-2,4-1У для фильтрования метатитановой кислоты через слой древесной муки. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_t=0,12$ ; температура  $t=50^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,69$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=125 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=30 \cdot 10^9 \text{ 1/м}$ . Перепад давлений  $\Delta p=27 \text{ кПа}$ ; плотность твердой фазы  $\rho_t=3000 \text{ кг/м}^3$ ; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1265 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu=1,787 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; продолжительность вспомогательных операций 1600 с.

4.16. Найти расход древесной муки при фильтровании метатитановой кислоты на фильтре ББМ10-1,8-5К. Принять толщину слоя уплотненного намывного слоя вспомогательного фильтровального вещества 0,06 м. Производительность по фильтрату принять равной  $2 \text{ м}^3/\text{час}$ . Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_t=0,18$ ; температура  $t=50^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,58$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=125 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=30 \cdot 10^9 \text{ 1/м}$ .

Перепад давлений  $\Delta p=27$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3000$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1265$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1,787 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1600 с.

4.17. Подобрать необходимое число барабанных вакуум-фильтров марки БОН1-1-1К, предназначенных для переработки суспензии не-сгущенного сока первой сатурации в количестве 0,008 м<sup>3</sup>/с. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,070$ ; температура  $t=72^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,424$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=52 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=73,5 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=49$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=1205$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1050$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1,02 \cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 235 кПа; температура 70<sup>0</sup>С; расход воды 0,72 м<sup>3</sup>/час.

4.18. Рассчитать производительность по фильтрату барабанного вакуум-фильтра со стандартным распределением зон БОН5-1,8-1К при переработке суспензии активного ила аэротенков. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,02$ ; температура  $t=15^{\circ}\text{C}$ .

Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,80$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=8,5 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=235 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=67$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=1650$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1 \cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 294 кПа; температура 22<sup>0</sup>С; расход воды 1,2 м<sup>3</sup>/час.

4.19. Рассчитать производительность по сухому осадку установленного барабанного вакуум-фильтра со стандартным распределением зон БОН10-1,8-1К при переработке суспензии сброженного в термофильных условиях осадка станции аэрации.

Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,06$ ; температура  $t=23^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,78$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=9,5 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=6\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=44 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=49$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=1450$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=998$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,94 \cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 294 кПа; температура 22<sup>0</sup>С; расход воды 1,8 м<sup>3</sup>/час.

4.20. Рассчитать производительность по влажному осадку барабанного вакуум-фильтра со стандартным распределением зон БОН20-2,4-1У при переработке суспензии фосфогипса из фосфоритов Кара-Тау. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,35$ ; температура  $t=25^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,60$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=5,6 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=32\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – перхлорвинил; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=44 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=65$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=2240$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,989 \cdot 10^{-3}$  Па·с; перепад давлений при промывке и просушке принять равным 65 кПа.

4.21. Рассчитать минимально необходимый угол сектора зоны фильтрации для барабанного вакуум-фильтра БОН30-2,4-1У при переработке 0,002 м<sup>3</sup>/с суспензии фосфогипса из фосфоритов Кара-Тау. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,35$ ; температура  $t=25^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы

в осадке  $\bar{w}=0,60$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=5,6 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=32\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – перхлорвинил; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=44 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=65$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=2240$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,989 \cdot 10^{-3}$  Па·с; перепад давлений при промывке и просушке принять равным 65 кПа.

4.22. Рассчитать время полного цикла работы фильтра БОН40-3-1У при переработке алюмосиликатной суспензии. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,065$ ; температура  $t=50^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,80$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=542 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=67\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=41 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=67$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=2370$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=990$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=6,2 \cdot 10^{-3}$  Па·с; расход промывной жидкости принять равным 0,002 м<sup>3</sup> на 1 кг влажного осадка.

4.23. Определить производительность фильтра БОН10-1,8-1Г по сухому осадку при переработке алюмосиликатной суспензии. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,035$ ; температура  $t=50^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,80$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=542 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=77\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=41 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=67$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=2370$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=990$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жид-

кой фазы  $\mu=6,2 \cdot 10^{-3}$  Па·с; расход промывной жидкости принять равным 0,002 м<sup>3</sup> на 1 кг влажного осадка.

4.24. Подобрать фильтр типа БОН для переработки криолитовой суспензии, который бы обеспечивал получение 4 м<sup>3</sup>/ч фильтрата. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,15$ ; температура  $t=45^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,54$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=177 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=48\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=105 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=48$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=2980$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1070$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1 \cdot 10^{-3}$  Па·с; расход промывной жидкости принять равным 0,0018 м<sup>3</sup> на 1 кг влажного осадка; вязкость промывной жидкости 5,4·10<sup>-3</sup> Па·с.

4.25. Для фильтрации суспензии кобальтового производства определить необходимое время фильтрования и промывки осадка при условии подачи промывной жидкости из форсунок. Фильтрация производится в барабанных вакуум-фильтрах типа БОН80-3,75-5У. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,25$ ; температура  $t=50^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,39$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=1357 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=37\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=1345 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=294$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=3640$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1002$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на вспомогательные операции 10 мин.

4.26. Определить требуемую поверхность фильтрования барабанного вакуум-фильтра со сходящим полотном, предназначенного для полу-

чения  $5 \text{ м}^3/\text{час}$  фильтрата пигмента желтого. Подобрать необходимый типоразмер фильтра. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,00035$ ; температура  $t=25^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,764$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=276 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$ ; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=70\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=18,7 \cdot 10^9 \text{ 1/м}$ . Перепад давлений  $\Delta p=80 \text{ кПа}$ ; плотность твердой фазы  $\rho_T=1200 \text{ кг/м}^3$ ; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1000 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu=1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; время промывки осадка 90 с.

4.27. Какова будет производительность фильтра БОП5-1,8-1У при переработке суспензии свекловичного преддефекованного сока. Принять толщину осадка 0,004 м. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,179$ ; температура  $t=64^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,551$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=228 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$ ; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – лавсан 21710; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=36,26 \cdot 10^9 \text{ 1/м}$ . Перепад давлений  $\Delta p=53,3 \text{ кПа}$ ; плотность твердой фазы  $\rho_T=1115 \text{ кг/м}^3$ ; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1000 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu=1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; давление регенерирующей воды 100 кПа; температура  $50^\circ\text{C}$ ; расход воды  $0,6 \text{ м}^3/\text{час}$ .

4.28. Через барабанный вакуум-фильтр со сходящим полотном пропускается  $5 \text{ м}^3/\text{час}$  суспензии не сгущенного сока первой сатурации. Толщина образуемого при этом слоя осадка 0,004 м. Определить время фильтрования, границы рабочих зон, угловую скорость вращения барабана. Подобрать подходящий типоразмер фильтра. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,070$ ; температура  $t=72^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,424$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=52 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$ ; содержа-

ние жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=73,5 \cdot 10^9 \text{ 1/м}$ . Перепад давлений  $\Delta p=49 \text{ кПа}$ ; плотность твердой фазы  $\rho_T=1205 \text{ кг/м}^3$ ; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1050 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu=1,02 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; давление регенерирующей воды 235 кПа; температура  $70^\circ\text{C}$ ; расход воды  $0,72 \text{ м}^3/\text{час}$ .

4.29. Для фильтрации суспензии активного ила станции аэрации установлен фильтр БОП20-2,4-1У. Какова будет пропускная способность отделения фильтрации по сухому осадку? Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,02$ ; температура  $t=15^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,80$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=8,5 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$ ; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=235 \cdot 10^9 \text{ 1/м}$ . Перепад давлений  $\Delta p=67 \text{ кПа}$ ; плотность твердой фазы  $\rho_T=1650 \text{ кг/м}^3$ ; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1000 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu=1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; давление регенерирующей воды 294 кПа; температура  $22^\circ\text{C}$ ; расход воды  $2,2 \text{ м}^3/\text{час}$ .

4.30. Определить производительность по сухому осадку дискового вакуум-фильтра ДОО16-2,5-1У, предназначенного для разделения суспензии гидроксида магния. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,10$ ; температура  $t=35^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,65$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=97 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$ ; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=57\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=60,4 \cdot 10^9 \text{ 1/м}$ . Перепад давлений  $\Delta p=87 \text{ кПа}$ ; плотность твердой фазы  $\rho_T=2400 \text{ кг/м}^3$ ; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1020 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,94 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

4.31. Определить полную производительность по фильтрату дискового вакуум-фильтра ДОО16-2,5-1К, предназначенного для разделения суспензии технической № 1. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,07$ ; температура  $t=35^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,39$ ; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=5\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=48,5\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=294,3$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=3915$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1349$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=2,86\cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1800 с.

4.32. Определить производительность по фильтрату с учетом забивки фильтрующей ткани дискового вакуум-фильтра ДОО32-2,5-1К, предназначенного для разделения суспензии технической № 2. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,02$ ; температура  $t=30^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,70$ ; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=10\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=11\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=294,3$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=3200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1530$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=8,54\cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1800 с.

4.33. Определить производительность по сухому осадку дискового вакуум-фильтра ДОО50-2,5-1У, предназначенного для разделения суспензии технической № 3. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,05$ ; температура  $t=25^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,65$ ; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление,

отнесенное к единице вязкости  $\beta=25\cdot 10^9$  1/м, перепад давлений  $\Delta p=200$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=3200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1530$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,516\cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1400 с.

4.34. Определить производительность по суспензии дискового вакуум-фильтра ДОО63-2,5-1У, предназначенного для разделения суспензии технической № 3. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,05$ ; температура  $t=25^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,65$ ; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=25\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=200$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=3200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1530$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,516\cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1400 с.

4.35. Определить производительность по суспензии дискового вакуум-фильтра ДОО160-3,75-1У, предназначенного для разделения алюмосиликатной суспензии. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,035$ ; температура  $t=50^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,80$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{ср}=542\cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=77\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=41\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=67$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=2370$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=990$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=6,2\cdot 10^{-3}$  Па·с; расход промывной жидкости принять равным  $0,002$  м<sup>3</sup> на 1 кг влажного осадка.

4.36. Рассчитать требуемую поверхность фильтрования и подобрать дисковый вакуум-фильтр для разделения суспензии рапного гидрооксида магния. Принять производительность по фильтрату  $0,2$  м<sup>3</sup>/с. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,10$ ; тем-

пература  $t=35^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,65$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{cp}}=97 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=57\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=60,4 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=87$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=2400$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1020$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,94 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

4.37. Рассчитать требуемую поверхность фильтрования и подобрать дисковый вакуум-фильтр для разделения криолитовой суспензии. Принять производительность по фильтрату  $0,4$  м<sup>3</sup>/с. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,15$ ; температура  $t=45^{\circ}\text{C}$ .

Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,54$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{cp}}=177 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=48\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=105 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=48$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=2980$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1070$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1 \cdot 10^{-3}$  Па·с; расход промывной жидкости принять равным  $0,0018$  м<sup>3</sup> на 1 кг влажного осадка; вязкость промывной жидкости  $5,4 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

4.38. Рассчитать требуемую поверхность фильтрования и подобрать дисковый вакуум-фильтр для разделения суспензии цинкового производства. Принять производительность по фильтрату  $0,15$  м<sup>3</sup>/с. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,07$ ; температура  $t=40^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,39$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{cp}}=157 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=35\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=48,5 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=294$  кПа; плотность твердой фа-

зы  $\rho_t=3915$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1349$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=2,88 \cdot 10^{-3}$  Па·с; расход промывной жидкости  $0,001$  м<sup>3</sup> на 1 кг влажного осадка; время просушки осадка  $60$  с.

4.39. Определить производительность по фильтрату с учетом забивки фильтрующей ткани дискового вакуум-фильтра ДОО100-2,5-5У, предназначенного для разделения суспензии гидроксида магния. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,10$ ; температура  $t=35^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,65$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{cp}}=97 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=57\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=60,4 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=87$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=2400$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1020$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,94 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

4.40. Определить производительность по сухому осадку дискового вакуум-фильтра ДОО160-3,2-5У, предназначенного для разделения суспензии гидроксида магния. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,10$ ; температура  $t=35^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,65$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{cp}}=97 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=57\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=60,4 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=87$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=2400$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1020$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,94 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

4.41. Определить полную производительность дискового вакуум-фильтра ДТО34-2,5-1Г, предназначенного для разделения суспензии черного шлама в производстве двуоксида титана. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,02$ ; температура  $t=35^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,70$ ;

среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=139 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=60\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=11 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=294$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1530$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=8,54 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на вспомогательные операции 30 мин.

4.42. Определить производительность по снимаемому влажному осадку для дискового вакуум-фильтра ДТО34-2,5-1Т, на котором разделяется суспензия черного шлама в производстве двуокиси титана. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,12$ ; температура  $t=45^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,65$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=139 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=45\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=11 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=294$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1530$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=8,54 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на вспомогательные операции 30 мин.

4.43. Определить производительность по суспензии черного шлама в производстве двуокиси титана для дискового вакуум-фильтра ДТО34-2,5-1Т. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,08$ ; температура  $t=35^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,70$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=139 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=60\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=11 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=294$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=2890$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1530$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=9,64 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на вспомогательные операции 30 мин.

4.44. Определить полную производительность дискового вакуум-фильтра ДТО51-2,5-1Т, предназначенного для разделения суспензии черного шлама в производстве двуокиси титана. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,02$ ; температура  $t=35^{\circ}\text{C}$ .

Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,70$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=139 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=60\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=11 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=294$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1530$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=8,54 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на вспомогательные операции 30 мин.

4.45. Определить производительность по снимаемому влажному осадку для дискового вакуум-фильтра ДТО51-2,5-1Т, на котором разделяется суспензия черного шлама в производстве двуокиси титана. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,12$ ; температура  $t=35^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,60$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=139 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=50\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=11 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=294$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1430$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=8,54 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на вспомогательные операции 30 мин.

4.46. Определить производительность по суспензии черного шлама в производстве двуокиси титана для дискового вакуум-фильтра ДТО51-2,5-1Т. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,10$ ; температура  $t=35^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,76$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=139 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки

по массе  $\overline{w}'=54\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=18\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=294$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1500$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=8,50\cdot 10^{-3}$  Па·с; время на вспомогательные операции 30 мин.

4.47. Определить полную производительность дискового вакуум-фильтра ДТО68-2,5-1Т, предназначенного для разделения суспензии кобальтового производства. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\overline{x}_T=0,25$ ; температура  $t=50^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\overline{w}=0,39$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=135,7\cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\overline{w}'=37\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=134,5\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=290$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3640$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1002$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1\cdot 10^{-3}$  Па·с; время на вспомогательные операции 10 мин.

4.48. Определить производительность по снимаемому влажному осадку для дискового вакуум-фильтра ДТО68-2,5-1Т, на котором разделяется суспензия кобальтового производства. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\overline{x}_T=0,30$ ; температура  $t=50^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\overline{w}=0,39$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=135,7\cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\overline{w}'=37\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=134,5\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=294$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3640$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1002$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1\cdot 10^{-3}$  Па·с; время на вспомогательные операции 10 мин.

4.49. Определить производительность по суспензии кобальтового производства для дискового вакуум-фильтра ДТО68-2,5-1Т. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\overline{x}_T=0,20$ ; температура  $t=50^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\overline{w}=0,39$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=135,7\cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\overline{w}'=37\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=134,5\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=314$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3600$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1022$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1\cdot 10^{-3}$  Па·с; время на вспомогательные операции 10 мин.

