

**М. В. КОЛОСОВА, А. О. НИКИФОРОВ**

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ  
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

**Контрольная работа**

**Методические указания**

**Санкт-Петербург  
2021**

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»  
Высшая школа технологии и энергетики  
Кафедра процессов и аппаратов химической технологии**

# **ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

## **Контрольная работа**

Методические указания для студентов заочной формы обучения  
по направлениям подготовки:

18.03.01 – Химическая технология

18.03.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в  
химической технологии, нефтехимии и  
биотехнологии

15.03.02 – Технологические машины и оборудование

Составители:

М. В. Колосова

А. О. Никифоров

Санкт-Петербург  
2021

Утверждено  
на заседании кафедры ПиАХТ  
25.05.2021 г., протокол № 4

Рецензент А. Н. Евдокимов

Методические указания соответствуют программам и учебным планам дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» для студентов, обучающихся по направлениям подготовки: 18.03.01 «Химическая технология», 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование». В указаниях приведены рекомендации к выполнению контрольных работ по гидромеханическим, тепловым и массообменным процессам химической технологии. Методические указания предназначены для бакалавров заочной формы обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД  
в качестве методических указаний

Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=202016](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016), по паролю  
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию: 21.10.2021 г. Рег. № 37/21

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД  
198095, СПб, ул. Ивана Черных, 4

## Содержание

Введение .....	4
1. Основы гидравлики .....	6
2. Гидромеханика неоднородных систем.....	8
3. Теплопередача .....	9
4. Выпаривание. Кристаллизация .....	11
5. Основы массопередачи. Абсорбция .....	12
6. Перегонка и ректификация.....	16
7. Экстрагирование.....	17
8. Адсорбция .....	18
9. Термическая сушка .....	19
Библиографический список.....	21
Приложения .....	22

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Процессы и аппараты химической технологии» – это техническая дисциплина, изучающая теорию основных процессов, принципы устройства и методы расчета машин и аппаратов, которые используются в технологических и химических процессах. Она находится на стыке многих дисциплин, среди которых физика, физическая химия, механика, экономика и других. При обучении бакалавров направлений подготовки 18.03.01 «Химическая технология», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» и 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» этой дисциплине отводится важная роль. Наряду с глубокими теоретическими знаниями студенты должны обладать практическими навыками расчета процессов, а также аппаратов, предназначенных для проведения этих процессов. Умение решать задачи позволяет подробнее понять физическую сущность процессов и работу аппаратов. Материалы, представленные в данных методических указаниях, способствуют достижению всех этих целей.

Перед началом работы над контрольными заданиями студентам необходимо ознакомиться с соответствующими разделами курса. Студентам направлений 15.03.02, 18.03.01, 18.03.02 рекомендуется пользоваться учебниками [1, 2] и учебными пособиями [3 – 7].

В контрольные работы включены задачи из задачника [2] в соответствии со своими учебными графиками студенты выполняют контрольные работы. Ниже приведены таблицы, в которых перечислены номера задач для студентов по каждому направлению, номер варианта определяется по последней цифре шифра, указанного в зачетной книжке. Приступая к решению задач, следует ознакомиться с общими указаниями, приведенными в задачнике, и с его структурой. В каждой главе задачника, соответствующей одному из разделов курса «Процессы и аппараты химической технологии», приводятся основные расчетные формулы, примеры решения задач и контрольные задачи, из последних задач и составлены контрольные задания. В задачнике приведены ответы на контрольные задачи, а также обширный справочный материал, позволяющий получить все необходимые при решении задач данные, не обращаясь к другой литературе. Если сессия происходит в офлайн формате, то контрольные работы выполняются в тетрадях. Титул оформляется в соответствии с приложением 1. На первой странице необходимо перечислить номера задач выполняемого варианта. В случае прохождения сессии средствами дистанционных образовательных технологий контрольная работа оформляется в текстовом редакторе и загружается в соответствующем разделе дисциплины в формате PDF. Титульный лист оформляется в соответствии с приложением 2.

После указания номера задачи следует привести условия задачи из задачника, затем изобразить схему рассчитываемого устройства. Далее дается решение. Расчетные формулы сначала приводятся в виде алгебраического

выражения, затем в них подставляются числовые значения и приводится результат расчета. Решение задачи должно сопровождаться подробными пояснениями. Обязательно приводятся размерности всех входящих в формулу физических величин. Успешное решение контрольных заданий позволит студентам подготовиться к сдаче зачетов и экзаменов по курсу «Процессы и аппараты химической технологии». Полученные при решении задач навыки облегчат работу над курсовым проектом. Перед началом работы над контрольными заданиями студентам следует ознакомиться со следующими разделами (темами) курса.

# 1. ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ

По главе 1 задачника [2] «Основы гидравлики»

Сжимаемые и несжимаемые жидкости. Гидростатическое давление. Дифференциальные уравнения равновесия жидкости Эйлера. Основное уравнение гидростатики. Гидродинамика вязких жидкостей. Вязкость жидкостей и газов. Динамический и кинематический коэффициенты вязкости. Влияние температуры и давления на вязкость жидкостей и газов.

Уравнение сплошности или неразрывности потока. Дифференциальные уравнения движения вязкой жидкости (уравнение Навье-Стокса).

Удельная механическая энергия потока. Статический и динамический напоры и их измерения. Средняя и максимальная скорости потока. Уравнение Бернулли и его приложения. Гидродинамические режимы движения вязкой жидкости. Гидродинамический пограничный слой.

Преобразование уравнений Навье-Стокса с получением критериев гидродинамического подобия. Гидравлические сопротивления в трубопроводах. Критериальные уравнения движения вязкой жидкости. Опытные зависимости для ламинарного и турбулентного течений. Расчет оптимального диаметра трубопровода.

Обтекание твердых тел. Расчет скорости свободного и стесненного осаждения частиц. Критериальное уравнение движения твердого тела в жидкости. Зависимости для ламинарного и турбулентного обтекания твердого тела. Основы гидродинамики неньютоновских жидкостей. Движение неньютоновских жидкостей в каналах и трубопроводах. Основы гидродинамики двухфазных систем. Классификация двухфазных систем. Модели двухфазных систем и принципы математического описания их движения. Гидродинамические характеристики систем жидкость – газ и жидкость – твердое тело. Теоретические основы гидро- и пневмотранспорта. Течение жидкостей через неподвижные зернистые слои и пористые перегородки. Структура потоков и распределение времени их пребывания в аппаратах.