4.50. Определить производительность по снимаемому влажному осадку для дискового вакуум-фильтра ДОО160-3,75-1У, предназначенного для разделения суспензии гидроокиси магния. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\overline{x}_T=0,10$ ; температура  $t=35^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\overline{w}=0,65$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=97\cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\overline{w}'=57\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=60,4\cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=87$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=2400$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1020$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,94\cdot 10^{-3}$  Па·с.

4.51. Подобрать необходимое количество фильтров типа ДОО50-2,5-1К обеспечивающих получение 120 м<sup>3</sup>/ч фильтрата гидроокиси магния. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\overline{x}_T=0,10$ ; температура  $t=35^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\overline{w}=0,65$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=97\cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\overline{w}'=57\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтроваль-

ная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=60,4 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=87$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=2400$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1020$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,94 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

4.52. Определить требуемую поверхность фильтрации дискового вакуум-фильтра, предназначенного для получения 10 м<sup>3</sup>/час фильтрата пигмента желтого. Подобрать необходимый типоразмер фильтра. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,00035$ ; температура  $t=25^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,764$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=276 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=70\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=18,7 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=80$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=1200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время промывки осадка 90 с.

4.53. Определить производительность рамного фильтр-пресса РОМ16-1У-01, работающего в режиме постоянной скорости фильтрации, для цикла работы, включающего промывку и просушку осадка при разделении суспензии цинкового производства. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,07$ ; температура  $t=40^{\circ}\text{C}$ .

Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,39$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=157 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=35\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=48,5 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=290$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3915$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1349$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=2,88 \cdot 10^{-3}$  Па·с; расход промывной жидкости принять равным 0,001 м<sup>3</sup> на 1 кг влажного осадка; время просушки осадка 60 с.

4.54. Определить производительность рамного фильтр-пресса РОМ25-1У-01, работающего в режиме постоянной скорости фильтрации, для цикла работы, включающего промывку и просушку осадка при разделении суспензии шлифпорошка М40. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,55$ ; температура  $t=35^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,21$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=4,56 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=12\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=165 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=50$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3960$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=998$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,975 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время просушки осадка 75 с.

4.55. Определить производительность рамного фильтр-пресса РОМ22,4-1У-01, работающего в режиме постоянной скорости фильтрации, для цикла работы, включающего промывку и просушку осадка при разделении суспензии гидроксида магния. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,10$ ; температура  $t=35^{\circ}\text{C}$ .

Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,65$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=97 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=57\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=60,4 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=87$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=2400$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1020$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,94 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

4.56. Определить производительность рамного фильтр-пресса РОМ35,5-1У-01, работающего в режиме постоянной скорости фильтрации, для цикла работы, включающего промывку и просушку осадка при разделении алюмосиликатной суспензии. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,035$ ; температура  $t=50^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке

$\bar{w}=0,80$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=542 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=77\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=41 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=67$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=2370$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=990$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=6,2 \cdot 10^{-3}$  Па·с; расход промывной жидкости принять равным 0,002 м<sup>3</sup> на 1 кг влажного осадка.

4.57. Определить производительность рамного фильтр-пресса POP2-1У-01, работающего в режиме постоянной скорости фильтрования, для цикла работы, включающего промывку и просушку осадка при разделении суспензии цинкового производства. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_t=0,07$ ; температура  $t=40^0$ С.

Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,39$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=157 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=35\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=48,5 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=294$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3915$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1349$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=2,88 \cdot 10^{-3}$  Па·с; расход промывной жидкости принять равным 0,001 м<sup>3</sup> на 1 кг влажного осадка; время просушки осадка 60 с.

4.58. Определить производительность рамного фильтр-пресса POP4-1К-01, работающего в режиме постоянной скорости фильтрования, для цикла работы, включающего промывку и просушку осадка при разделении суспензии метатитановой кислоты. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_t=0,12$ ; температура  $t=50^0$ С.

Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,69$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=125 \cdot 10^9$  м/кг. Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=30 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=27$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3000$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы

$\rho_{ж}=1265$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1,787 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1600 с.

4.59. Определить производительность рамного фильтр-пресса POP5,6-1У-01, работающего в режиме постоянной скорости фильтрования, для цикла работы, включающего промывку и просушку осадка при разделении суспензии кобальтового производства. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_t=0,25$ ; температура  $t=50^0$ С.

Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,39$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=135,7 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=37\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=134,5 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=284$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3640$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1012$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на вспомогательные операции 10 мин.

4.60. Определить производительность рамного фильтр-пресса POP2,8-1К-01, работающего в режиме постоянной скорости фильтрования, для цикла работы, включающего промывку и просушку осадка при разделении суспензии черного шлама в производстве диоксида титана. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_t=0,02$ ; температура  $t=35^0$ С. Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,70$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{cp}=139 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=60\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=11 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=290$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1530$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=8,54 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на вспомогательные операции 30 мин.

4.61. Определение производительности по сухому остатку барабанного безъячейкового вакуум-фильтра БНК1-1 при разделении суспен-

зии метатитановой кислоты. В качестве фильтрующей перегородки служит ткань "фильтродиагональ". Принять толщину образуемого намывного слоя вспомогательного фильтрующего вещества (ВФВ) древесной муки на фильтре  $\delta_{\text{упл}} = 0,04$  м. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\overline{x_T} = 0,12$ ; температура  $t = 50^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\overline{w} = 0,69$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}} = 125 \cdot 10^9$  м/кг. Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta = 30 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p = 27$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_r = 3000$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}} = 1265$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu = 1,787 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1600 с. Характеристика фильтровального порошка: древесная мука хвойных пород № 180, ГОСТ 16361-70; плотность твердой фазы 1500 кг/м<sup>3</sup>; концентрация суспензии 2,00% масс; масса твердой фазы, отлагающейся на фильтре при получении единицы объема фильтрата 23,51 кг/м<sup>3</sup>; перепад давлений при фильтровании 26,68 кПа; содержание жидкой фазы в отфильтрованном осадке 85,97 % масс; пористость осадка 0,991; среднее удельное сопротивление осадка  $\alpha_{\text{ср}} = 0,781 \cdot 10^9$  м/кг; сопротивление фильтрующего основания  $\beta = 1,919 \cdot 10^9$  1/м.

4.62. Определить производительность по фильтрату барабанного безъячейкового вакуум-фильтра ББНК3-1,75 при разделении суспензии метатитановой кислоты. В качестве фильтрующей перегородки служит ткань "фильтродиагональ". Принять толщину образуемого намывного слоя вспомогательного фильтрующего вещества (ВФВ) фильтроперлита на фильтре  $\delta_{\text{упл}} = 0,05$  м. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\overline{x_T} = 0,16$ ; температура  $t = 50^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\overline{w} = 0,69$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}} = 125 \cdot 10^9$  м/кг. Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta = 30 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p = 27$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_r = 3000$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}} = 1260$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu = 1,787 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжи-

тельность вспомогательных операций 1600 с. Характеристика фильтровального порошка: фильтроперлит; плотность твердой фазы 2150 кг/м<sup>3</sup>; концентрация суспензии 2,0% масс; масса твердой фазы, отлагающейся на фильтре при получении единицы объема фильтрата 23,160 кг/м<sup>3</sup>; перепад давлений при фильтровании 26,68 кПа; содержание жидкой фазы в отфильтрованном осадке 85,33 % масс; пористость осадка 0,93; среднее удельное сопротивление осадка  $\alpha_{\text{ср}} = 2,636 \cdot 10^9$  м/кг; сопротивление фильтрующего основания  $\beta = 1,610 \cdot 10^9$  1/м.

4.63. Определение производительности по фильтрату барабанного безъячейкового вакуум-фильтра ББНК10-2,6 при разделении суспензии культуральной жидкости. В качестве фильтрующей перегородки служит ткань "фильтродиагональ". Принять толщину образуемого намывного слоя вспомогательного фильтрующего вещества (ВФВ) перлита на фильтре  $\delta_{\text{упл}} = 0,04$  м. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\overline{x_T} = 0,13$ ; температура  $t = 40^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\overline{w} = 0,60$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}} = 247,8 \cdot 10^9$  м/кг. Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta = 35 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p = 27$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_r = 1000$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}} = 990$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu = 0,475 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1500 с. Характеристика фильтровального порошка: перлит; плотность твердой фазы 2180 кг/м<sup>3</sup>; концентрация суспензии 2,37% масс; масса твердой фазы, отлагающейся на фильтре при получении единицы объема фильтрата 26,32 кг/м<sup>3</sup>; перепад давлений при фильтровании 44,03 кПа; содержание жидкой фазы в отфильтрованном осадке 76,26 % масс; пористость осадка 0,876; среднее удельное сопротивление осадка  $\alpha_{\text{ср}} = 2,676 \cdot 10^9$  м/кг; сопротивление фильтрующего основания  $\beta = 3,405 \cdot 10^9$  1/м.

4.64. Определение производительности по фильтрату барабанного безъячейкового вакуум-фильтра ББНР45-3,14 при разделении суспензии культуральной жидкости. Принять толщину образуемого намыв-

ного слоя вспомогательного фильтрующего вещества (ВФВ) кизельгура на фильтре  $\delta_{\text{упл}} = 0,04$  м. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\overline{x_T} = 0,018$ ; температура  $t = 40^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\overline{w} = 0,60$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}} = 247,8 \cdot 10^9$  м/кг. Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta = 35 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p = 27$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T = 1000$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}} = 990$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu = 0,475 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1500 с. Характеристика фильтровального порошка: трепел под названием «Кизельгур»; плотность твердой фазы 2230 кг/м<sup>3</sup>; концентрация суспензии 3,00% масс; масса твердой фазы, отлагающейся на фильтре при получении единицы объема фильтрата 29,38 кг/м<sup>3</sup>; перепад давлений при фильтровании 26,68 кПа; содержание жидкой фазы в отфильтрованном осадке 50,24 % масс; пористость осадка 0,73; среднее удельное сопротивление осадка  $\alpha_{\text{ср}} = 2,97 \cdot 10^9$  м/кг; сопротивление фильтрующего основания  $\beta = 0,356 \cdot 10^9$  1/м.

4.65. Определение производительности по сухому остатку барабанного безъячейкового вакуум-фильтра ББНР45-3,14 при разделении суспензии культуральной жидкости. Принять толщину образуемого намывного слоя вспомогательного фильтрующего вещества (ВФВ) диатомита на фильтре  $\delta_{\text{упл}} = 0,06$  м. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\overline{x_T} = 0,018$ ; температура  $t = 40^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\overline{w} = 0,65$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}} = 247,8 \cdot 10^9$  м/кг. Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta = 35 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p = 25$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T = 1200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}} = 990$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu = 0,475 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1500 с. Характеристика фильтровального порошка: диатомат Инзенского месторождения; плотность твердой фазы 2060 кг/м<sup>3</sup>; концентрация суспензии 3,00% масс; масса твердой

фазы, отлагающейся на фильтре при получении единицы объема фильтрата 29,10 кг/м<sup>3</sup>; перепад давлений при фильтровании 26,68 кПа; содержание жидкой фазы в отфильтрованном осадке 62,45 % масс; пористость осадка 0,75; среднее удельное сопротивление осадка  $\alpha_{\text{ср}} = 8,402 \cdot 10^9$  м/кг; сопротивление фильтрующего основания  $\beta = 2,033 \cdot 10^9$  1/м.

4.66. При разделении суспензии метатитановой кислоты на барабанном безъячейковом вакуум-фильтре ББНК1-1 в качестве вспомогательного фильтрующего вещества используется древесная мука хвойных пород. Определить ее расход, приняв толщину образуемого намывного слоя  $\delta_{\text{упл}} = 0,04$  м. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\overline{x_T} = 0,18$ ; температура  $t = 50^\circ\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\overline{w} = 0,59$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}} = 125 \cdot 10^9$  м/кг. Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta = 30 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p = 27$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T = 3000$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}} = 1265$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu = 1,787 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1600 с. Характеристика фильтровального порошка: древесная мука хвойных пород № 180, ГОСТ 16361-70; плотность твердой фазы 1500 кг/м<sup>3</sup>; концентрация суспензии 2,00% масс; масса твердой фазы, отлагающейся на фильтре при получении единицы объема фильтрата 23,51 кг/м<sup>3</sup>; перепад давлений при фильтровании 26,68 кПа; содержание жидкой фазы в отфильтрованном осадке 85,97 % масс; пористость осадка 0,991; среднее удельное сопротивление осадка  $\alpha_{\text{ср}} = 0,781 \cdot 10^9$  м/кг; сопротивление фильтрующего основания  $\beta = 1,919 \cdot 10^9$  1/м.

4.67. При разделении суспензии метатитановой кислоты на барабанном безъячейковом вакуум-фильтре ББНК3-1,75 в качестве вспомогательного фильтрующего вещества используется фильтроперлит. Определить его расход, приняв толщину образуемого намывного слоя  $\delta_{\text{упл}} = 0,05$  м. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы

$\bar{x}_T=0,12$ ; температура  $t=50^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,69$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=125 \cdot 10^9$  м/кг. Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=30 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=27$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=3000$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1265$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1,787 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1600 с. Характеристика фильтровального порошка: фильтроперлит; плотность твердой фазы 2150 кг/м<sup>3</sup>; концентрация суспензии 2,00% масс; масса твердой фазы, отлагающейся на фильтре при получении единицы объема фильтрата 23,160 кг/м<sup>3</sup>; перепад давлений при фильтровании 26,68 кПа; содержание жидкой фазы в отфильтрованном осадке 85,33 % масс; пористость осадка 0,93; среднее удельное сопротивление осадка  $\alpha_{\text{ср}}=2,636 \cdot 10^9$  м/кг; сопротивление фильтрующего основания  $\beta=1,610 \cdot 10^9$  1/м.

4.68. При разделении суспензии метатитановой кислоты на барабанном безъячейковом вакуум-фильтре ББНК10-2,6 в качестве вспомогательного фильтрующего вещества используется перлит. Определить его расход, приняв толщину образуемого намывного слоя  $\delta_{\text{упл}} = 0,06$  м. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,12$ ; температура  $t=50^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,58$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=125 \cdot 10^9$  м/кг. Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=30 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=27$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=3000$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1265$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1,787 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1600 с. Характеристика фильтровального порошка: перлит; плотность твердой фазы 2180 кг/м<sup>3</sup>; концентрация суспензии 2,37% масс; масса твердой фазы, отлагающейся на фильтре при получении единицы объема фильтрата 26,326 кг/м<sup>3</sup>; перепад давлений при фильтровании 44,03 кПа; содержание жидкой фазы в отфильтрованном осадке 76,26 % масс; пористость осадка 0,876; среднее удельное

сопротивление осадка  $\alpha_{\text{ср}}=2,676 \cdot 10^9$  м/кг; сопротивление фильтрующего основания  $\beta=3,405 \cdot 10^9$  1/м.

4.69. При разделении суспензии метатитановой кислоты на барабанном безъячейковом вакуум-фильтре ББНР45-3,14 в качестве вспомогательного фильтрующего вещества используется трепел. Определить его расход, приняв толщину образуемого намывного слоя  $\delta_{\text{упл}} = 0,07$  м. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,12$ ; температура  $t=50^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,69$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=125 \cdot 10^9$  м/кг. Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=30 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=27$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_T=3000$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1265$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1,787 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1600 с. Характеристика фильтровального порошка: трепел под названием «Кизельгур»; плотность твердой фазы 2230 кг/м<sup>3</sup>; концентрация суспензии 3,00% масс; масса твердой фазы, отлагающейся на фильтре при получении единицы объема фильтрата 29,38 кг/м<sup>3</sup>; перепад давлений при фильтровании 26,68 кПа; содержание жидкой фазы в отфильтрованном осадке 50,24 % масс; пористость осадка 0,73; среднее удельное сопротивление осадка  $\alpha_{\text{ср}}=2,97 \cdot 10^9$  м/кг; сопротивление фильтрующего основания  $\beta=0,356 \cdot 10^9$  1/м.