## Пример

Определить динамическую вязкость азотоводородной смеси при атмосферном давлении и 200 °С, содержащей различные объемные доли азота: 25 и 75 %. Давление и температура в обеих смесях одинаковы.

## Решение:

Для определения динамической вязкости газовой смеси можно использовать следующую приближенную формулу аддитивности:

$$\frac{M_{см}}{\mu_{см}} = \sum_i \frac{y_i M_i}{\mu_i} = \frac{y(N_2) \cdot M(N_2)}{\mu(N_2)} + \frac{y(H_2) \cdot M(N_2)}{\mu(N_2)}, \quad (1.1)$$

где  $M_{см}$  – средняя молярная масса смеси кг/кмоль;  $M_i$  – молярная масса компонента кг/кмоль;  $y_i$  – объемная доля компонента;  $\mu_i$  – вязкость компонента Па · с;  $\mu_{см}$  – вязкость смеси Па · с.

Из уравнения (1.1) получаем:

$$\mu_{см} = \frac{M_{см}}{\frac{y(N_2) \cdot M(N_2)}{\mu(N_2)} + \frac{y(H_2) \cdot M(H_2)}{\mu(H_2)}}$$

Зависимость вязкости газа от температуры:

$$\mu_i = \mu_{i,0} \cdot \frac{273+C}{T+C} \left( \frac{T}{273} \right)^{3/2}, \quad (1.2)$$

где  $\mu_{i,0}$  – вязкость газа при 0 °С Па · с;  $C$  – постоянная (табл. IV) [2].

Определяем вязкости компонентов из уравнения (1.2) при 20 °С = 293 К

$$\begin{aligned} \mu(N_2) &= \mu_0(N_2) \cdot \frac{273+C}{T+C} \left( \frac{T}{273} \right)^{3/2} = 17 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} \cdot \frac{273+114}{293+114} \left( \frac{293}{273} \right)^{3/2} = \\ &= 17,97 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu(H_2) &= \mu_0(H_2) \cdot \frac{273+C}{T+C} \left( \frac{T}{273} \right)^{3/2} = 8,42 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} \cdot \frac{273+73}{293+73} \left( \frac{293}{273} \right)^{3/2} = \\ &= 8,85 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} \end{aligned}$$

I смесь – 25 %  $N_2$

$$M_{см} = y(N_2) \cdot M(N_2) + y(H_2) \cdot M(H_2) = 0,25 \cdot 28 + 0,75 \cdot 2,02 = 8,515 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

$$\mu_{см} = \frac{M_{см}}{\frac{y(N_2) \cdot M(N_2)}{\mu(N_2)} + \frac{y(H_2) \cdot M(H_2)}{\mu(H_2)}} = \frac{8,515}{\frac{0,25 \cdot 28}{17,97 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,75 \cdot 2,02}{8,85 \cdot 10^{-6}}} = 15,19 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

II смесь – 75 %  $N_2$

$$M_{см} = y(N_2) \cdot M(N_2) + y(H_2) \cdot M(H_2) = 0,75 \cdot 28 + 0,25 \cdot 2,02 = 21,505 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

$$\mu_{см} = \frac{M_{см}}{\frac{y(N_2) \cdot M(N_2)}{\mu(N_2)} + \frac{y(H_2) \cdot M(H_2)}{\mu(H_2)}} = \frac{21,505}{\frac{0,75 \cdot 28}{17,97 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,25 \cdot 2,02}{8,85 \cdot 10^{-6}}} = 17,55 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

**Ответ:** для I смеси:  $\mu_{см} = 15,9 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$  ; для II смеси:  $\mu_{см} = 17,55 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .



## 2. ГИДРОМЕХАНИКА НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ

*По главе 2 задачника [2] «Гидромеханика неоднородных систем»*

Характеристика неоднородных систем. Методы разделения неоднородных систем. Принципы математического описания процессов разделения в силовом поле. Осаждение в поле силы тяжести. Конструкции отстойников и определение их основных размеров. Осаждение под действием центробежной силы в циклонах. Конструкции циклонов. Очистка газов и разделение аэрозолей в электрическом поле. Устройство электрофильтров.

Фильтрация суспензии. Движущая сила и сопротивление процесса фильтрации. Виды процесса фильтрации. Основные кинетические уравнения фильтрации для режимов постоянного перепада давления и постоянной скорости. Осложняющие фильтрацию явления. Определение сопротивления фильтра и осадка.

Фильтрация с закупориванием пор фильтра. Применение вспомогательных веществ для интенсификации процессов фильтрации.

Конструкции фильтров для разделения суспензий. Фильтр-прессы. ФПАК. Вакуум-фильтры непрерывного действия: барабанные, дисковые, ленточные фильтры непрерывного действия, работающие под давлением. Фильтрация газов от пыли. Конструкции фильтров для очистки газов от пыли.

Центрифугирование. Классификация центрифуг – отстойные, фильтрующие, сепараторы, периодические и непрерывнодействующие. Классификация центрифуг по фактору разделения. Области применения центрифуг различных типов. Принципы технологического расчета отстойной и фильтрующей центрифуг. Конструкция центрифуг различных типов – периодические, полунепрерывные, автоматические и непрерывнодействующие.

Мокрая очистка запыленных газов. Конструктивные типы мокрых пылеуловителей.

Псевдооживление. Псевдооживление твердого зернистого материала. Физическая сущность процесса псевдооживления и его гидродинамическая характеристика. Технические области применения псевдооживления. Перемешивание в жидкой среде. Способы перемешивания. Получение суспензий и эмульсий. Моделирование процессов перемешивания.

### Пример

Определить время промывки осадка  $4,0 \text{ л/м}^2$  промывной жидкости при следующих значениях полученных опытным путем констант процесса:  $K = 2,62 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$  и  $C = 1,64 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2$  и. В момент окончания предыдущего процесса фильтрации было собрано  $15,5 \text{ л}$  фильтрата с одного квадратного метра фильтрующей перегородки; свойства промывной жидкости и условия промывки идентичны свойствам фильтрата и условиям фильтрации.

### Решение:

Основное уравнения фильтрования:

$$V^2 + 2CV = K\tau \quad (2.1)$$

где  $V$  – объем фильтрата, прошедшего через слой осадка за время  $\tau$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·с;  $K$ ,  $C$  – константы фильтрования, соответственно м<sup>2</sup>/с и м.

Скорость промывки осадка соответствует скорости фильтрования через слой осадка максимальной толщины, т. е. в момент окончания процесса фильтрования.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{K}{2(V_{\text{фильтрат}} + C)} = \frac{2,62 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}}{2 \cdot (15,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 + 1,64 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2)} = 7,643 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \quad (2.2)$$

Тогда время промывки:

$$t = \frac{V}{\frac{dV}{dt}} = \frac{0,44 \text{ м}^3/\text{м}^2}{7,643 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}} = 523,3 \text{ с} = 8,72 \text{ мин}$$

**Ответ:**  $t = 8,72$  мин.

### 3. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

*По главе 3 задачника [2] «Теплопередача»*

Общая характеристика тепловых процессов. Источники тепла и холода. Теплоносители. Теплопередача. Движущая сила тепловых процессов. Способы передачи тепла: теплопроводностью, конвекцией, теплоизлучением. Теплопроводность. Коэффициенты теплопроводности различных материалов. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Теплопроводность однослойной и многослойной стенок. Конвективный теплообмен и его связь с гидродинамической обстановкой процесса. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена. Условия теплового подобия: критерии Пекле, Прандтля, Нуссельта и Фурье. Критериальное уравнение конвективного теплообмена. Опытные зависимости по теплообмену при свободном движении, ламинарном и турбулентном вынужденных течениях жидкости. Теплообмен при изменении агрегатного состояния жидкости. Теплоотдача к кипящей и жидкости. Ядерное и пленочное кипение. Критическая тепловая нагрузка. Обобщение опытных данных по теплоотдаче при кипении. Теплоотдача при конденсации паров. Пленочная и капельная конденсации. Зависимости, выведенные Нуссельтом и Кутателедзе. Тепловое излучение. Основные понятия. Закон Стефана-Больцмана. Закон Кирхгофа. Теплоизлучение газов. Расчет лучистого теплообмена. Теплопередача. Коэффициенты теплопередачи и теплоотдачи. Теплопередача при постоянной разности температур. Теплопередача при переменной разности температур. Роль относительного

движения и структуры материальных потоков – прямоток и противоток. Определение средней разности температур. Проектный и проверочный расчет теплообменника. Оптимальный расчет теплообменника. Конструкции теплообменников.

### Пример

Вычислить часовую потерю холода с одного погонного метра стальной трубы диаметром  $60 \times 3$  мм, изолированной слоями пробки толщиной 30 мм и совелита толщиной 40 мм. Температуры внутренней поверхности трубы –  $110^\circ\text{C}$  и наружной поверхности совелита  $10^\circ\text{C}$ .

#### Решение:

Тепловой поток через изоляцию будет равен по формуле:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_{\text{н}}}{d_{\text{вн}}} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_1}{d_{\text{н}}} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (3.1)$$

где  $d_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр трубопровода  $d_{\text{вн}} = 0,054$  м;  $d_{\text{н}}$  – наружный диаметр трубопровода;  $d_{\text{н}} = 0,06$  м;  $d_1$  – диаметр трубопровода изолированного слоем пробки толщиной 30 мм.

$$d_1 = d_{\text{н}} + 2 \cdot \delta_2 = 0,06 + 2 \cdot 0,03 = 0,12 \text{ м};$$

$d_2$  – наружный диаметр трубопровода изолированного слоем совелита толщиной 40 мм,

$$d_2 = d_1 + 2 \cdot \delta_3 = 0,12 + 2 \cdot 0,04 = 0,2 \text{ м}.$$

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ , – теплопроводность стали, пробки, совелита соответственно,  $\lambda_1 = 0,047$  Вт/(м·К),  $\lambda_2 = 46,5$ , Вт/(м·К),  $\lambda_3 = 0,098$  Вт/(м·К), (табл. XXIII) [2].

$$Q = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1(10 - (-110))}{\frac{1}{46,5} \ln \frac{0,06}{0,054} + \frac{1}{0,047} \ln \frac{0,12}{0,06} + \frac{1}{0,098} \ln \frac{0,2}{0,12}} = 37,78 \text{ Вт}$$

За час потери тепла с 1 м длины составят:

$$Q = 37,78 \cdot 3,6 = 136 \text{ Дж/ч} = 0,136 \text{ кДж/ч}$$

**Ответ:**  $Q = 0,136$  кДж/ч

## 4. ВЫПАРИВАНИЕ. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

По главе 4 задачника [2] «Выпаривание. Кристаллизация»

Характеристика и области применения процессов выпаривания. Однократное выпаривание. Общая схема выпарной установки. Материальный и тепловой балансы однократного выпаривания. Общая и полезная разности температур. Потери разности температур за счет концентрационной депрессии и гидростатического давления. Гидравлические потери.

Многократное выпаривание. Сущность и преимущества процесса многократного выпаривания. Схемы многокорпусных выпарных установок: прямоточной, противоточной, смешанной. Сравнительная характеристика установок, работающих по различным схемам. Материальный и тепловой балансы многократного выпаривания. Потери разности температур в многокорпусной установке. Распределение полезной разности температур по корпусам, обеспечивающее равные или минимальные поверхности нагрева. Предел числа корпусов и оптимальное число корпусов в установках многократного выпаривания. Выпаривание с тепловым насосом. Области применения выпаривания с тепловым насосом. Конструкции выпарных аппаратов.

Кристаллизация из растворов и расплавов. Способы кристаллизации. Области применения процесса. Материальный и тепловой балансы кристаллизации. Кинетика кристаллизации. Методика расчета кристаллизаторов. Устройство кристаллизаторов.