4.70. При разделении суспензии культуральной жидкости на барабанном безъячейковом вакуум-фильтре ББНР45-3,14 в качестве вспомогательного фильтрующего вещества используется диатомит. Определить его расход, приняв толщину образуемого намывного слоя  $\delta_{\text{упл}} = 0,07$  м. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,048$ ; температура  $t=40^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,64$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=247,8 \cdot 10^9$  м/кг. Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=35 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=30$  кПа; плотность твердой

фазы  $\rho_r=1120\text{кг/м}^3$ ; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=990\text{кг/м}^3$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,475\cdot 10^{-3}\text{Па}\cdot\text{с}$ ; продолжительность вспомогательных операций 1500 с. Характеристика фильтровального порошка: диатомит Инзенского месторождения; плотность твердой фазы  $2060\text{кг/м}^3$ ; концентрация суспензии 3,00% масс; масса твердой фазы, отлагающейся на фильтре при получении единицы объема фильтрата  $29,10\text{кг/м}^3$ ; перепад давлений при фильтровании  $26,68\text{кПа}$ ; содержание жидкой фазы в отфильтрованном осадке  $62,45\%$  масс; пористость осадка  $0,75$ ; среднее удельное сопротивление осадка  $\alpha_{ср}=8,402\cdot 10^9\text{м/кг}$ ; сопротивление фильтрующего основания  $\beta=2,033\cdot 10^9\text{1/м}$ .

4.71. Определить объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  центрифуги ОГШ-202К-03 с негерметизированным исполнением со взрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,08$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,9\cdot 10^{-3}\text{Па}\cdot\text{с}$ ; плотность твердой и жидкой фаз  $\rho_r=1300\text{кг/м}^3$  и  $\rho_{ж}=1000\text{кг/м}^3$ ; температура суспензии  $20^\circ\text{C}$ ; осадок не требует промывки; диаметр улавливаемых частиц  $d_r=4\text{мкм}$ ; суспензия не токсична; огне- и взрывобезопасна, твердая фаза не растворима. Диаметр сливного борта  $D_6=150\text{мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=360\text{мм}$ , другие технические характеристики приведены в литературе [126, с.548].

4.72. Определить объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  центрифуги ОГШ-202К-05 с негерметизированным исполнением с обогревом или охлаждением электрооборудования. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,10$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,2\cdot 10^{-3}\text{Па}\cdot\text{с}$ ; плотность твердой и жидкой фаз  $\rho_r=1200\text{кг/м}^3$  и  $\rho_{ж}=980\text{кг/м}^3$ ; температура суспензии  $40^\circ\text{C}$ ; осадок не требует промывки; диаметр улавливаемых частиц  $d_r=3\text{мкм}$ ; суспензия не токсична; огне- и взрывобезопасна, твердая фаза не растворима. Диаметр сливного борта  $D_6=140\text{мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=360\text{мм}$ , другие технические характеристики приведены в литературе [126, с.550].

4.73. Определить объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , твердой фазе  $m_r$ ,  $\text{кг/с}$  центрифуги ОГШ-321К-01 с негерметизированным исполнением для улавливания твердых частиц  $d_r=5\text{мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,15$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,8\cdot 10^{-3}\text{Па}\cdot\text{с}$ ; плотность твердой и жидкой фаз  $\rho_r=1860\text{кг/м}^3$  и  $\rho_{ж}=1100\text{кг/м}^3$ ; температура суспензии  $30^\circ\text{C}$ ; осадок не требует промывки; суспензия не токсична; огне- и взрывобезопасна, твердая фаза не растворима. Диаметр сливного борта  $D_6=230\text{мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=215\text{мм}$ , другие технические характеристики приведены в литературе [126, с.551].

4.74. Определить массовые производительности центрифуги ОГШ-352К-03 в негерметизированном исполнении со взрывозащищенным электрооборудованием по суспензии  $m_c$ ,  $\text{кг/с}$  и фильтрату  $m_f$ ,  $\text{кг/с}$  для улавливания твердых частиц  $d_r=6\text{мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,12$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,32\cdot 10^{-3}\text{Па}\cdot\text{с}$ ; плотность твердой и жидкой фаз  $\rho_r=1720\text{кг/м}^3$  и  $\rho_{ж}=1200\text{кг/м}^3$ ; температура суспензии  $25^\circ\text{C}$ ; осадок не требует промывки; суспензия не токсична; огне- и взрывобезопасна, твердая фаза не растворима. Диаметр сливного борта  $D_6=260\text{мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=375\text{мм}$ , другие технические характеристики приведены в литературе [126, с.553].

4.75. Определить объемную производительность центрифуги ОГШ-502К-04 по суспензии  $L_{V_c}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  для улавливания твердых частиц  $d_r=8\text{мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,16$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,18\cdot 10^{-3}\text{Па}\cdot\text{с}$ ; плотность твердой и жидкой фаз  $\rho_r=1580\text{кг/м}^3$  и  $\rho_{ж}=1120\text{кг/м}^3$ ; температура суспензии  $24^\circ\text{C}$ ; осадок не требует промывки; суспензия не токсична; огне- и взрывобезопасна, твердая фаза не растворима. Диаметр сливного борта  $D_6=380\text{мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=450\text{мм}$ , другие технические характеристики приведены в литературе [126, с.557].

4.76. Определить объемные производительности по суспензии  $L_{V_c}$ ,  $m^3/c$  и осадку  $L_{V_{oc}}$ ,  $m^3/c$ , центрифуги ОГШ-631К-02 для улавливания твердых частиц  $d_t=10$  мкм. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,18$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,46 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотность твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1620$  кг/ $m^3$  и  $\rho_ж=1180$  кг/ $m^3$ ; температура суспензии  $28^0C$ ; осадок не требует промывки; суспензия не токсична; огне- и взрывобезопасна, твердая фаза не растворима. Диаметр сливного борта  $D_6=450$  мм, длина зоны осаждения  $\ell=1500$  мм, другие технические характеристики приведены в литературе [126, с.561].

4.77. Определить массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с центрифуги ОГШ-207К-04 для разделения огнеопасных суспензий с размерами улавливаемых частиц  $d_t=4$  мкм. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,06$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,1 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотность твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1850$  кг/ $m^3$  и  $\rho_ж=1250$  кг/ $m^3$ ; температура суспензии  $35^0C$ ; осадок не требует промывки; суспензия не токсична; но огне- и взрывоопасна, твердая фаза не растворима. Диаметр сливного борта  $D_6=150$  мм, длина зоны осаждения  $\ell=360$  мм, другие технические характеристики приведены в литературе [126, с.549].

4.78. Определить объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ ,  $m^3/c$  центрифуги ОГШ-352К-01 с негерметизированным исполнением со взрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,08$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,16 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотность твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1320$  кг/ $m^3$  и  $\rho_ж=1080$  кг/ $m^3$ ; температура суспензии  $36^0C$ ; осадок не требует промывки; диаметр улавливаемых частиц  $d_t=5$  мкм; суспензия не токсична; огне- и взрывобезопасна, твердая фаза не растворима. Диаметр сливного борта  $D_6=260$  мм, длина зоны осаждения  $\ell=375$  мм, другие технические характеристики приведены в литературе [126, с.352].

4.79. Определить массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с и фильтрату (фугату)  $m_f$ , кг/с центрифуги ОГШ-501К-06 для разделения суспензий с абразивной неволокнистой твердой фазой с размерами улавливаемых твердых частиц  $d_t=6$  мкм. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,12$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,24 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотность твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1640$  кг/ $m^3$  и  $\rho_ж=1220$  кг/ $m^3$ ; температура суспензии  $32^0C$ ; осадок не требует промывки; суспензия не токсична; огне- и взрывобезопасна, твердая фаза не растворима. Диаметр сливного борта  $D_6=380$  мм, длина зоны осаждения  $\ell=450$  мм, другие технические характеристики приведены в литературе [126, с.559].

4.80. Определить объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ ,  $m^3/c$  центрифуги ОГШ-631К-05 с негерметизированным исполнением со взрывозащищенным электрооборудованием для улавливания твердых частиц с размерами  $d_t=8$  мкм. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,18$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,36 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1420$  кг/ $m^3$  и  $\rho_ж=1210$  кг/ $m^3$ ; температура суспензии  $26^0C$ ; осадок не требует промывки; суспензия не токсична; огне- и взрывобезопасна, твердая фаза не растворима. Диаметр сливного борта  $D_6=450$  мм, длина зоны осаждения  $\ell=1500$  мм, другие технические характеристики приведены в литературе [126, с.561].

4.81. Определить массовые производительности по суспензии  $m_c$ , кг/с и твердой фазе  $m_T$ , кг/с центрифуги ОГШ-802К-07 с негерметизированным исполнением с обогревом или охлаждением электрооборудования. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,20$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,54 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1680$  кг/ $m^3$  и  $\rho_ж=1340$  кг/ $m^3$ ; температура суспензии  $28^0C$ ; осадок не требует промывки; диаметр улавливаемых частиц  $d_t=12$  мкм; суспензия не токсична; огне- и взрывобезопасна, твердая фаза не растворима. Диаметр сливного борта  $D_6=640$

мм, длина зоны осаждения  $\ell=650$  мм, другие технические характеристики приведены в литературе [126, с. 562].

4.82. Определить массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с центрифуги ОГШ-1001К-01 по очистке промышленных сточных вод. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_T=0,28$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=2,04 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотность твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1780$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{ж}=1280$  кг/м<sup>3</sup>; температура суспензии 25<sup>0</sup>С; осадок не требует промывки; диаметр улавливаемых частиц  $d_T=30$  мкм; суспензия не токсична; огне- и взрывобезопасна, твердая фаза не растворима. Диаметр сливного борта  $D_6=820$  мм, длина зоны осаждения  $\ell=1400$  мм, другие технические характеристики приведены в литературе [126, с.563].

4.83. Определить объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ , м<sup>3</sup>/с центрифуги ФГШ-401К-02 с невзрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_T=0,32$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,2 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1300$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{ж}=1050$  кг/м<sup>3</sup>; температура суспензии 20<sup>0</sup>С; диаметр улавливаемых частиц  $d_T \geq 150$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,2 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=8,2 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=998$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Технические характеристики центрифуги: наибольший внутренний диаметр  $D_m=400$  мм; наибольший фактор разделения  $K_p=1500$ ; ширина щели сита  $0,15 \pm 0,02$  мм; наибольшая частота вращения ротора  $n=2575$  об/мин.

4.84. Определить массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с негерметизированной центрифуги ФГШ-401К-04 с невзрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_T=0,28$ ; вязкость жидкой фазы

$\mu_{жс}=1,4 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1420$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{ж}=1080$  кг/м<sup>3</sup>; температура суспензии 20<sup>0</sup>С; диаметр улавливаемых частиц  $d_T \geq 120$  мкм; удельный объемное сопротивление осадка  $r_0=1,6 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=8,6 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,1 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Технические характеристики центрифуги: наибольший внутренний диаметр  $D_m=400$  мм; наибольший фактор разделения  $K_p=1500$ ; ширина щели сита  $0,06 \pm 0,03$  мм; наибольшая частота вращения ротора  $n=2575$  об/мин.

4.85. Определить массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с и осадку  $m_{ос}$ , кг/с фильтрующей горизонтальной центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка ½ФГП-401К-05 с невзрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_T=0,38$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,6 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1640$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{ж}=1180$  кг/м<sup>3</sup>; температура суспензии 25<sup>0</sup>С; диаметр улавливаемых частиц  $d_T \geq 150$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,3 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=8,0 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,3 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Технические характеристики центрифуги: количество каскадов 2; внутренние диаметры первого и второго каскадов  $D_1=400$  мм и  $D_2=471$  мм; наибольшая частота вращения  $n=1600$  об/мин; наибольший фактор разделения второго каскада  $K_{p2}=665$ ; ширина щели сита 0,16 мм; наибольшее число двойных ходов толкателя в минуту 45.

4.86. Определить объемную и массовую производительность по суспензии  $L_{V_c}$ , м<sup>3</sup>/с,  $m_c$ , кг/с фильтрующей горизонтальной центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка ½ ФГП-631К-01 с невзрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массо-

вая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,42$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,45 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1820$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{ж}=1220$  кг/м<sup>3</sup>; температура суспензии 30<sup>0</sup>С; диаметр улавливаемых частиц  $d_T \geq 180$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,24 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=7,8 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,5 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=998$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,99 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Технические характеристики центрифуги: количество каскадов 2; внутренние диаметры первого и второго каскадов  $D_1=630$  мм и  $D_2=709$  мм; наибольшая частота вращения  $n=1300$  об/мин; наибольший фактор разделения второго каскада  $K_{p2}=675$ ; ширина щели сита 0,25 мм; наибольшее число двойных ходов толкателя в минуту 45.

4.87. Определить массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей горизонтальной центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка ½ФГП-809К-05 с невзрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии (в виде волокнистых легковоспламеняющихся материалов)  $\overline{x_T}=0,48$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,56 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1680$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{ж}=1140$  кг/м<sup>3</sup>; температура суспензии 25<sup>0</sup>С; диаметр улавливаемых частиц  $d_T \geq 220$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,12 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=6,6 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,4 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=998$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,986 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Технические характеристики центрифуги: количество каскадов 2; внутренние диаметры первого и второго каскадов  $D_1=800$  мм и  $D_2=887$  мм; наибольшая частота вращения  $n=1200$  об/мин; наибольший фактор разделения второго каскада  $K_{p2}=713$ ; ширина щели сита 0,25 мм; наибольшее число двойных ходов толкателя в минуту 45.

4.88. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ , м<sup>3</sup>/с фильтрующей горизонтальной центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка ½ФГП-1201Т-01 с невзрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,42$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,66 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1540$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{ж}=1080$  кг/м<sup>3</sup>; температура суспензии 25<sup>0</sup>С; диаметр улавливаемых частиц  $d_T \geq 250$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,18 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=6,2 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж} 1,2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=998$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,992 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Технические характеристики центрифуги: количество каскадов 2; внутренний диаметры первого и второго каскадов  $D_1=1200$  мм и  $D_2=1300$  мм; наибольшая частота вращения  $n=750$  об/мин; наибольший фактор разделения второго каскада  $K_{p2}=410$ ; ширина щели сита 0,25 мм; наибольшее число двойных ходов толкателя в минуту 30.

4.89. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ , м<sup>3</sup>/с фильтрующей центрифуги периодического действия типа ФМБ-630 на основании данных, полученных на лабораторной центрифуге. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,16$ ; отношение объема осадка к объему загруженной суспензии  $x_1 = V_{ос} / V_c = 0,27$ ; порозность осадка  $\epsilon_{ос}=0,50$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1400$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=3,2 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=14,0 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,3 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,96 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время сушки осадка  $\tau_c=60$  с; время, затрачиваемое на вспомогательные операции  $\tau_b=600$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D=600$  мм; длина барабана  $\ell_b=350$  мм; рабочая емкость аппарата  $V_b=0,045$  м<sup>3</sup>; предельная загрузка  $m_c \leq 90$  кг; максимальная частота вращения

$n_m=25 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=800$ ; площадь поверхности фильтрования  $F_\phi=0,66 \text{ м}^2$ .