### Пример

Под разрежением  $0,20 \text{ кгс/см}^2$  упаривается  $1500 \text{ кг/ч}$  раствора от 8 до 36 %. Определить необходимый расход воды, подаваемой: а) в барометрический конденсатор смешения; б) в поверхностный конденсатор. В обоих случаях температура отходящего конденсата на  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  (К) ниже температуры конденсации, а вода нагревается от 15 до  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Решение:

а) Расход воды в барометрический конденсатор определяется из уравнения теплового баланса:

$$G_{\text{В}} = \frac{W(i'' - c \cdot t_{\text{ВК}})}{c(t_{\text{ВК}} - t_{\text{ВН}})}, \quad (4.1)$$

где  $W$  – количество выпаренной воды по исходному сырью:

$$W = G_{\text{Н}} \left( 1 - \frac{x_{\text{нач}}}{x_{\text{кон}}} \right) = 1500 \left( 1 - \frac{8}{36} \right) = 1166,7 \text{ кг/ч} \quad (4.2)$$

Абсолютное давление  $P_{\text{а}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{вак}} = 0,8 \text{ атм}$

По уравнению (4.1):

$$G_B = \frac{1166,7(2663-4,19 \cdot 35)}{4,19(35-15)} 3600 = 34,9 \text{ кг/ч},$$

где  $t_0 = 93 \text{ }^\circ\text{C}$  – температура конденсации  $0,8 \text{ кгс/см}^2$  (табл. ЛII) [2]

$$t_{\text{кон}} = t - 5 = 93 - 5 = 88 \text{ }^\circ\text{C}$$

$i'' = 2663 \text{ кДж/кг}$  – удельная энтальпия пара  $0,8 \text{ кгс/см}^2$  (табл. ЛII) [2].

Определяем объемный расход:

$$V = \frac{G}{\rho} = \frac{34,9}{997} = 35 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (4.3)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости при средней температуре жидкости  $\text{кг/м}^3$

$$t_{\text{ср}} = \frac{35+15}{2} = 25 \text{ }^\circ\text{C}, \text{ тогда } \rho = 997 \text{ кг/м}^3 \text{ (табл. XXXV) [2].}$$

б) Расход воды в поверхностный конденсатор определяется из уравнения (4.1) теплового баланса:

$$G_B = \frac{W(i''-i')}{c(t_{\text{BK}}-t_{\text{BH}})}, \quad G_B = W \frac{r+c(t_0-t_{\text{кон}})}{c(t_{\text{BK}}-t_{\text{BH}})},$$

где  $r = 2278 \text{ кДж/кг}$  – удельная теплота парообразования (табл. ЛII в [2])

$c = 4,19 \text{ кДж/кг}$  теплоемкость воды;

$$G_B = 1166,7 \frac{2278 \cdot 10^3 + 4190(93 - 88)}{4190(35 - 15)} = 31,9 \text{ кг/ч}$$

Определяем объемный расход:

$$V = \frac{G}{\rho} = \frac{31,9}{997} = 32 \text{ м}^3/\text{ч}$$

**Ответ:** а)  $V = 35 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; б)  $G_B = 31,9 \text{ кг/ч}$ .

## 5. ОСНОВЫ МАССОПЕРЕДАЧИ. АБСОРБЦИЯ

*По главе 5 задачника [2] «Основы массопередачи. Абсорбция»*

Общие закономерности переноса вещества и энергии. Движущая сила и сопротивления процесса массопередачи. Фазовое равновесие, равновесные концентрации и способы выражения движущей силы диффузионных процессов. Основное уравнение массопередачи. Число единиц переноса. Число ступеней изменения рабочих концентраций. Кинетика массопередачи. Молекулярная и конвективная диффузия. Коэффициенты массоотдачи и массопередачи. Связь кинетики массопередачи с гидродинамической обстановкой.

Абсорбция. Равновесие в системах жидкость – газ. Материальный баланс. Кинетические закономерности. Принципиальные схемы процессов абсорбции. Абсорбционная аппаратура: аппараты, в которых поверхностью фазового контакта является зеркало жидкости или поверхность жидкости, растекающейся по насадке; аппараты, в которых поверхность фазового контакта развивается встречным потоком газа и жидкости; аппараты, в которых поверхность фазового контакта развивается разбрызгиванием жидкости. Расчет абсорбционной аппаратуры.

### Пример

В скруббер диаметром 0,5 м подается 550 м<sup>3</sup>/ч (при 760 мм рт. ст. и 20 °С) воздуха, содержащего 2,8 % (объемная доля) аммиака, который поглощается водой под атмосферным давлением. Степень извлечения аммиака 0,95. Расход воды на 40 % больше теоретически минимального. Определить: 1) расход воды; 2) общее число единиц переноса  $n_{oy}$ ; 3) высоту слоя насадки из керамических колец 50×50×5 мм. Коэффициент массопередачи:  $K_y = 0,001$  кмоль аммиака / (м<sup>2</sup>·с кмоль аммиака / кмоль воздуха). Данные о равновесных концентрациях жидкости и газа взять из справочника. Коэффициент смоченности насадки  $\varphi = 0,9$ .

### Решение:

Пересчитаем исходные концентрации в относительные массовые доли [2]:

$$\bar{Y}_H = \frac{\gamma_H}{1 - \gamma_H} = \frac{0,028}{1 - 0,028} = 0,0288 \text{ кмоль аммиака/кмоль воздуха}; \quad (5.1)$$

$$\gamma_K = \gamma_H(1 - c) = 0,0288(1 - 0,95) = 0,00144$$

$$\gamma_K = \gamma_H(1 - c) = 0,0288(1 - 0,95) = 0,00144 \text{ кмоль аммиака / кмоль}$$

воздуха,

где  $M_a = 17$  кг/моль – мольная масса аммиака [2];  $M_b = 29$  кг/моль – мольная масса воздуха [2];  $c$  – степень извлечения аммиака.

Количество поглощаемого аммиака:

$$M = \frac{V \cdot \gamma_H \cdot c}{(1 - \gamma_H) \cdot 22,4}, \quad (5.2)$$

где  $c$  – степень извлечения аммиака

$$M = \frac{550 \cdot 0,028 \cdot 0,95}{(1 - 0,028) \cdot 22,4} = 0,672 \text{ кмоль/ч} \cdot 18 \text{ кг/кмоль} = 12,1 \text{ кг/ч}$$

Минимальный расход поглотителя:

$$L_{min} = \frac{M}{\bar{X}_{Y_H}^* - \bar{X}_H} = \frac{M}{\bar{X}_{Y_H}^*}, \quad (5.3)$$

где  $\bar{X}_{Y_H}^*$  – концентрация аммиака в воде, равновесная с газом начального состава; определяем из уравнения равновесной прямой;

$$\bar{X}_{Y_H}^* = 0,0223 \text{ (при } \bar{Y}_H = 0,0288 \text{ кмоль аммиака/кмоль воздуха).}$$

По данным [2]:

Таблица 5.1

$X$	$Y$	$Y^*$	$Y - Y^*$	$1 / (Y - Y^*)$
0	0,003	0	0,003	333
0,005	0,0097	0,0045	0,0052	193
0,010	0,0165	0,0102	0,0063	159
0,0125	0,0200	0,0138	0,0062	161
0,015	0,0234	0,0183	0,0051	196
0,020	0,0300	0,0273	0,0027	371

$$L_{min} = \frac{12,1}{0,0223} = 542,85 \text{ кг/ч}$$

Фактический расход воды:

$$L = L_{min} \cdot \phi = 542,85 \cdot 1,4 = 760 \text{ кг/ч}, \quad (5.4)$$

где  $\phi = 1,4$  (при 40% больше теоретически минимального)

Определяем общее число единиц переноса  $n_{oy}$ .

По графику (рис. 5.1) площадь от  $\bar{Y}_H$  до  $\bar{Y}_K$  будет равна  $n_{oy}$ , также можно записать выражением:

$$n_{oy} = \int_{Y_K - 0,00144}^{Y_H - 0,0288} \frac{dY}{Y - Y^*} = 4,68 \quad (5.5)$$

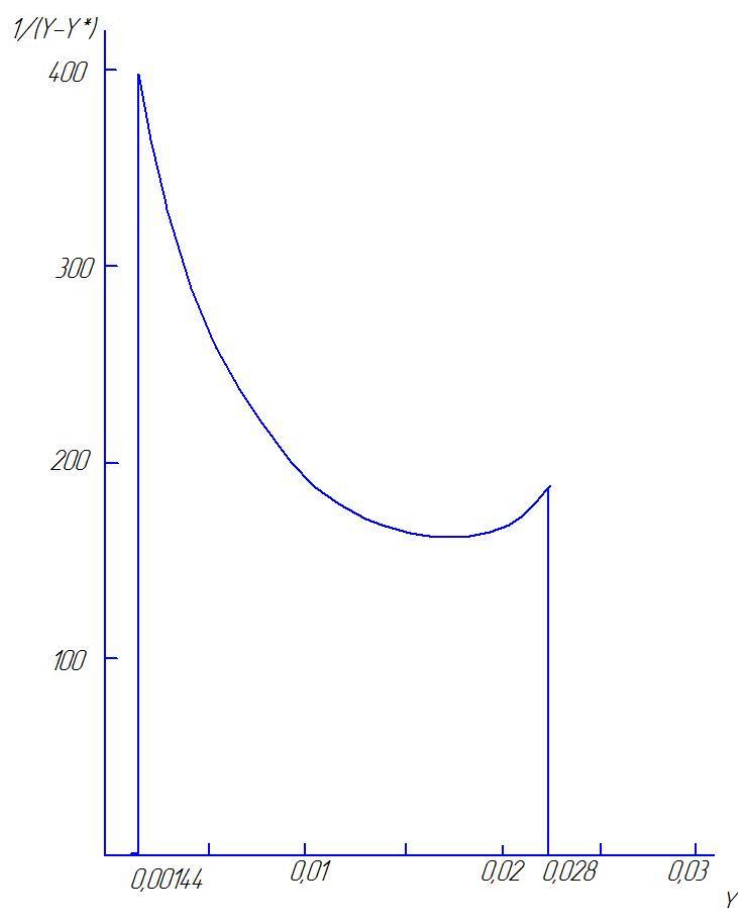


Рис. 5.1. Зависимость на основе данных табл. 5.1.

Определяем высоту слоя насадки из керамических колец  $50 \times 50 \times 5$  мм

$$H = n_{oy} \cdot h_{oy}, \quad (5.6)$$

где  $h_{oy}$  – высота единиц переноса для газовой фазы:

$$h_{oy} = \frac{G}{K_y \cdot S \cdot \sigma \cdot \psi}, \quad (5.7)$$

где  $K_y$  – коэффициент массопередачи:

$$K_y = 0,001 \text{ кмоль аммиака}/(\text{м}^2 \cdot \text{с кмоль аммиака}/\text{кмоль воздуха}).$$

$$K_y = \frac{K_y \cdot M_{NH_3}}{M_{NH_3} / M_{воз}} = \frac{0,001 \cdot 17}{17/29} = 0,0288 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}), \quad (5.8)$$

где  $M_{NH_3} = 17$  кг/моль – мольная масса аммиака;  $M_{воз} = 29$  кг/моль – мольная масса воздуха;  $S$  – площадь поперечного сечения колонны  $\text{м}^2$ ;

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,196 \text{ м}^2;$$



где  $\sigma$  – удельная поверхность сухой насадки,  $\sigma = 87,5 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , (табл. XVII) [2] для насадки из керамических колец  $50 \times 50 \times 5 \text{ мм}$ ;  $\psi$  – коэффициент смачиваемости насадки  $\psi = 0,9$ .

$G$  – массовый расход газа, кг/ч

$$G = V \cdot \rho_{\gamma} = 550 \cdot 1,2 = 660 \text{ кг/ч}$$

$$\rho_{\gamma} = \rho_0 \cdot \frac{T_0 \cdot P}{T \cdot P_0} = 1,29 \cdot \frac{273 \cdot 1}{293 \cdot 1} = 1,2 \text{ кг/м}^3,$$

где  $\rho_{\gamma} = 1,29 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха при  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  [2];

$$h_{oy} = \frac{660}{0,0288 \cdot 1,96 \cdot 87,5 \cdot 0,9 \cdot 3600} = 0,412 \text{ м}$$

Подставляем в формулу (5.6) высоты насадки:

$$H = 4,68 \cdot 0,412 = 1,93 \text{ м.}$$

**Ответ:** 1)  $L = L_{min} \cdot \varphi = 542,85 \cdot 1,4 = 760 \text{ кг/ч}$

$$2) n_{oy} = \int_{Y_K=0,00144}^{Y_H=0,0288} \frac{dY}{Y-Y^*} = 4,68;$$

$$3) H = 4,68 \cdot 0,412 = 1,93 \text{ м.}$$

## 6. ПЕРЕГОНКА И РЕКТИФИКАЦИЯ

*По главе 6 задачника [2] «Перегонка и ректификация»*

Равновесие в системах пар – жидкость. Процессы разделения жидких смесей, основанные на испарении: простая перегонка, перегонка с водяным паром, молекулярная перегонка. Физическая сущность ректификации. Материальный баланс. Флегмовое число. Тепловой баланс. Кинетика ректификации. Ректификация многокомпонентных смесей и ее особенности. Принципиальные схемы процессов ректификации. Аппаратура, применяемая для проведения ректификации и принципы ее расчета.