4.90. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей центрифуги периодического действия типа ФМБ-633К-02 на основании данных, полученных на лабораторной центрифуге. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x}_T=0,13$ ; отношение объема осадка к объему загруженной суспензии  $x_1 = V_{oc} / V_c = 0,32$ ; порозность осадка  $\epsilon_{oc}=0,60$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,86 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1370 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{жс}=986 \text{ кг/м}^3$ ; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=16,0 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=7,4 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,90 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; время сушки осадка  $\tau_c=70 \text{ с}$ ; время, затрачиваемое на вспомогательные операции  $\tau_b=600 \text{ с}$ . Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D=630 \text{ мм}$ ; длина барабана  $\ell_B=400 \text{ мм}$ ; рабочая емкость аппарата  $V_B=0,063 \text{ м}^3$ ; предельная загрузка  $m_c \leq 80 \text{ кг}$ ; максимальная частота вращения  $n_m=23,7 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=790$ ; площадь поверхности фильтрования  $F_\phi=0,70 \text{ м}^2$ .

4.91. Вычислить среднюю производительность фильтрующей центрифуги периодического действия типа ФМБ-803К-03 на основании данных, полученных на лабораторной центрифуге. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x}_T=0,12$ ; отношение объема осадка к объему загруженной суспензии  $x_1 = V_{oc} / V_c = 0,28$ ; порозность осадка  $\epsilon_{oc}=0,60$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,92 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1520 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{жс}=998 \text{ кг/м}^3$ ; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=5,6 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=8,6 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,98 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; время сушки осадка  $\tau_c=80 \text{ с}$ ;

время, затрачиваемое на вспомогательные операции  $\tau_b=600 \text{ с}$ . Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D=800 \text{ мм}$ ; длина барабана  $\ell_B=400 \text{ мм}$ ; рабочая емкость аппарата  $V_B=0,100 \text{ м}^3$ ; предельная загрузка  $m_c \leq 125 \text{ кг}$ ; частота вращения  $n_m=1500 \text{ об/мин}$ ; фактор разделения  $K_p=1000$ ; площадь поверхности фильтрования  $F_\phi=1,0 \text{ м}^2$ .

4.92. Определить среднюю производительность фильтрующей центрифуги периодического действия типа ФМД-1253К-01 на основании данных, полученных на лабораторной центрифуге. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x}_T=0,21$ ; отношение объема осадка к объему загруженной суспензии  $x_1 = V_{oc} / V_c = 0,34$ ; порозность осадка  $\epsilon_{oc}=0,45$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,12 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1560 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{жс}=998 \text{ кг/м}^3$ ; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=5,7 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=6,2 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,90 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; время сушки осадка  $\tau_c=90 \text{ с}$ ; время, затрачиваемое на вспомогательные операции  $\tau_b=300 \text{ с}$ . Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D=1250 \text{ мм}$ ; длина барабана  $\ell_B=400 \text{ мм}$ ; рабочая емкость барабана  $V_B=0,315 \text{ м}^3$ ; предельная загрузка  $m_c \leq 400 \text{ кг}$ ; частота вращения  $n=1500 \text{ об/мин}$ ; фактор разделения  $K_p=630$ ; продолжительность рабочего цикла  $\tau_p \geq 20 \text{ мин}$ .

4.93. Определить среднюю производительность фильтрующей центрифуги периодического действия типа ФМБ-1253К-01 на основании данных, полученных на лабораторной центрифуге. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x}_T=0,15$ ; отношение объема осадка к объему загруженной суспензии  $x_1 = V_{oc} / V_c = 0,26$ ; порозность осадка  $\epsilon_{oc}=0,52$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,96 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1710 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{жс}=1000 \text{ кг/м}^3$ ; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=32 \cdot 10^{11}$

$\text{м}^2$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{\text{ФП}}=45 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{\text{пр.ж}}=1,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{\text{пр}}=0,85 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; время сушки осадка  $\tau_{\text{с}}=120 \text{ с}$ ; время, затрачиваемое на вспомогательные операции  $\tau_{\text{в}}=200 \text{ с}$ . Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D=1250 \text{ мм}$ ; длина барабана  $\ell_{\text{б}}=500 \text{ мм}$ ; рабочая емкость барабана  $V_{\text{б}}=0,315 \text{ м}^3$ ; предельная загрузка  $m_{\text{с}} \leq 400 \text{ кг}$ ; частота вращения  $n=950 \text{ об/мин}$ ; фактор разделения  $K_{\text{р}}=630$ ; продолжительность рабочего цикла  $\tau_{\text{р}} \geq 20 \text{ мин}$ .

4.94. Определить среднюю производительность фильтрующей центрифуги периодического действия типа ФМБ-803Г-03 на основании данных, полученных на лабораторной центрифуге. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_{\text{т}}=0,14$ ; отношение объема осадка к объему загруженной суспензии  $x_1 = V_{\text{ос}} / V_{\text{с}}=0,25$ ; порозность осадка  $\epsilon_{\text{ос}}=0,48$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{\text{жс}}=1,05 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_{\text{т}}=1430 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{\text{ж}}=1000 \text{ кг/м}^3$ ; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=48 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{\text{ФП}}=82 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{\text{пр.ж}}=1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{\text{пр}}=0,86 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; время сушки осадка  $\tau_{\text{с}}=210 \text{ с}$ ; время, затрачиваемое на вспомогательные операции  $\tau_{\text{в}}=600 \text{ с}$ . Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D=800 \text{ мм}$ ; длина барабана  $\ell_{\text{б}}=400 \text{ мм}$ ; рабочая емкость барабана  $V_{\text{б}}=0,100 \text{ м}^3$ ; предельная загрузка  $m_{\text{с}}=125 \text{ кг}$ ; частота вращения  $n=1300 \text{ об/мин}$ ; фактор разделения  $K_{\text{р}}=760$ ; продолжительность рабочего цикла  $\tau_{\text{р}} \geq 15 \text{ мин}$ .

4.95. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_{\text{с}}$ , кг/с центрифуги ОГШ-200 по заданной крупности разделения  $d=1 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_{\text{т}}=0,025$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{\text{жс}}=0,74 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_{\text{т}}=980 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{\text{ж}}=760 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует про-

мывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=200 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=3,0$ ; максимальная частота вращения ротора  $n_{\text{м}}=100 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_{\text{р}}=4000$ ; расчетная производительность по осадку  $m_{\text{ос}}=100 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_{\text{б}}=150 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=360 \text{ мм}$ .

4.96. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_{\text{с}}$ , кг/с центрифуги ОГШ-320 по заданной крупности разделения  $d_{\text{н}}=6 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_{\text{т}}=0,18$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{\text{жс}}=0,86 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_{\text{т}}=1700 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{\text{ж}}=990 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=320 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=1,66$ ; максимальная частота вращения ротора  $n_{\text{м}}=58,3 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_{\text{р}}=2200$ ; расчетная производительность по осадку  $m_{\text{ос}}=500 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_{\text{б}}=230 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=215 \text{ мм}$ .

4.97. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_{\text{с}}$ , кг/с центрифуги ОГШ-350 по заданной крупности разделения  $d_{\text{н}}=5 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_{\text{т}}=0,20$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{\text{жс}}=1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_{\text{т}}=1270 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{\text{ж}}=1000 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=350 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=2,86$ ; максимальная частота вращения ротора  $n_{\text{м}}=70,8 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_{\text{р}}=3540$ ; расчетная производительность по осадку  $m_{\text{ос}}=500 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_{\text{б}}=260 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=375 \text{ мм}$ .

4.98. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_{\text{с}}$ , кг/с центрифуги ОГШ-500 по заданной крупности разделения  $d_{\text{н}}=10 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_{\text{т}}=0,25$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{\text{жс}}=0,90 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_{\text{т}}=1400 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{\text{ж}}=980 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=500 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=1,8$ ; максимальная

частота вращения ротора  $n_m=44,7 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=2000$ ; расчетная производительность по осадку  $m_{oc}=2000 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_6=380 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=450 \text{ мм}$ .

4.99. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с центрифуги ОГШ-800 по заданной крупности разделения  $d_m=2 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,16$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=2340 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_ж=1100 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=800 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=2,0$ ; максимальная частота вращения ротора  $n_m=27,5 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=1220$ ; расчетная производительность по осадку  $m_{oc}=5000 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_6=640 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=650 \text{ мм}$ .

4.100. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с центрифуги ОГШ-500 по заданной крупности разделения  $d_m=8 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,30$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,85 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1390 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_ж=995 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=500 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=1,8$ ; максимальная частота вращения ротора  $n_m=44,7 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=2000$ ; расчетная производительность по осадку  $m_{oc}=2000 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_6=380 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=450 \text{ мм}$ .

4.101. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с центрифуги ОГШ-200 по заданной крупности разделения  $d_m=2 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,04$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,90 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1470 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_ж=985 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=200 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=3$ ; максимальная частота вращения ротора  $n_m=100 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=4000$ ;

расчетная производительность по осадку  $m_{oc}=100 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_6=150 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=360 \text{ мм}$ .

4.102. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с центрифуги ОГШ-630 по заданной крупности разделения  $d_m=3 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,05$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,76 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1560 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_ж=870 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=630 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=3,76$ ; максимальная частота вращения ротора  $n_m=43,3 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=2400$ ; расчетная производительность по осадку  $m_{oc}=3000 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_6=450 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=1500 \text{ мм}$ .

4.103. Вычислить массовую  $m_c$ , кг/с и объемную  $L_{V_c}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  производительности по суспензии центрифуги ОГШ-350 по заданной крупности разделения  $d_m=3 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,035$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,98 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1260 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_ж=1000 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=350 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=2,86$ ; максимальная частота вращения ротора  $n_m=70,8 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=3540$ ; расчетная производительность по осадку  $m_{oc}=500 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_6=260 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=375 \text{ мм}$ .

4.104. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  центрифуги ОГШ-800 по заданной крупности разделения  $d_m=7 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,27$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1300 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_ж=1000 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=800 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=2,0$ ; максимальная

ная частота вращения ротора  $n_m=27,5 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=1220$ ; расчетная производительность по твердой фазе (осадку)  $m_{oc}=5000 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_6=640 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=650 \text{ мм}$ .

4.105. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с центрифуги ОГШ-320 по заданной крупности разделения  $d_m=5 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,35$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,90 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1350 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{жс}=980 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=320 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=1,66$ ; максимальная частота вращения ротора  $n_m=58,3 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=2400$ ; расчетная производительность по осадку  $m_{oc}=500 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_6=230 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=215 \text{ мм}$ .

4.106. Вычислить массовую  $m_c$ , кг/с и объемную  $L_{V_c}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  производительности по суспензии центрифуги ОГШ-350 по заданной крупности разделения  $d_m=6 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,23$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,82 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1160 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{жс}=890 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=350 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=1,8$ ; максимальная частота вращения ротора  $n_m=66,6 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=3140$ ; расчетная производительность по осадку  $m_{oc}=1000 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_6=260 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=375 \text{ мм}$ .

4.107. Рассчитать объемную производительности по суспензии  $L_{V_c}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  центрифуги ОГШ-500 по заданной крупности разделения  $d_m=10 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,30$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,95 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности

твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1050 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{жс}=980 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=500 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=1,80$ ; максимальная частота вращения ротора  $n_m=44,7 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=2000$ ; расчетная производительность по твердой фазе осадку  $m_{oc}=2000 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_6=360 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=450 \text{ мм}$ .

4.108. Вычислить массовую  $m_c$ , кг/с производительность по суспензии центрифуги ОГШ-800 по заданной крупности разделения  $d_m=5 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,20$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1710 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{жс}=1000 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=800 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=2,0$ ; максимальная частота вращения ротора  $n_m=27,5 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=1220$ ; расчетная производительность по осадку  $m_{oc}=5000 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_6=640 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=650 \text{ мм}$ .

4.109. Вычислить объемную  $L_{V_c}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  производительность по суспензии центрифуги типа ОГШ-350 по заданной крупности разделения  $d_m=2 \text{ мкм}$ . Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,03$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1210 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{жс}=980 \text{ кг/м}^3$ ; осадок не требует промывки. Техническая характеристика центрифуги: диаметр барабана  $D=350 \text{ мм}$ ; относительная длина барабана  $L/D=2,86$ ; максимальная частота вращения ротора  $n_m=70,8 \text{ с}^{-1}$ ; фактор разделения  $K_p=3540$ ; расчетная производительность по осадку  $m_{oc}=500 \text{ кг/ч}$ ; диаметр сливного борта  $D_6=260 \text{ мм}$ , длина зоны осаждения  $\ell=375 \text{ мм}$ .

4.110. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей горизонтальной центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка  $\frac{1}{2}$  ФГП-1451К-01 с невзрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,36$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,54 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; плот-

ности твердой и жидкой фаз  $\rho_t=1840 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{ж}=1160 \text{ кг/м}^3$ ; температура суспензии  $20^\circ\text{C}$ ; диаметр улавливаемых частиц  $d_t \geq 250 \text{ мкм}$ ; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,46 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=5,4 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=1000 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=1,0 \cdot 10^{-3}$

Па·с. Технические характеристики центрифуги: количество каскадов 2; внутренние диаметры первого и второго каскадов  $D_1=1450 \text{ мм}$  и  $D_2=1600 \text{ мм}$ ; наибольшая частота вращения  $n=650 \text{ об/мин}$ ; наибольший фактор разделения второго каскада  $K_{p2}=377$ ; ширина щели сита  $0,25 \text{ мм}$ ; число двойных ходов первого каскада в минуту  $\leq 50$ .

4.111. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей горизонтальной центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка  $\frac{1}{2}$ ФГП-401К-04 с невзрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_t=0,28$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{ж}=1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_t=1620 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{ж}=1080 \text{ кг/м}^3$ ; температура суспензии  $25^\circ\text{C}$ ; диаметр улавливаемых частиц  $d_t \geq 250 \text{ мкм}$ ; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,60 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=4,6 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=998 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ . Технические характеристики центрифуги: количество каскадов 2; внутренние диаметры первого и второго каскадов  $D_1=400 \text{ мм}$  и  $D_2=471 \text{ мм}$ ; наибольшая частота вращения  $n=1600 \text{ об/мин}$ ; наибольший фактор разделения второго каскада  $K_{p2}=665$ ; ширина щели сита  $0,16 \text{ мм}$ ; число двойных ходов первого каскада в минуту  $\leq 45$ .

4.112. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей горизонтальной центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка  $\frac{1}{2}$ ФГП-401Т-06 с невзрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_t=0,32$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{ж}=1,18 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; плот-

ности твердой и жидкой фаз  $\rho_t=1680 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{ж}=1210 \text{ кг/м}^3$ ; температура суспензии  $25^\circ\text{C}$ ; диаметр улавливаемых частиц  $d_t \geq 200 \text{ мкм}$ ; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=3,2 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=2,8 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=1000 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=1,05 \cdot 10^{-3}$

Па·с. Технические характеристики центрифуги: количество каскадов 2; внутренние диаметры первого и второго каскадов  $D_1=400 \text{ мм}$  и  $D_2=471 \text{ мм}$ ; наибольшая частота вращения  $n=1600 \text{ об/мин}$ ; наибольший фактор разделения второго каскада  $K_{p2}=665$ ; ширина щели сита  $0,16 \text{ мм}$ ; число двойных ходов первого каскада в минуту  $\leq 45$ .