### Пример

В ректификационной колонне непрерывного действия разделяют 2 т/ч бинарной смеси, содержащей равные массовые количества компонентов. Расход флегмы 1500 кг/ч. В кубовом остатке содержится 99 % высококипящего компонента. Флегмовое число равно 1,5. Определить расход кубового остатка и состав дистиллата.

### Решение:

Здесь по условию задачи все задается в массовых долях и расходы килограммы в час.

Поскольку материальный баланс может быть составлен через массовые доли и найти необходимо расходы, то переводить ничего не нужно.

$$R = V/P \rightarrow P = V/R = 1500/1,5 = 1000 \text{ кг/ч}$$

Из материального баланса определим расход кубового остатка:

$$F = P + W$$

$$W = 2000 - 1000 = 1000 \text{ кг/ч,}$$

а из уравнения материального баланса по содержанию низкокипящего компонента, определим состав дистиллата:

$$F \cdot x_F = P \cdot x_P + W \cdot x_W$$

$$\bar{x}_P = (F \bar{x}_F - W \bar{x}_W) / P = (2000 \cdot 0,5 - 1000 \cdot 0,01) / 1000 = 0,99$$

$$\bar{x}_P = 99 \% \text{ (по НК).}$$

$$\text{Ответ: } W = 1000 \text{ кг/ч, } \bar{x}_P = 99 \%.$$

## 7. ЭКСТРАГИРОВАНИЕ

*По главе 7 [2] «Экстрагирование»*

Экстрагирование из капиллярно-пористых тел. Кинетика процесса переноса в капиллярно-пористых телах. Внешняя и внутренняя диффузия. Роль гидродинамической обстановки процесса. Физические основы и закономерности процесса. Аппаратурное оформление процесса экстракции. Применение механических колебания. Растворение твердых тел.

Экстракция в системе жидкость – жидкость. Характеристика процесса и области его применения. Физические основы и принципы выбора экстрагента. Фазовое равновесие в системах жидкость – жидкость. Расчет процесса экстракции. Методы регенерации экстрагентов. Конструкции экстракторов.

### Пример

0,1 моль спирта распределяется между 300 мл воды и 500 мл  $\text{CCl}_4$ . Найти концентрации спирта (моль/л) в равновесных растворах. Коэффициент распределения этилового спирта между четыреххлористым углеродом и водой равен 0,0244.

### Решение:

По закону распределения:

$$\frac{C_1}{C_2} = K,$$

где  $C_1$  – концентрация растворённого вещества в первом растворителе ( $CCl_4$ );  $C_2$  – концентрация растворённого вещества во втором растворителе ( $H_2O$ );  $K$  – коэффициент распределения.

Число молей спирта, перешедшего в четыреххлористый углерод обозначим через  $X$ , тогда:  $C_1 = \frac{X \cdot 1000}{500}$

$$C_1 = \frac{X \cdot 1000}{500}$$

В воду перейдет оставшееся количество спирта, равное  $(0,1 - X)$  кмоль, следовательно:  $C_2 = \frac{(0,1 - X) \cdot 1000}{300}$

Подставив  $C_1$  и  $C_2$  в уравнение, получим  $\frac{X \cdot 300}{500 \cdot (0,1 - X)} = 0,0244$

$$\frac{X \cdot 300}{500 \cdot (0,1 - X)} = 0,0244$$

Откуда  $X = 0,0039$  кмоль

**Ответ:**  $C_1 = \frac{0,0039 \cdot 1000}{500} = 0,0078$  кмоль/м<sup>3</sup>,

$C_2 = \frac{0,096 \cdot 1000}{300} = 0,3203$  кмоль/м<sup>3</sup>.

## 8. АДСОРБЦИЯ

*По главе 8 [2] «Адсорбция»*

Равновесие в процессах адсорбции. Кинетические закономерности. Принципиальные схемы процессов адсорбции. Адсорбционная аппаратура: аппараты для работы с неподвижным адсорбентом, аппараты для работы с движущимся зернистым адсорбентом, аппаратура для работы с псевдоочищенным адсорбентом. Расчет адсорбционной аппаратуры.

### Пример

Рассчитать равновесные количества хлористого этила, адсорбированные 20 кг активированного угля при температурах 20 и  $-15$  °С и одинаковом парциальном давлении парообразного хлористого этила в воздухе  $p = 0,162$  кгс/см<sup>2</sup>. Равновесие описывается изотермой Ленгмюра с параметрами  $a_M^i = 0,55$  кг/кг угля;  $b_{20} = 0,013$  и  $b_{-15} = 0,12$  (мм рт. ст.)<sup>-1</sup>.

### Решение:

Значение парциального давления хлористого этила переводится в размерность, соответствующую размерности параметров  $b$ :

$$p = 0,162 \cdot 760 / 1,033 = 119 \text{ мм рт. ст.}$$

По уравнению (1.1) изотермы Ленгмюра находятся удельные количества адсорбата, поглощенные единицей адсорбента:

$$a_{20}^i = 0,55 \cdot 0,013 \cdot 119 / (1 + 0,013 \cdot 119) = 0,338 \text{ кг/кг угля;}$$

$$a_{-15}^i = 0,55 \cdot 0,12 \cdot 119 / (1 + 0,12 \cdot 119) = 0,514 \text{ кг/кг угля.}$$

**Ответ:** таким образом, 20 кг активированного угля в равновесном состоянии будет поглощено хлористого этила:

$$\text{при } 20 \text{ }^\circ\text{C } a^* = 0,338 \cdot 20 = 6,76 \text{ кг;}$$

$$\text{при } -15 \text{ }^\circ\text{C } a^* = 0,514 \cdot 20 = 10,3 \text{ кг.}$$

## 9. ТЕРМИЧЕСКАЯ СУШКА

*По главе 9 [2] «Термическая сушка»*

Сушка. Способы тепловой сушки. Равновесная влажность и связь влаги с материалом. Материальный и тепловой балансы сушки. Теплофизические свойства влажных газов.  $Y - x$  диаграмма для воздуха и дымовых газов. Изображение процессов сушки на  $Y - x$  диаграмме. Принципиальные схемы процессов сушки. Механизм и кинетические закономерности сушки. Периоды сушки: сушка с постоянной скоростью, сушка с уменьшающейся скоростью. Закономерности, позволяющие определить необходимую поверхность фазового контакта или время сушки для различных периодов. Контактная сушка. Сушилки и принципы их расчета: вальцовые сушилки, камерные сушилки, туннельные сушилки, распылительные сушилки, барабанные сушилки, ленточные сушилки, петлевые сушилки, пневматические сушилки, сушилки со взвешенным слоем материала, сушильная часть бумагоделательной машины.

### Пример

Вычислить среднее значение потенциала сушки в теоретической сушилке, где влага испаряется при температуре мокрого термометра. Параметры воздуха перед калорифером  $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $\varphi_0 = 70 \%$ , а после сушилки  $t_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $\varphi_2 = 40 \%$ .

### Решение:

Средний потенциал сушки определяем по формуле:

$$x_{cp} = \frac{(t_1 - t_M) - (t_2 - t_M)}{2,3 \lg \frac{(t_1 - t_M)}{(t_2 - t_M)}},$$

где  $t_1 = 108^\circ\text{C}$  – температура в точке 1 (рис. 9.1);  $t_M$  – температура мокрого термометра (рис. 9.1).

$$x_{cp} = \frac{(108 - 38) - (50 - 38)}{2,3 \lg \frac{(108 - 38)}{(50 - 38)}} = 35,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