4.113. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей горизонтальной центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка  $\frac{1}{2}$ ФГП-631К-02 с невзрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_t=0,42$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{ж}=2,18 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_t=2120 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{ж}=1540 \text{ кг/м}^3$ ; температура суспензии  $28^\circ\text{C}$ ; диаметр улавливаемых частиц  $d_t \geq 250 \text{ мкм}$ ; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=2,4 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=5,2 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,35 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=1040 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=1,16 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Технические характеристики центрифуги: количество каскадов 2; внутренние диаметры первого и второго каскадов  $D_1=630 \text{ мм}$  и  $D_2=709 \text{ мм}$ ; наибольшая частота вращения  $n=1300 \text{ об/мин}$ ; наибольший фактор разделения второго каскада  $K_{p2}=675$ ; ширина щели сита  $0,25 \text{ мм}$ ; число двойных ходов первого каскада в минуту  $\leq 45$ .

4.114. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей горизонтальной центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка  $\frac{1}{2}$ ФГП-801К-06 с невзрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_t=0,44$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{ж}=2,18 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; плот-

ности твердой и жидкой фаз  $\rho_t=1520 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{ж}=1180 \text{ кг/м}^3$ ; температура суспензии  $25^0\text{C}$ ; диаметр улавливаемых частиц  $d_t \geq 250 \text{ мкм}$ ; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=3,6 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=1,2 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=999 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=1,16 \cdot 10^{-3}$

Па·с. Технические характеристики центрифуги: количество каскадов 2; внутренние диаметры первого и второго каскадов  $D_1=800 \text{ мм}$  и  $D_2=887 \text{ мм}$ ; наибольшая частота вращения  $n=1200 \text{ об/мин}$ ; наибольший фактор разделения второго каскада  $K_{p2}=713$ ; ширина щели сита  $0,25 \text{ мм}$ ; число двойных ходов первого каскада в минуту  $\leq 45$ .

4.115. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей горизонтальной центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка  $\frac{1}{2}$ ФГП-1201К-03 с невзрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_t=0,40$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,68 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_t=1740 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{ж}=1220 \text{ кг/м}^3$ ; температура суспензии  $30^0\text{C}$ ; диаметр улавливаемых частиц  $d_t \geq 250 \text{ мкм}$ ; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=4,6 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=2,8 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=1010 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=1,15 \cdot 10^{-3}$

$\text{Па·с}$ . Технические характеристики центрифуги: количество каскадов 2; внутренние диаметры первого и второго каскадов  $D_1=1200 \text{ мм}$  и  $D_2=1300 \text{ мм}$ ; наибольшая частота вращения  $n=750 \text{ об/мин}$ ; наибольший фактор разделения второго каскада  $K_{p2}=410$ ; ширина щели сита  $0,25 \text{ мм}$ ; число двойных ходов первого каскада в минуту  $\leq 30$ .

4.116. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей горизонтальной центрифуги с пульсирующей выгрузкой осадка  $\frac{1}{2}$ ФГП-1201К-04 с невзрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_t=0,38$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,52 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; плот-

ности твердой и жидкой фаз  $\rho_t=1620 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{ж}=1380 \text{ кг/м}^3$ ; температура суспензии  $25^0\text{C}$ ; диаметр улавливаемых частиц  $d_t \geq 300 \text{ мкм}$ ; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=6,8 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=3,2 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=1040 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=1,05 \cdot 10^{-3}$

$\text{Па·с}$ . Технические характеристики центрифуги: количество каскадов 2; внутренние диаметры первого и второго каскадов  $D_1=1200 \text{ мм}$  и  $D_2=1300 \text{ мм}$ ; наибольшая частота вращения  $n=750 \text{ об/мин}$ ; наибольший фактор разделения второго каскада  $K_{p2}=410$ ; ширина щели сита  $0,25 \text{ мм}$ ; число двойных ходов первого каскада в минуту  $\leq 30$ .

4.117. Рассчитать массовую производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей центрифуги периодического действия типа ФМБ-633К-02 на основании данных, полученных на лабораторной центрифуге. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_t=0,17$ ; отношение объема осадка к объему загруженной суспензии  $x_1 = V_{ос} / V_c = 0,31$ ; порозность осадка  $\epsilon_{ос}=0,54$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_t=1620 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{ж}=1010 \text{ кг/м}^3$ ; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=12,0 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=19 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,95 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$ ; время сушки осадка  $\tau_c=120 \text{ с}$ ; время, затрачиваемое на вспомогательные операции  $\tau_b=600 \text{ с}$ . Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D=630 \text{ мм}$ ; длина барабана  $\ell_b=400 \text{ мм}$ ; рабочая емкость аппарата  $V_b=0,063 \text{ м}^3$ ; предельная загрузка  $m_c=80 \text{ кг}$ ; максимальная частота вращения  $n_m=1900 \text{ об/мин}$ ; наибольший фактор разделения  $K_{pm}=1250$ ; продолжительность рабочего цикла  $\tau_p \geq 15 \text{ мин}$ .

4.118. Определить среднюю производительность фильтрующей центрифуги периодического действия типа ФМД-1253К-01 на основании данных, полученных на лабораторной центрифуге. Исходные данные

к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_T=0,12$ ; отношение объема осадка к объему загруженной суспензии  $x_1 = V_{oc} / V_c = 0,28$ ; порозность осадка  $\epsilon_{oc}=0,56$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,87 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1340$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{ж}=995$  кг/м<sup>3</sup>; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=10,6 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=11,6 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,87 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время сушки осадка  $\tau_c=90$  с; время, затрачиваемое на вспомогательные операции  $\tau_b=300$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D=1250$  мм; длина барабана  $\ell_B=500$  мм; рабочая емкость аппарата  $V_B=0,315$  м<sup>3</sup>; предельная загрузка  $m_c=400$  кг; максимальная частота вращения  $n_m=950$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{рм}=630$ ; продолжительность рабочего цикла  $\tau_p \geq 20$  мин.

4.119. Рассчитать среднюю производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей центрифуги периодического действия типа ФМД-802Г-04 на основании данных, полученных на лабораторной центрифуге. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_T=0,19$ ; отношение объема осадка к объему загруженной суспензии  $x_1 = V_{oc} / V_c = 0,48$ ; порозность осадка  $\epsilon_{oc}=0,56$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,97 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1650$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=9,4 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=13,5 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,4 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время сушки осадка  $\tau_c=150$  с; время, затрачиваемое на вспомогательные операции  $\tau_b=300$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D=800$  мм; длина барабана  $\ell_B=400$  мм; рабочая емкость аппарата  $V_B=0,100$  м<sup>3</sup>; предельная загрузка  $m_c=100$  кг; максимальная частота вращения  $n_m=1250$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{рм}=700$ ; продолжительность рабочего цикла  $\tau_p \geq 15$  мин.

4.120. Рассчитать среднюю производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей центрифуги периодического действия типа ФМД-1253К-01 на основании данных, полученных на лабораторной центрифуге. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_T=0,18$ ; отношение объема осадка к объему загруженной суспензии  $x_1 = V_{oc} / V_c = 0,68$ ; порозность осадка  $\epsilon_{oc}=0,71$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,04 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1270$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,8 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=5,3 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,35 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,89 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время сушки осадка  $\tau_c=60$  с; время, затрачиваемое на вспомогательные операции  $\tau_b=200$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D=1250$  мм; длина барабана  $\ell_B=500$  мм; рабочая емкость аппарата  $V_B=0,315$  м<sup>3</sup>; предельная загрузка  $m_c=400$  кг; частота вращения  $n=950$  об/мин; фактор разделения  $K_{рм}=630$ ; продолжительность рабочего цикла  $\tau_p \geq 20$  мин.

4.121. Вычислить среднюю производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей центрифуги периодического действия типа ФМБ-1601К-01 на основании данных, полученных на лабораторной центрифуге. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_T=0,16$ ; отношение объема осадка к объему загруженной суспензии  $x_1 = V_{oc} / V_c = 0,45$ ; порозность осадка  $\epsilon_{oc}=0,64$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,12 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1320$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{ж}=1090$  кг/м<sup>3</sup>; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=32 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=34 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,25 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=1,02 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время сушки осадка  $\tau_c=210$  с; время, затрачиваемое на вспомогательные операции  $\tau_b=600$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний

диаметр  $D=1600$  мм; длина барабана  $\ell_b=500$  мм; рабочая емкость аппарата  $V_b=0,500$  м<sup>3</sup>; предельная загрузка  $m_c=630$  кг; максимальная частота вращения  $n_m=750$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{pm}=500$ ; продолжительность рабочего цикла  $\tau_p \geq 20$  мин.

4.122. Вычислить среднюю производительность по суспензии  $m_c$ , кг/с фильтрующей центрифуги периодического действия типа ФМБ-1601К-01 на основании данных, полученных на лабораторной центрифуге. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x}_T=0,20$ ; отношение объема осадка к объему загруженной суспензии  $x_1 = V_{oc} / V_c = 0,54$ ; порозность осадка  $\epsilon_{oc}=0,70$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,08 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1440$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_ж=1180$  кг/м<sup>3</sup>; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=26,6 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{фп}=26,2 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,45 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup>/кг; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=1,08 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время сушки осадка  $\tau_c=220$  с; время, затрачиваемое на вспомогательные операции  $\tau_b=600$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D=1600$  мм; длина барабана  $\ell_b=500$  мм; рабочая емкость аппарата  $V_b=0,500$  м<sup>3</sup>; предельная загрузка  $m_c=630$  кг; максимальная частота вращения  $n_m=750$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{pm}=500$ ; продолжительность рабочего цикла  $\tau_p \geq 20$  мин.

4.123. Определить производительность по суспензии центрифуги ОГШ-202К-03 в негерметизированном исполнении со взрывозащищенным электрооборудованием. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x}_T=0,04$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,9 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1300$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_ж=1000$  кг/м<sup>3</sup>; температура суспензии 20<sup>0</sup>С; осадок не требует промывки; диаметр улавливаемых частиц  $d_T=10$  мкм; суспензия не токсична; огне- и взрывобезопасна, твердая фаза не растворима. Диаметр сливного борта  $D_6=150$  мм, длина зоны осаждения  $\ell=360$  мм, другие технические характеристики приведены в литературе [126, с.548].

4.124. Выбрать центрифугу и рассчитать их количество для разделения суспензии объемной производительностью по суспензии  $L_{V_c}=10$  м<sup>3</sup>/ч для следующих исходных данных: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x}_T=0,08$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,9 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1300$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_ж=1000$  кг/м<sup>3</sup>; температура суспензии 20<sup>0</sup>С; осадок не требует промывки; диаметр улавливаемых частиц  $d_T=4$  мкм; суспензия не токсична; огне- и взрывобезопасна, твердая фаза не растворима.

4.125. Выбрать центрифугу и рассчитать ее производительность по исходным данным: производительность по суспензии  $m_c=4500$  кг/час; по сухому осадку  $m_{oc}=700$  кг/час; массовая доля твердой фазы  $\overline{x}_T=0,16$ ; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1860$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_ж=1180$  кг/м<sup>3</sup>; основной продукт – твердая фаза, размеры частиц  $d_T=10 \div 100$  мкм. Твердая фаза растворимая, слабообразивная. Среда нейтральная. Температура суспензии 30<sup>0</sup>С. Осадок рыхлый, требуется хорошая промывка в центрифуге, допускается его измельчение. Влажность осадка  $\overline{W} \leq 0,15$ . Суспензия нетоксична, огне- и взрывобезопасна; длительность работы центрифуги в течении суток – 24 ч.

4.126. Выбрать центрифугу и рассчитать ее производительность при разделении суспензии по исходным данным: основной продукт – твердая фаза, фугат подается на очистку, объемная производительность  $L_{V_c}=3,0$  м<sup>3</sup>/ч; по твердому осадку  $m_{oc}=600$  кг/час; массовая доля твердой фазы  $\overline{x}_T=0,25$ ; объемная доля твердой фазы  $\overline{x}_{гт}=0,20$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,90 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотность твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1390$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_ж=1000$  кг/м<sup>3</sup>. Гранулометрический состав твердой фазы: 200 мкм - 5%; от 100 до 200 мкм - 80%; от 40 до 100 - 9%; 40 мкм – 6%; Температура суспензии 30<sup>0</sup>С. Осадок не требует промывки, влажность осадка минимальная. Крупность разделения  $\delta_k=10$  мкм. Осадок рыхлый, измельчение твердой фазы ограничено. Суспензия нетоксична, огне- и взрывобезопасна; длительность работы центрифуги в течении суток – 24 ч.

4.127. Определить объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  герметизированной центрифуги ФГН-633К-01 со взрывозащищенным электрооборудованием, работающим под избыточным давлением инертного газа. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,12$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=0,96 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1760 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_ж=1120 \text{ кг/м}^3$ ; температура суспензии  $25^\circ\text{C}$ ; диаметр улавливаемых частиц  $d_T \geq 30$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,8 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=7,8 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=998 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,96 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D_B=630$  мм; длина барабана  $\ell_B=300$  мм; рабочий объем  $V_p=0,040 \text{ м}^3$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_c=50$  кг; наибольшая частота вращения  $n_m=2390$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{pm}=2000$ ; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_g=60 \div 120$  с; время фильтрации  $\tau_\phi=180$  с; время промывки  $\tau_{пр}=120$  с; время сушки  $\tau_c=90$  с.

4.128. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  герметизированной центрифуги ФГН-903К-01 для разделения взрывоопасных суспензий с мелкозернистой твердой фазой. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,18$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,06 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1680 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_ж=1080 \text{ кг/м}^3$ ; размеры твердых частиц  $d_T=40$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=6,8 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=1000 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_g=120$  с; время фильтрации  $\tau_\phi=210$  с; время промывки  $\tau_{пр}=120$  с;

время сушки  $\tau_c=120$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D_B=900$  мм; длина барабана  $\ell_B=400$  мм; рабочий объем  $V_p=0,130 \text{ м}^3$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_c=150$  кг; наибольшая частота вращения  $n_m=1700$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{pm}=1450$ .

4.129. Определить объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  герметизированной центрифуги ФГН-1253Т-01 для разделения взрывоопасных суспензий с мелкозернистой твердой фазой. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,16$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,02 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1560 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_ж=1020 \text{ кг/м}^3$ ; размеры твердых частиц  $d_T=35$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,96 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=7,2 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=988 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=1,02 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_g=140$  с; время фильтрации  $\tau_\phi=240$  с; время промывки  $\tau_{пр}=140$  с; время сушки  $\tau_c=150$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D_B=1250$  мм; длина барабана  $\ell_B=600$  мм; рабочий объем  $V_p=0,315 \text{ м}^3$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_c=400$  кг; наибольшая частота вращения  $n_m=1000$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{pm}=710$ .

4.130. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  герметизированной центрифуги ФГН-2001К-01 для разделения хорошо фильтрующихся суспензий со средне- и мелкозернистой твердой фазой. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x_T}=0,18$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,06 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1480 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_ж=1060 \text{ кг/м}^3$ ; размеры твердых частиц  $d_T=40$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,66 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-2}$ ; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=6,4 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ ; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,4 \cdot 10^{-3}$

м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{\text{пр}}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{\text{пр}}=0,986 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_{\text{в}}=180$  с; время фильтрации  $\tau_{\text{ф}}=300$  с; время промывки  $\tau_{\text{пр}}=180$  с; время сушки  $\tau_{\text{с}}=210$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D_{\text{в}}=2000$  мм; длина барабана  $\ell_{\text{б}}=910$  мм; рабочий объем  $V_{\text{р}}=1,250$  м<sup>3</sup>; наибольшая частота вращения  $n_{\text{м}}=725$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{\text{рм}}=600$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_{\text{с}}=1500$  кг.

4.131. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{\text{V}_c}$ , м<sup>3</sup>/с герметизированной центрифуги ФГН-633К-02 для разделения взрывоопасных суспензий с мелкозернистой твердой фазой. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_{\text{т}}=0,12$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{\text{жс}}=0,90 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_{\text{т}}=1640$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{\text{ж}}=1040$  кг/м<sup>3</sup>; размеры твердых частиц  $d_{\text{т}}=30$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,2 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{\text{ФП}}=5,6 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{\text{пр.ж}}=1,05 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{\text{пр}}=998$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{\text{пр}}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_{\text{в}}=120$  с; время фильтрации  $\tau_{\text{ф}}=210$  с; время промывки  $\tau_{\text{пр}}=120$  с; время сушки  $\tau_{\text{с}}=120$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D_{\text{в}}=630$  мм; длина барабана  $\ell_{\text{б}}=300$  мм; рабочий объем  $V_{\text{р}}=0,040$  м<sup>3</sup>; наибольшая частота вращения  $n_{\text{м}}=2390$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{\text{рм}}=2000$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_{\text{с}}=50$  кг.

4.132. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{\text{V}_c}$ , м<sup>3</sup>/с герметизированной центрифуги ФГН-631Т-03 для разделения взрывоопасных суспензий с мелкозернистой твердой фазой. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_{\text{т}}=0,18$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{\text{жс}}=1,06 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жид-

кой фаз  $\rho_{\text{т}}=1680$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{\text{ж}}=1080$  кг/м<sup>3</sup>; размеры твердых частиц  $d_{\text{т}}=40$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,5 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{\text{ФП}}=6,8 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{\text{пр.ж}}=1,45 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{\text{пр}}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{\text{пр}}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_{\text{в}}=140$  с; время фильтрации  $\tau_{\text{ф}}=210$  с; время промывки  $\tau_{\text{пр}}=120$  с; время сушки  $\tau_{\text{с}}=120$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренние диаметры первого и второго каскадов  $D_{\text{в}}=630$  мм; длина барабана  $\ell_{\text{б}}=300$  мм; рабочий объем  $V_{\text{р}}=0,040$  м<sup>3</sup>; наибольшая частота вращения  $n_{\text{м}}=2390$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{\text{рм}}=2000$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_{\text{с}}=50$  кг.

4.133. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{\text{V}_c}$ , м<sup>3</sup>/с герметизированной центрифуги ФГН-903К-02 для разделения взрывоопасных суспензий с мелкозернистой твердой фазой. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_{\text{т}}=0,20$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{\text{жс}}=1,06 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_{\text{т}}=1710$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{\text{ж}}=1080$  кг/м<sup>3</sup>; размеры твердых частиц  $d_{\text{т}}=40$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,85 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{\text{ФП}}=7,4 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{\text{пр.ж}}=1,6 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{\text{пр}}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{\text{пр}}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_{\text{в}}=160$  с; время фильтрации  $\tau_{\text{ф}}=220$  с; время промывки  $\tau_{\text{пр}}=120$  с; время сушки  $\tau_{\text{с}}=120$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D_{\text{в}}=900$  мм; длина барабана  $\ell_{\text{б}}=400$  мм; рабочий объем  $V_{\text{р}}=0,130$  м<sup>3</sup>; наибольшая частота вращения  $n_{\text{м}}=1500$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{\text{рм}}=1130$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_{\text{с}}=170$  кг.

4.134. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{\text{V}_c}$ , м<sup>3</sup>/с герметизированной центрифуги ФГН-902Т-01 для разделения вы-

сокоаг्रेसивных суспензий со средней- и мелкозернистой твердой фазой. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x}_T=0,18$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,06 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1820$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_ж=1120$  кг/м<sup>3</sup>; размеры твердых частиц  $d_i=35$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=2,5 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=8,6 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,45 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=998$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_v=180$  с; время фильтрации  $\tau_{ф}=210$  с; время промывки  $\tau_{пр}=130$  с; время сушки  $\tau_c=140$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D_b=900$  мм; длина барабана  $\ell_b=400$  мм; рабочий объем  $V_p=0,130$  м<sup>3</sup>; наибольшая частота вращения  $n_m=1500$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{рm}=1130$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_c=150$  кг.

4.135. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ , м<sup>3</sup>/с герметизированной центрифуги ОГН-903К-01 для разделения взрывоопасных суспензий с мелкозернистой твердой фазой. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x}_T=0,24$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,06 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1550$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_ж=1090$  кг/м<sup>3</sup>; размеры твердых частиц  $d_i=40$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,95 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=7,7 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,35 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_v=125$  с; время фильтрации  $\tau_{ф}=240$  с; время промывки  $\tau_{пр}=140$  с; время сушки  $\tau_c=120$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D_b=900$  мм; длина барабана  $\ell_b=400$  мм; рабочий объем  $V_p=0,130$  м<sup>3</sup>; наибольшая частота вращения  $n_m=1700$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{рm}=1450$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_c=150$  кг.

4.136. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ , м<sup>3</sup>/с герметизированной центрифуги ОГН-903Т-02 для разделения взрывоопасных суспензий с мелкозернистой твердой фазой. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x}_T=0,15$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,18 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1420$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_ж=1080$  кг/м<sup>3</sup>; размеры твердых частиц  $d_i=35$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=2,2 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=8,4 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,25 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_v=130$  с; время фильтрации  $\tau_{ф}=220$  с; время промывки  $\tau_{пр}=130$  с; время сушки  $\tau_c=140$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D_b=900$  мм; длина барабана  $\ell_b=400$  мм; рабочий объем  $V_p=0,130$  м<sup>3</sup>; наибольшая частота вращения  $n_m=1700$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{рm}=1450$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_c=150$  кг.

4.137. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ , м<sup>3</sup>/с герметизированной центрифуги ФГН-1253К-01 для разделения взрывоопасных суспензий с мелкозернистой твердой фазой. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\overline{x}_T=0,18$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,16 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1580$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_ж=1120$  кг/м<sup>3</sup>; размеры твердых частиц  $d_i=40$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=2,25 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=6,5 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,5 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=998$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=1,05 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_v=135$  с; время фильтрации  $\tau_{ф}=225$  с; время промывки  $\tau_{пр}=140$  с; время сушки  $\tau_c=145$  с. Технические характеристики центрифуги: внут-

ренний диаметр  $D_b=1250$  мм; длина барабана  $\ell_b=400$  мм; рабочий объем  $V_p=0,315$  м<sup>3</sup>; наибольшая частота вращения  $n_m=1000$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{pm}=710$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_c=400$  кг.

4.138. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ , м<sup>3</sup>/с герметизированной центрифуги ФГН-1253К-02 для разделения взрывоопасных суспензий мелкозернистой твердой фазой. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_T=0,24$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,26 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1720$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{жс}=1280$  кг/м<sup>3</sup>; размеры твердых частиц  $d_p=50$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=3,5 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=7,5 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,6 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_b=150$  с; время фильтрации  $\tau_{ф}=250$  с; время промывки  $\tau_{пр}=180$  с; время сушки  $\tau_c=140$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D_b=1250$  мм; длина барабана  $\ell_b=400$  мм; рабочий объем  $V_p=0,315$  м<sup>3</sup>; наибольшая частота вращения  $n_m=1000$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{pm}=710$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_c=400$  кг.

4.139. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ , м<sup>3</sup>/с герметизированной центрифуги ФГН-2001К-02 для разделения взрывоопасных суспензий с мелкозернистой твердой фазой. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_T=0,18$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,06 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1720$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{жс}=1240$  кг/м<sup>3</sup>; размеры твердых частиц  $d_p=60$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=2,35 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=8,8 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,6 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости

$\mu_{пр}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_b=150$  с; время фильтрации  $\tau_{ф}=220$  с; время промывки  $\tau_{пр}=140$  с; время сушки  $\tau_c=150$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренние диаметр  $D_b=2000$  мм; длина барабана  $\ell_b=910$  мм; рабочий объем  $V_p=1,250$  м<sup>3</sup>; наибольшая частота вращения  $n_m=725$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{pm}=600$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_c=1500$  кг.

4.140. Рассчитать объемную производительность по суспензии  $L_{V_c}$ , м<sup>3</sup>/с герметизированной центрифуги 2ФГН-2201К-01 для разделения хорошо фильтруемых средне- и мелкодисперсных суспензий. Исходные данные к расчету: массовая доля твердой фазы в суспензии  $\bar{x}_T=0,18$ ; вязкость жидкой фазы  $\mu_{жс}=1,06 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотности твердой и жидкой фаз  $\rho_T=1680$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{жс}=1120$  кг/м<sup>3</sup>; размеры твердых частиц  $d_p=50$  мкм; удельное объемное сопротивление осадка  $r_0=1,5 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup>; сопротивление фильтрующей перегородки  $R_{ФП}=6,8 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>; удельный объем промывной жидкости  $V_{пр.ж}=1,45 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг; плотность промывной жидкости  $\rho_{пр}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость промывной жидкости  $\mu_{пр}=0,98 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время на проведение вспомогательных операций  $\tau_b=140$  с; время фильтрации  $\tau_{ф}=225$  с; время промывки  $\tau_{пр}=130$  с; время сушки  $\tau_c=140$  с. Технические характеристики центрифуги: внутренний диаметр  $D_b=2200$  мм; длина барабана  $\ell_b=1740$  мм; рабочий объем  $V_p=2,75$  м<sup>3</sup>; наибольшая частота вращения  $n_m=600$  об/мин; наибольший фактор разделения  $K_{pm}=445$ ; наибольшая загрузка суспензии  $m_c=3500$  кг.

4.141. Рассчитать производительность по сухому осадку, а также длины зон фильтрования, промывки осадка и сушки для фильтра ЛОН1,8-1У, предназначенного для переработки суспензии тонко измельченных железорудных концентратов в воде. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,623$ ; температура  $t=15^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,08$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{ср}=4 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы

в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=5\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=35 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=69$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=2325$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,95 \cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 150 кПа; температура 20<sup>0</sup>С; расход воды 0,5 м<sup>3</sup>/час.

4.142. Определить необходимое число ленточных вакуум-фильтров марки ЛОП12-1К, предназначенных для переработки 0,008 м<sup>3</sup>/с суспензии сажеводной смеси. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,0175$ ; температура  $t=63^0$ С. Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,90$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{ср}=401 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=10\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=229 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=39,2$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=1359$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=998$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,95 \cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 98 кПа; температура 22<sup>0</sup>С; расход воды 0,3 м<sup>3</sup>/час.

4.143. На ленточном вакуум-фильтре ЛОП10-1У перерабатывается суспензия свежловичного преддефекованного сока 2. Рассчитать производительность по фильтрату. Найти требуемую скорость движения ленты. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,15$ ; температура  $t=60^0$ С. Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,568$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{ср}=228 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань фильтродиагональ 2074; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=44 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=40$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=1115$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,95 \cdot 10^{-3}$  Па·с; давление ре-

генерирующей воды 100 кПа; температура 50<sup>0</sup>С; расход воды 0,6 м<sup>3</sup>/час.

4.144. На ленточном вакуум-фильтре ЛОП12-1К перерабатывается суспензия негущенного сока первой сатурации. Рассчитать производительность по разделяемой суспензии. Найти требуемую скорость движения ленты. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,070$ ; температура  $t=72^0$ С. Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,424$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{ср}=52 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=73,5 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=49$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=1205$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=1050$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1,02 \cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 235 кПа; температура 70<sup>0</sup>С; расход воды 0,72 м<sup>3</sup>/час.

4.145. Определить производительность барабанного вакуум-фильтра БНМ5-1,8-1К, используемого для переработки суспензии культуральной жидкости. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,013$ ; температура  $t=40^0$ С. Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,60$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{ср}=247,8 \cdot 10^9$  м/кг. Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=35 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=27$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=1000$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}=990$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,475 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1500 с.

4.146. Найти расход древесной муки при фильтровании метатитановой кислоты на фильтре ББМ10-1,8-5К. Принять толщину слоя уплотненного намывного слоя вспомогательного фильтровального вещества 0,06 м. Производительность по фильтрату принять равной 2 м<sup>3</sup>/час. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,12$ ;

температура  $t=50^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,69$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=125 \cdot 10^9$  м/кг. Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=30 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=27$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3000$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1265$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1,787 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1600 с.

4.147. Рассчитать время полного цикла работы фильтра БОН40-3-1У при переработке алюмосиликатной суспензии. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,035$ ; температура  $t=50^{\circ}\text{C}$ .

Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,80$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=542 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=77\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=41 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=67$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=2370$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=990$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=6,2 \cdot 10^{-3}$  Па·с; расход промывной жидкости принять равным 0,002 м<sup>3</sup> на 1 кг влажного осадка.

4.148. Определить требуемую поверхность фильтрования барабанного вакуум-фильтра со сходящим полотном, предназначенного для получения 5 м<sup>3</sup>/час фильтрата пигмента желтого. Подобрать необходимый типоразмер фильтра. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,0035$ ; температура  $t=25^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,764$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=276 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=70\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=18,7 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=80$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=1200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы

$\rho_{\text{ж}}=1000$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1 \cdot 10^{-3}$  Па·с; время промывки осадка 90 с.

4.149. Через барабанный вакуум-фильтр со сходящим полотном пропускается 5 м<sup>3</sup>/час суспензии не сгущенного сока первой сатурации. Толщина образуемого при этом слоя осадка 0,004 м. Определить время фильтрования, границы рабочих зон, угловую скорость вращения барабана. Подобрать подходящий типоразмер фильтра. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,070$ ; температура  $t=72^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,424$ ; среднее удельное сопротивление  $\alpha_{\text{ср}}=52 \cdot 10^9$  м/кг; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань – капрон 56027; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=73,5 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=49$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=1205$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1050$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=1,02 \cdot 10^{-3}$  Па·с; давление регенерирующей воды 235 кПа; температура  $70^{\circ}\text{C}$ ; расход воды 0,72 м<sup>3</sup>/час.

4.150. Определить производительность по суспензии дискового вакуум-фильтра ДОО63-2,5-1У, предназначенного для разделения суспензии технической № 3. Характеристика суспензии: массовая доля твердой фазы  $\bar{x}_T=0,05$ ; температура  $t=25^{\circ}\text{C}$ . Характеристика осадка: массовая доля жидкой фазы в осадке  $\bar{w}=0,65$ ; содержание жидкой фазы в осадке после просушки по массе  $\bar{w}'=15\%$ . Характеристика фильтрующей перегородки: фильтровальная ткань; сопротивление, отнесенное к единице вязкости  $\beta=25 \cdot 10^9$  1/м. Перепад давлений  $\Delta p=200$  кПа; плотность твердой фазы  $\rho_t=3200$  кг/м<sup>3</sup>; плотность жидкой фазы  $\rho_{\text{ж}}=1530$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость жидкой фазы  $\mu=0,516 \cdot 10^{-3}$  Па·с; продолжительность вспомогательных операций 1400 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1 Теплофизические свойства воды

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_{p,}, \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda\cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$\nu\cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
0	999,9	4,212	55,1	1,789	13,67
20	998,2	4,183	60,0	1,006	7,02
40	992,2	4,174	63,5	0,659	4,31
60	983,3	4,178	66,0	0,478	2,98
80	971,8	4,195	67,6	0,366	2,21
100	968,4	4,220	68,3	0,291	1,75

Таблица 2 Параметры парогазовой смеси

Компоненты фракции	Температура, $^\circ\text{C}$	Масс. доли	Плотность, $\text{кг/м}^3$	Энтальпия, $\text{кДж/кг}$
Бензин	45	0,96	698,8	120,2
Вода	45	0,03	998,8	181,3
Водород	45	0,01	2,15	489,9

Таблица 3 Теплофизические параметры раствора МЭА

Наименование теплоносителя	Средняя температура, $^\circ\text{C}$	Плотность, $\text{кг/м}^3$	Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	Теплоемкость, $\text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	Кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$
Регенерированный раствор	102	960	0,59	4,18	$0,34\cdot 10^{-6}$
Насыщенный раствор	71	980	0,56	4,04	$0,55\cdot 10^{-6}$

Таблица 4 Исходные данные к задачам 2.11 – 2.22

№	Тип тарелки	$G_r\cdot 10^{-3}, \text{кг/час}$	$L_j\cdot 10^{-3}, \text{кг/час}$	$\rho_r, \text{кг/м}^3$	$\rho_{ж}, \text{кг/м}^3$	$\sigma\cdot 10^3, \text{Дж/м}^2$	$\mu_r\cdot 10^6, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\mu_{ж}\cdot 10^3, \text{Па}\cdot\text{с}$	$n_{ст}$
2.11	Колп.	3,0	2,5	3,6	850	17	5,6	4,2	20
2.12		9,0	7,5	6,3	920	20	8,0	6,3	14
2.13	Кл.	7,4	6,3	2,4	950	25	2,3	3,6	16
2.14		26,6	24,8	6,6	845	48	4,7	2,8	16
2.15		21,2	19,8	7,8	920	18	2,3	4,3	17
2.16		17,0	16,0	5,5	750	24	3,6	5,7	14
2.17	Сит.	4,6	4,2	5,6	920	28	4,2	3,8	10
2.18		6,9	5,6	4,8	770	37	2,4	4,5	13
2.19		16,1	15,2	5,2	930	35	1,5	6,3	8
2.20	Пров.	36,8	33,5	4,6	870	29	1,6	4,2	12
2.21		43,3	47,5	5,8	675	41	1,8	2,4	14
2.22		30,1	29,5	9,7	890	36	2,3	2,7	10

Примечание: Сит.-ситчатая; Кл.-клапанная; Колп.-колпачковая; Пров.-провальная;  $G_r$  – нагрузка колонны по газу;  $L_j$  – нагрузка колонны по жидкости;  $\rho_r, \rho_{ж}$  – плотность газа и жидкости;  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости;  $\mu_r, \mu_{ж}$  – вязкости газа и жидкости,  $n_{ст}$  – число ступеней изменения концентрации.

Таблица 5 Исходные данные к задачам 2.41 – 2.56

№ Задачи	Исходная смесь	Тип тарелки	$G_F$ , кг/ч	$X_F$	$X_D$	$X_W$	$P$ , МПа	$t_{охл}$ , °С
2.41	Б.-т.	Сит.	13000	0,25	0,95	0,03	2,5	18
2.42		Кл.	15500	0,43	0,94	0,025	3	19
2.43		Колп.	17000	0,52	0,90	0,035	3,5	20
2.44	М. сп.-вода	Сит.	15000	0,40	0,92	0,02	3	22
2.45		Кл.	17500	0,65	0,96	0,05	3	23
2.46		Реш.	22500	0,35	0,90	0,06	4	19
2.47	М. сп – э. сп.	Колп.	12500	0,42	0,94	0,045	3,5	18
2.48		Реш.	21000	0,62	0,93	0,04	2,5	21
2.49		Кл.	135000	0,30	0,95	0,02	3,5	21
2.50	Вода-у. к.	Сит.	20000	0,52	0,96	0,05	4	20
2.51		Колп.	14000	0,63	0,93	0,04	3	22
2.52		Реш.	20500	0,45	0,92	0,06	2,5	23
2.53	Хл.ф-б.	Клап.	14000	0,57	0,90	0,065	3	19
2.54		Колп.	16500	0,32	0,96	0,02	3	20
2.55		Реш.	18000	0,64	0,97	0,04	3	21
2.56	Ац.-вода	Сит.	12000	0,55	0,94	0,025	3	22

Примечание: Сит.-ситчатая; Кл.-клапанная; Колп.-колпачковая; Реш.-решетчатая; Б.-т. - бензол-толуол; М. сп.-вода –метилловый спирт-вода; М. сп.-э. сп. - метилловый спирт-этиловый спирт; Вода-у.к. - вода-уксусная кислота; Хл.ф-б. - хлороформ-бензол; Ац.-вода - ацетон-вода;  $G_F$  – производительность колонны по питанию;  $X_F$ ,  $X_D$ ,  $X_W$  – массовые доли низкокипящего компонента соответственно в питании, дистилляте и остатке;  $P$  – абсолютное давление пара в колонне;  $t_{охл}$  – температура охлаждающей воды на дефлегматор.

Таблица 6 Сырье - этановая фракция

Комп. сырья	Мас. доля, $\bar{y}_i$	Мольная доля, $y_i$	Средняя молекулярная масса, $M_c$	Количество	
				$G_i$ , кг/ч	$G'_i$ , кмоль/ч
CH <sub>4</sub>	0.1	0,1832	2,9312	700	43,75
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,7	0,6838	20,5140	4900	163,33
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,2	0,1331	5,8564	1400	31,82
Сумма	1,000	1,000	29,3	7000	238,9

Таблица 7 Продукты пиролиза (пирогаз)

Комп. сырья	Мольные доли, $y_i$	Массовые доли, $\bar{y}_i$	Количество		Всего продуктов пиролиза $q_i$ кмоль/кмоль
			$q_i$ , кг/ч	$q'_i$ , кмоль/ч	
H <sub>2</sub>	0,025	0,0018	12,6	6,100	0,0255
CH <sub>4</sub>	0,22	0,1296	907,2	56,700	0,2373
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,26	0,2872	2010,4	67,013	0,2805
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,43	0,4433	3103,1	110,825	0,4639
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,02	0,0309	216,3	5,150	0,0216
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	0,012	0,0239	167,3	3,098	0,0130
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,029	0,0769	538,3	7,476	0,0313
CO <sub>2</sub>	0,004	0,0064	44,8	1,018	0,0043
Сумма	1,000	1,000	7000	257,38	1,077

Казанский государственный технологический университет  
Механический факультет  
Заочное отделение  
Кафедра МАХП

Дисциплина: **Машины и аппараты химических производств  
или  
Оборудование нефтегазопереработки.**

**Контрольное задание № \_\_\_\_**

Студент группы № \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ (фамилия, имя, отчество)

Домашний адрес (с указанием почтового индекса) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Шифр \_\_\_\_\_  
(№ зачетной книжки)

\_\_\_\_\_ (подпись) \_\_\_\_\_ (дата)

20\_\_/20\_\_ учебный год

<i>Отметка о регистрации контрольной работы в деканате</i>	№	
	Дата	

ЛИТЕРАТУРА

Учебники

1. Поникаров И.И., Гайнуллин М.Г. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки: Учебник. – Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Альфа-М, 2006. - 608 с.: ил.

2. Машины и аппараты химических производств: Учебник для вузов по специальности «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов»/ И.И. Поникаров, О.А. Перельгин, В.Н. Доронин, М.Г. Гайнуллин. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

Учебные пособия

3. Шаповалов Ю.Н., Шейн В.С. Машины и аппараты общехимического назначения. Учеб. пособие. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. - 304 с.

4. Хуснутдинов В.А., Сайфуллин Р.С., Хабибуллин И.Г. Оборудование производства неорганических веществ: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Химия, 1987. – 248 с.

5. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств / Под ред. В. Н. Стабникова.- Киев: Вища школа, 1982. - 199 с.

6. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. Совет: К.В. Фролов (пред.) и др.. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. т.IV – 12 / М.Б. Генералов, В.П. Александров, В.В. Алексеев и др.; Под общ. ред. М.Б. Генералова. - М.: Машиностроение, 2004.- 832 с

Пособия по проектированию

7. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С.Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др./ Под ред. Ю.И. Дытнерского. - 2-е изд. – М.: Химия, 1991.- 496 с.

8. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок. - М.: Высшая школа, 1982. – 304 с.

9. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.

10. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования. - 2-е изд. – М.: Химия, 1971.-296 с.

11. Доманский, И В. Машины и аппараты химических производств:

Примеры и задачи. Учеб. пособие/ И.В. Доманский, [и др.].- Под общ. ред. В.Н. Соколова – Л.: Машиностроение, 1982.- 384 с.

Примеры и задачи по курсам МАХП и ОНГП

12.Поникаров И.И., Поникаров С.И., Рачковский С.В. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры и задачи): Учебное пособие. – М.: Альфа-М, 2008. – 720 с.

13.Примеры и задачи по курсу «Машины и аппараты химических производств». Под ред. В.М. Ульянова. - Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т., 2003. – 356 с.

14.Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. Учеб. пособие/ И.В. Доманский, В.П. Исаков, Г.М. Островский и др.; Под общ. ред. В.Н. Соколова – Л.: Машиностроение, 1982.- 384 с.

15.Сарданашвили А. Г., Львова А. И. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа.- 2 – е изд. М.: Химия, 1980.- 256 с.

16.Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки: Справочник / Г.Г. Рабинович, П.М. Рябых, П.А. Хохряков и др.; Под ред. Е.Н. Судакова. – 3 – е изд. М.: Химия, 1979. – 568 с.

17.Кузнецов А.А., Кагерманов С.М., Судаков Е.Н. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. -2 – е изд. - Л.: Химия, 1974. – 344 с.

18.Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М., Курочкина М.И. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи). - СПб: Химия, 1993. – 496 с.

19.Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.

20.Маньковский О.Н., Толчинский А.Р., Александров М.В. Теплообменная аппаратура химических производств. Инженерные методы расчета. - Л.: Химия, 1976.- 368 с.

Теплопередача и аппаратурное оформление

21.Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 417с.

22.Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи.- М.: Энергия, 1977. – 342 с.

23.Лунин О.Г., Вельтищев В.Н. Теплообменные аппараты пищевых производств. - М.: Агропромиздат, 1987.- 239 с.

24.Олевский В.М., Ручинский В.Р. Роторно – пленочные тепло- и массообменные аппараты. - М.: Химия, 1977. – 208 с.

25.Барановский Н.В., Коваленко Л.М., Ястребенский А.Р. Пластинчатые и спиральные теплообменники. – М.: Машиностроение, 1973. - 288 с.

26.Дрейцер Г.А. Компактные теплообменные аппараты. - М.: МАИ, 1986. – 74 с.

27.Шмеркович В.М. Аппараты воздушного охлаждения для технологических установок нефтеперерабатывающих и химических заводов. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1967.- 131 с.

28.Коваленко Л.М., Глушков А.Ф. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи.- М.: Энергоатомиздат, 1986.– 240 с.

29.Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. – М.: Машиностроение, 1989. -368с.

30.Справочник по теплообменникам: в 2т. Т.1 / Пер. с англ. Под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова.- М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.

31.Справочник по теплообменникам: в 2т. Т.2/Пер. с англ. Под ред. О.Г. Мартыненко и др. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.

32.Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник.- М.: Энергоатомиздат, 1983. – 552 с.

33.Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник. - М.: Энергоиздат, 1982. – 510 с.

34.Стандартные кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего назначения. Каталог. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991. – 39 с.

35.Кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего и специального назначения. Каталог. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991. – 106 с.

36.Теплообменники типа «труба в трубе». Каталог. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1979. – 25 с.

37.Трубчатые теплообменные аппараты из фторопласта. Каталог. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1984. – 23 с.

38.Аппараты воздушного охлаждения. Ч.1 и Ч.2. Каталог. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1988. – 21 с.

39.Пластинчатые теплообменные аппараты. Каталог. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1983. – 56 с.

40.Стальные спиральные теплообменники. Каталог. – М.: ЦИНТИ-

химнефтемаш, 1976. – 23 с.

41.ГОСТ 9929 – 77. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые стальные. Типы. Основные параметры и размеры.

42.ГОСТ 15122 – 79. Теплообменники кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и с температурным компенсатором на кожухе.

43.ГОСТ 14246 – 79. Теплообменники кожухотрубчатые с плавающей головкой. Основные параметры и размеры.

44.ГОСТ 14245 – 79. Теплообменники кожухотрубчатые с U – образными трубами. Основные параметры и размеры.

45.ГОСТ 11875 -79. Аппараты с вращающимися барабанами общего назначения. Основные параметры и размеры.

46.Справочник – каталог (Промышленная кожухотрубчатая теплообменная аппаратура). - М.: ВНИИНЕФТЕМАШ, ИНТЕК ЛТД, 1992. – 265 с.

#### Массопередача и аппаратное оформление

47.Кафаров В.В. Основы массопередачи. - 3-е изд. - М.: Высшая школа, 1979.- 494 с.

48.Шервуд Т., Пигфорд Р.Л., Уилки Ч. Массопередача. Пер. с англ.; Под ред. В.А.Малюсова. – М.: Химия, 1982. – 696 с.

49.Александров И.А. Массопередача при ректификации и абсорбции многокомпонентных смесей. – Л.: Химия, 1975. – 320 с.

50.Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976. – 656 с.

51.Семенова Т.А., Лейтес И.Л., Аксельрод Ю.В. и др. Очистка технологических газов. – М.: Химия, 1969. – 392 с.

52.Багатуров С.А. Основы теории и расчета перегонки и ректификации.- 3-е изд. – М.: Химия, 1974. – 439 с.

53.Стабников В.Н. Перегонка и ректификация спирта. - М.: Пищепромиздат, 1962. – 503 с.

54.Петлюк Ф.Б., Серафимов Л.А. Многокомпонентная ректификация. Теория и расчет. - М.: Химия, 1983. – 304 с.

55.Коган В.Б. Азеотропная и экстрактивная ректификация. - Л.: Химия, 1971.-432 с.

56.Основы жидкостной экстракции / Под ред. Г.А. Ягодина.- М.: Химия, 1981.- 400 с.

#### Теплообмен, сушка и оборудование

57.Теория тепломассопереноса /Под ред. А.Н. Леонтьева. - М.: Высшая школа, 1979. – 495 с.

58.Промышленные тепломассообменные процессы и установки / Под ред. А.М. Бакланова. - М.: Энергоиздат. 1986. – 327 с.

59.Промышленные тепломассообменные процессы и установки. / А.М. Бакластов, В.А. Горбенко, О.А. Данилов и др.- М.: Энергоатомиздат, 1986. – 327 с.

60.Лебедев П.Д., Щукин А.А. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий. - М.: Энергия, 1970.- 408 с.

61.Лыков М.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968.- 470 с.

62.Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. – М.: Химия, 1976.- 432 с.

63.Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. - 3-е изд. – Л.: Химия, 1979.- 272 с.

64.Сажин Б.С. Основы техники сушки. – М.: Химия, 1984. – 319 с.

65.Лыков М.В., Леончик Б.М. Распылительные сушилки. – М.: Машиностроение, 1966. – 336 с.

66.Сушильные аппараты и установки. Каталог. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1988. – 72 с.

#### Химическая кинетика и аппаратное оформление

67.Доронин, В.Н. Химические реакторы. Курс лекций для студентов заочного механического факультета / В.Н.Доронин, Ю. А. Дулатов. – Казань: КХТИ, 1975.- 78 с.

68.Денбиг, К. Т. Теория химических реакторов. Введение. Пер. с англ./ К. Т. Денбиг. - Под ред. Н.М. Жаворонкова– М.: Наука, 1968.- 191с.

69.Вэйлас С. Химическая кинетика и расчеты промышленных реакторов / С. Вэйлас.– М.: Химия, 1967.- 414 с.

70.Рейхсфельд В.О. Оборудование производств основного органического синтеза и синтетических каучуков / В.О. Рейхсфельд, Л.Н. Еркова. - М.- Л.: Химия, 1965. – 440 с.

71.Михаил, Л. Реакторы химической промышленности / Л.Михаил, К. Кырлогану. – Л.: Химия, 1968. – 388 с.

72.Орочко, Д. И. Теоретические основы ведения процесса для синтеза жидких топлив / Д.И Орочко. – М.-Л.: Гостоптехиздат, 1951.- 459

73.Брайнес, Я. М. Введение в теорию и расчеты химических и

нефтехимических реакторов / Я. М. Брайнес . - 2-е изд. – М.: Химия, 1976.- 232 с.

74. Примеры и задачи по курсу оборудования заводов химической промышленности / Сост. Н.А. Козулин, В.Н. Соколов, А.Я. Шапиро. – М.-Л.: Машиностроение, 1966. – 484 с.

75. Соколов В.Н., Доманский И.В. Газожидкостные реакторы. - М.: Машиностроение, 1976.- 216 с.

76. Левеншпиль, О. Инженерное оформление химических процессов / О. Левеншпиль. – М.: Химия, 1969.- 624 с.

77. Долинин, Н. П. Нагревательные элементы реакционных аппаратов / Н.П. Долинин. – М.: Машиностроение, 1967. – 327 с.

78. Смирнов, Н.Н. Химические реакторы в примерах и задачах / Н.Н.Смирнов, А.И. Волжинский. – Л.: Химия, 1986.- 224 с.

79. Арис, Р. Оптимальное проектирование химических реакторов / Р. Арис. – М.: ИЛ, 1963.- 238 с.

80. Бесков, С. Д. Технохимические расчеты / С.Д.Бесков. – М.: Высшая школа, 1962. - 468 с.

81. Жоров, Ю.М. Расчеты и исследование химических процессов нефтепереработки / Ю.М. Жоров. – М.: Химия, 1973.– 216 с.

82. Дибушинский, Я. Основы проектирования каталитических реакторов / Я. Дибушинский. – М.: Химия, 1972.- 376 с.

83. Арис, Р. Анализ процессов в химических реакторах / Р. Арис. – Л.: Химия, 1967.- 328 с.

84. Общие основы химической технологии / С. Бретшнайдер [и др.].– Л.: Химия, 1977. - 512 с.

85. Холланд, Ф. Химические реакторы и смесители для жидкофазных процессов. / Пер. с англ.; Под ред. Ю.М. Жорова / Ф. Холланд. – М.: Химия, 1974. - 208 с.

86. Расчеты химико-технологических процессов: Учеб. пособие для вузов / А.Ф.Туболкин [и др.]/; Под ред. И.П. Мухленова – 2-е изд.- Л.: Химия, 1982. – 248 с.

87. Панченков, Г.М. Химическая кинетика и катализ / Г.М. Панченков, В.П. Лебедев. 2-е изд. – М.: Химия, 1974.- 592 с.

88. Арис, Р. Анализ процессов в химических реакторах / Р. Лебедев. – Л.: Химия, 1967.- 328 с.

89. Астарита Дж. Массопередача с химической реакцией / Дж. Ас-

тарита. - Л.: Химия, 1971. – 224 с.

90. Брагинский, Л.Н. Перемешивание в жидких средах / Л.Н. Брагинский, В.И. Бегачев, В.М. Барабаш. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.

91. Данквертс, П.В. Газо-жидкостные реакции / П.В.Данквертс.- М.: Химия, 1973. – 296 с.

92. Корсаков – Богатков, С.М. Химические реакторы как объекты математического моделирования / С.М. Корсаков-Богатков. – М.: Химия, 1967. – 223с.

93. Крамерс, Х. Химические реакторы. Расчет и управление ими / Х. Крамерс, К. Вестертерп. - М.: Химия, 264 с.

94. Расчеты химико-технологических процессов./ Под общей ред. И.П. Мухленова. – Л.: Химия, 1982.-302 с.

95. Слинко, М.Г. Моделирование химических реакторов / М.Г. Слинко. - Новосибирск: Наука, 1968. – 76 с.

96. Расчеты по технологии неорганических веществ./ Под ред. М.Е. Позина. – Л.: Химия, 1977. – 495 с.

97. Холланд, Ф. Химические ректоры и смесители для жидкостных процессов / Пер. с англ./ Под ред. Ю.М. Жорова / Ф.Холланд, Ф.С. Чапман. – М.: Химия, 1974. -208 с.

98. Рейхсфельд, В.О. Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука / В.О. Рейхсфельд, В.С. Шейн, В.И. Ермаков. – Л.: Химия. 1985.-264с.

Разделение жидких неоднородных систем.

Фильтры и центрифуги.

99. Фильтры для жидкостей. Каталог. ч. I. Фильтры непрерывного действия для жидкостей.- 3 – е изд. М.:ЦИНТИ химнефтемаш,1989.-142с.

100. Фильтры для жидкостей. Каталог. ч. II. Фильтры периодического действия, Фильтр-прессы, патронные керамические фильтры. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш ,1991.-73 с.

101. Фильтры для жидкостей. Каталог. – М.: Инженерные методы расчета. – Л.: Химия, 1976. - 368 с.

102. Жужиков, В.А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий / В.А.Жужиков. - 4-е изд. – М.: Химия, 1980.- 398 с.

103. Малиновская, Т.А. Разделение суспензий в промышленности органического синтеза / Т.А.Малиновская.–М.:Химия,1971.-320 с.

104. Соколов, В.И. Центрифугирование / В.И.Соколов. – М.: Химия, 1976.- 408 с.
105. Шкоропад, Д.Е. Центрифуги для химических производств / Д.Е.Шкоропад. – М.: Машиностроение, 1975.- 246 с.
106. Промышленные центрифуги. Каталог. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1986.- 112 с.
107. Разделение суспензий в химической промышленности / Т.А.Малиновская [и др.]- М.: Химия, 1983.- 264 с.
108. Файннерман И.А. Расчет и конструирование шнековых центрифуг / И.А.Файннерман. – М.: Машиностроение, 1981. – 133с.
109. Романков, П.Г. Жидкостные сепараторы / П.Г.Романков, С.А. Плюшкин. – Л.: Машиностроение, 1976. – 256с.
110. Лысковцев, И.В. Разделение жидкостей на центробежных сепараторах / И.В. Лысковцев.- М.: Машиностроение, 1968.-144 с.
111. Кургаев, Е.Ф. Осветители воды / Е.Ф.Кургаев. – М.: Стройиздат., 1977 . -192 с.
112. Липатов, Н.Н. Саморазгружающие сепараторы / Н.Н.Липатов. – М.: Машиностроение, 1975.-248с.
113. Бремер Г.И. Жидкостные сепараторы / Г.И. Бремер. – М.: Mashgiz, 1957. -243 с.
114. Аснер, В.И. Конструкция и расчеты фильтрующих центрифуг. / В.И.Аснер, – М.: - Недра,1976. -216 с.
115. Менделевич, А.И. Новые конструкции шнековых осадительных центрифуг./ А.И. Менделевич, Р.А. Ярославцев, Р.И. Базеева. – Обзорная информация. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1984. -36 с.
116. Мустафаев, А.М. Гидроциклоны в нефтеперерабатывающей промышленности / А.М. Мустафаев, Б.М. Гутман. – М.: Недра, 1981. - 260с.
117. Емкостная стальная сварная аппаратура. Каталог.- М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1976.-64 с.
118. Соколов, В.И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств / В.И. Соколов.- М.: Машиностроение, 1983.-447 с.
119. Сосуды и трубопроводы высокого давления: Справочник. Под ред. А.М. Кузнецова, В.И. Лифшица, Е.Р. Хисматулина и др. — Изд. 2-е. — Иркутск: ГП «Иркутская областная типография №1».1990 - 600

- с.
120. Емкостная сварная аппаратура из алюминия. Каталог. — М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1987 - 21 с
121. Вертикальные стальные сварные аппараты с перемешивающими устройствами. Каталог. — М: ЦИНТИхимнефтемаш, 1978. — 26 с.
122. Гуммированное химическое оборудование. Каталог. — М: ЦИНТИхимнефтемаш. 1984.—23 с.
123. Центрифуги промышленные. Каталог. М: ЦИНТИхимнефтемаш, 1984.- 32 с.
124. Промышленные жидкостные центробежные сепараторы. Каталог. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш. 1984.-32 с.
125. Васильцов, Э.А. Аппараты для перемешивания жидких сред. Справочное пособие / Э.А.Васильцов, В.Г.Ушаков. - Л.: Машиностроение, 1979. — 372 с.

#### Справочники

##### Расчет и конструирование

126. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета технологического и природоохранного оборудования. Справочник. т.2. - Калуга, издательство Н.Бочкаревой, 2002. – 1028 с.
127. Вихман Г.Л., Круглов С.А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. - М.: Машиностроение, 1978. – 328 с.
128. Конструирование и расчет машин химических производств / Под. общ. ред. Э.Э. Кольмана-Иванова.- М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
129. Машины химических производств. Атлас конструкций / Под ред. Э.Э. Кольмана-Иванова. - М.: Машиностроение, 1981. – 118 с.
130. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи / М.Ф. Михалев, Н.П. Третьяков, И.А. Мильченко и др.; Под. общ. ред. М.Ф. Михалева. - Л.: Машиностроение, 1984. – 301 с.
131. Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник.- Л: Машиностроение, 1981.- 382 с.
132. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. - Л.: Машиностроение,

1970. – 752 с.

133. Криворот А.С. Конструкции и основы проектирования машин и аппаратов химической промышленности. Учеб. пособие для техникумов. – М.: Машиностроение, 1976. – 376 с.

#### Теплофизические параметры

134. Чиркин В.С. Теплопроводность промышленных материалов. Справочное пособие. - 2-е изд.- М.: Машгиз, 1962.- 247 с.

135. Теплофизические свойства веществ. Справочник. - М. – Л.: Госэнергоиздат, 1956.- 367 с.

136. Теплофизический справочник. Под общ. ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. т. 2. - М.: Энергия, 1976. – 896 с.

137. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. - М.: Физматгиз, 1963. – 708 с.

138. Теплофизические свойства веществ и материалов, вып. 11. - М.: Издательство стандартов, 1977. – 160

139. Цеберберг Н.В. Теплопроводность газов и жидкостей. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963.- 408 с.

140. Бретшнайдер С. Свойства газов и жидкостей. - М.-Л.: Химия, 1970.- 535 с

#### Дополнительная литература

109. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Массообменные процессы и аппараты. - М.: Химия, 2002. Ч1. - 400 с.; Ч2. - 368 с.

110. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 752 с.

111. Плановский А. Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. - 2 – е изд.- М.: Химия, 1972.- 493 с.

112. Чечель П.С. Процессы и аппараты химической технологии. – Киев: Вища школа, 1974. – 192 с.

113. Стабников В.Н., Попов В.Д., Редько Ф.А. и др. Процессы и аппараты пищевых производств. - 3 – е изд. - М.: Пищевая промышленность, 1976. – 663 с.

114. Каспарьянц К.С., Кузин В.Н., Григорян Л.Г. Процессы и аппараты для объектов промысловой подготовки нефти и газа. - М.: Недра, 1977. -254 с.

115. Смидович Е.В. Производство моторных топлив. - М.: Высшая школа, 1965. – 124 с.

116. Суханов В.П. Каталитические процессы в нефтепереработке. - 2 – е изд. - М.: Химия, 1973. – 413 с.

117. Бондаренко Б.И. Установки каталитического крекинга. - М.: Гостоптехиздат, 1959. – 304 с.

118. Сулимов А.Д. Каталитический риформинг бензинов. - М.: Химия, 1964.- 206 с.

119. Рыбак Б.М. Анализ нефти и нефтепродуктов.- М.: Гостоптехиздат, 1962.- 888 с.

120. Черный И.Р. Подготовка сырья для нефтехимии. - М.: Химия, 1966. – 254 с.

121. Белов П.С. Основы технологии нефтехимического синтеза.- М.: Химия, 1965. – 377 с.

122. Паушкин Я.М. Нефтехимический синтез в промышленности. - М.: Наука, 1966. – 400 с.

123. Юкельсон Н.И. Технология основного органического синтеза.- М.: Химия, 1968. – 528 с.

124. Масальский К.Е., Годик В.М. Пиролизные установки. - М.: Химия, 1968. – 143 с.

125. Смирнов А.С. Сбор и подготовка нефтяного газа на промысле. - М.: Недра, 1971. – 255 с.

126. Бекиров Т.М., Шаталов А.Т. Сбор и подготовка к транспорту природных газов. - М.: Недра, 1986.- 261 с.

127. Берлин М.А., Гореченков В.Г., Волков Н.П. Переработка нефтяных и природных газов. - М.: Химия, 1981.- 472 с.

128. Бекиров Т.М. Первичная переработка природных газов. - М.: Химия, 1987.- 256 с.

129. Чуракаев А.М. Переработка нефтяных газов. - М.: Недра, 1983.- 279 с.

130. Смидович Е.В. Технология переработки нефти и газа. - 3 – е изд. - М.: Химия, 1980. – 652 с.

131. Гуревич И. Л. Технология переработки нефти и газа. - М.: Химия, 1972, ч. 1 – 347 с.

132. Гриценко А.И. и др. Физические методы переработки и использование газа.- М.: Недра, 1981. – 224 с.

133. Клименко А.П. Сжиженные углеводородные газы. - М.: Недра, 1974. – 368 с.
134. Чуракаев А.М. Газоперерабатывающие заводы. - М.: Химия, 1971. – 235 с.
135. Берлин М.А., Коробко В.Д. Основное технологическое оборудование зарубежных газоперерабатывающих заводов. - М.: Химия, 1977. – 248 с.
136. Бекиров Т.М. Промысловая и заводская обработка природных и нефтяных газов. - М.: Недра, 1980.- 283 с.
137. Двайрис А. Д. Технологическое оборудование установок ожижения природного газа. - М.: ВНИИЭгазпром, 1984.- 67 с.
138. Газовые и газоконденсатные месторождения: Справочник / Под ред. И.П. Жабрева. - М.: Недра, 1983. – 373 с.
139. Рейхсфельд В.О., Егорова Л.Н. Оборудование производства основного органического синтеза и СК.- 2 – е изд.- Л.: Химия, 1974. – 438 с.
140. Язык А. В. Системы и средства охлаждения природного газа. - М.: Недра, 1986.- 173 с.
141. Чечёткин А.В. Высокотемпературные теплоносители.- 3-е изд.. -М.: Энергия, 1971.- 496 с.
142. Фрид М.Н. Производство этилена и пропилена на трубчатой пиролизной установке.- М.: Химия, 1966. – 128 с.
143. Перри Дж. Справочник инженера – химика. Пер. с англ. Т.1. - Л.: Химия , 1969.- 940 с.
144. Дубовкин Н. Ф. Справочник по углеводородным топливам и их продуктам сгорания.- М.: Госэнергоиздат, 1962.- 228 с.
145. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. - М.: Недра, 1977. – 216 с.
146. Идельчик И.Е. Аэродинамика промышленных аппаратов.- М. – Л.: Энергия, 1964. – 287 с.
147. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М. – Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 463 с.