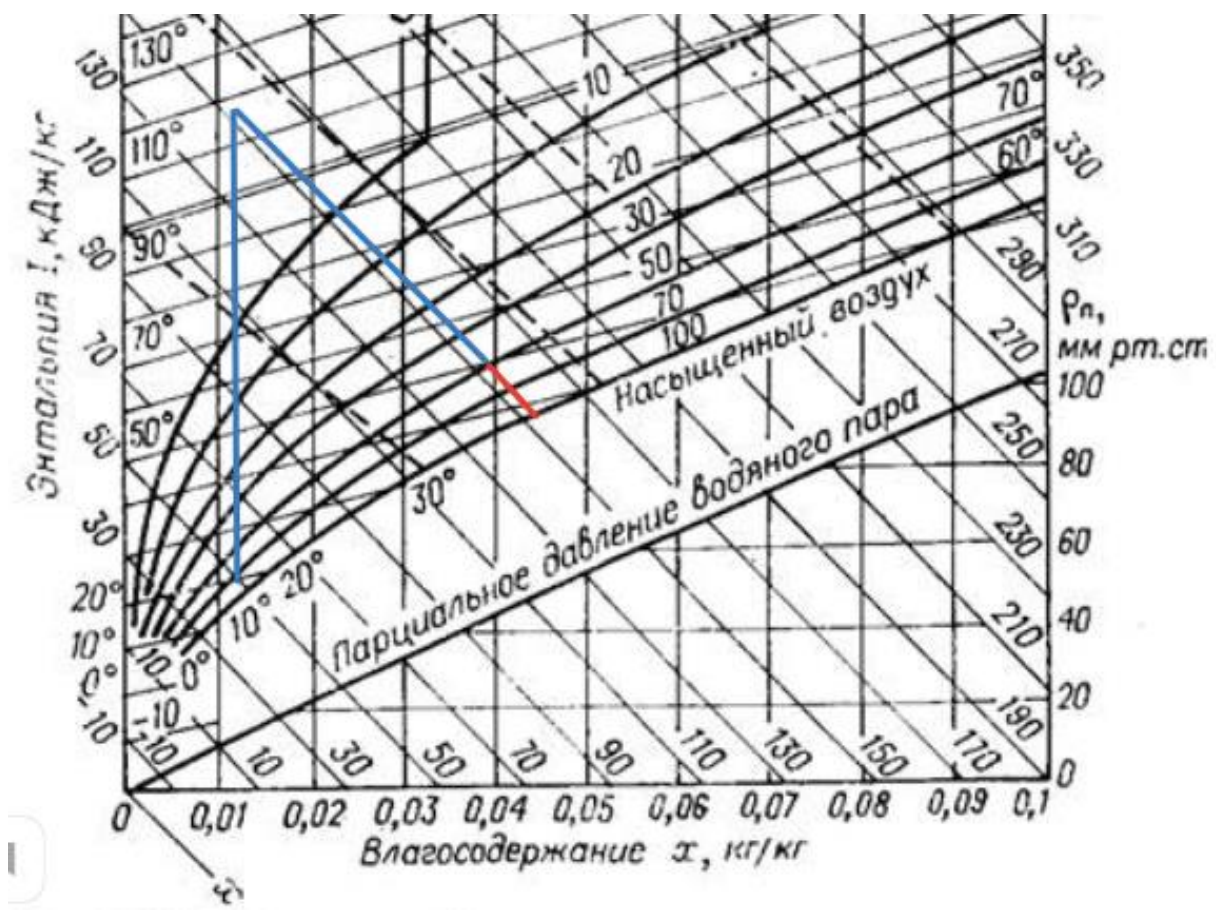


Рис. 9.1. Фрагмент диаграммы Рамзина

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анштейн, В. Г. Процессы и аппараты химической технологии: учебник / Анштейн В. Г., Захаров М. К. и др. – БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 1759 с. // [iprbookshop.ru](http://iprbookshop.ru): электрон.-библ. система. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/9103> – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
2. Романков, П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) / Романков П. Г., Фролов В. Ф., Флисюк О. М. – Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2017. – 544с. // [iprbookshop.ru](http://iprbookshop.ru): электрон.-библ. система. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/67350>. Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
3. Мидуков, Н. П. Гидродинамика волокнистых суспензий [Текст]: учеб. пособие / Н. П. Мидуков, В. С. Куров; М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики. – Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – 88 с. – ISBN 978-5-91646-222-7. – URL: <http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriarxt/1604025416.pdf>
4. Бутко, Г. Ю. Механика жидкости и газа [Текст]: учебное Пособие / Г. Ю. Бутко, А. О. Никифоров; М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018 – 100 с. – URL: [http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriarxt/2018\\_05\\_26\\_01\\_v2.pdf](http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriarxt/2018_05_26_01_v2.pdf)
5. Мидуков, Н. П. Процессы и аппараты химической технологии [Текст]: учебно- практическое пособие для самостоятельной работы студентов / Н. П. Мидуков, В. С. Куров, А. О. Никифоров; М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. – 95 с. – URL: <http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriarxt/4.pdf>
6. Мидуков, Н. П. Массообменные процессы в целлюлозно-бумажной промышленности [Текст]: учеб. пособие / Н. П. Мидуков, В. С. Куров, А. О. Никифоров; М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП, 2015. – 125 с.: ил. 22. – URL: <http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriarxt/2.pdf>
7. Мидуков, Н. П. Сборник кейсов по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» [Текст]: учебно-практическое пособие / Н. П. Мидуков, В. С. Куров, А. О. Никифоров; М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. – 98 с. – URL: [http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriarxt/2018\\_10\\_03\\_01.pdf](http://nizrp.narod.ru/metod/kafpriarxt/2018_10_03_01.pdf)

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА**

**ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

**ИНСТИТУТ ЗАОЧНОГО И ВЕЧЕРНЕГО ОБУЧЕНИЯ**

**заочная форма обучения**

Направление \_\_\_\_\_ Шифр \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № \_\_\_\_\_**

**По дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии»**

Студента \_\_\_\_\_ курса \_\_\_\_\_

*(Фамилия, Имя, Отчество)*

Дата и номер регистрации работы \_\_\_\_\_

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

---

**ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Институт заочного и вечернего обучения

## **Контрольная работа**

по дисциплине

«Процессы и аппараты химической технологии»

Выполнил

студент учебной группы №

шифр

---

*(фамилия, имя, отчество)*

Проверил

---

*(должность, фамилия, имя, отчество)*

**Санкт-Петербург**

**2021**



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

**Студентам направлений 18.03.01**

№ ВАРИАНТА	№ ЗАДАЧИ						
0	1.30	2.11	3.7	4.11	5.1	6.21	9.11
1	1.31	2.12	3.8	4.12	5.2	6.22	9.12
2	1.36	2.13	3.9	4.13	5.3	6.23	9.13
3	1.37	2.19	3.10	4.14	5.4	6.24	9.14
4	1.39	2.20	3.11	4.15	5.6	6.25	9.15
5	1.42	2.21	3.12	4.16	5.7	6.26	9.16
6	1.43	2.25	3.13	4.18	5.8	6.27	9.17
7	1.45	2.23	3.14	4.19	5.9	6.1	9.18
8	1.48	2.10	3.15	4.20	5.10	6.2	9.19
9	1.49	2.9	3.16	4.21	5.11	6.3	9.20

Номер варианта по последней цифре зачетной книжки.

**Студентам направлений 18.03.02**

№ ВАРИАНТА	№ ЗАДАЧИ						
0	1.16	2.1	3.19	4.1	5.22	6.20	9.21
1	1.17	2.2	3.20	4.2	5.23	6.19	9.22
2	1.20	2.3	3.21	4.3	5.24	6.18	9.23
3	1.21	2.4	3.22	4.4	5.21	6.17	9.24
4	1.22	2.5	3.23	4.5	5.20	6.16	9.25
5	1.23	2.6	3.24	4.6	5.19	6.15	9.26
6	1.24	2.7	3.25	4.7	5.18	6.14	9.27
7	1.25	2.8	3.26	4.8	5.17	6.13	9.28
8	1.28	2.9	3.27	4.9	5.16	6.12	9.29
9	1.29	2.10	3.28	4.10	5.15	6.11	9.30

Номер варианта по последней цифре зачетной книжки.

**Студентам направлений 15.03.02**

№ ВАРИАНТА	№ ЗАДАЧИ						
0	1.52	2.24	3.34	4.22	5.12	6.1	9.10
1	1.53	2.25	3.35	4.23	5.13	6.2	9.9
2	1.54	2.27	3.36	4.24	5.14	6.3	9.8
3	1.56	2.29	3.37	4.1	5.16	6.4	9.7
4	1.57	2.31	3.38	4.2	5.17	6.5	9.6
5	1.58	2.32	3.39	4.3	5.18	6.6	9.5
6	1.59	2.33	3.40	4.4	5.19	6.7	9.4
7	1.60	2.35	3.41	4.5	5.20	6.8	9.3
8	1.61	2.36	3.42	4.6	5.21	6.9	9.2
9	1.62	2.37	3.43	4.7	5.22	6.10	9.1

Номер варианта по последней цифре зачетной книжки.

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Требования к оформлению контрольных работ для студентов как очных, так и заочных форм обучения заслуживают особого внимания. Любая работа должна быть выполнена по ГОСТу. Основные нормы следующие: контрольную работу печатают на бумаге белого цвета формата А4. Шрифт 14 пт Times New Roman или Arial, интервал между строками 1 или 1,5. Отступ абзаца по всей работе соблюдается одинаковый. Для этого можно использовать клавишу Tab.

Важно соблюдать пропорции при оформлении контрольной работы на каждой странице. Для этого выбирают следующие размеры полей:

- левое поле – 30 мм;
- правое поле – 20 мм;
- верхнее поле – 20 мм;
- нижнее поле – 20 мм.

Все страницы должны быть пронумерованы. Титульная страница считается первой, но номер на ней не ставится. В соответствии с правилами оформления контрольной работы номер страницы рекомендуется указывать снизу по центру.

**Правило первое:** методические указания.

Если вам выдали методические указания к вашей контрольной работе, то именно в них надо искать требования: оформлять работу в тетради или печатать в Word, в чем строить графики, как подписывать, нужен ли список литературы и т. п.

Если в методичке есть типовый вариант решения – необходимо следовать ему.

**Правило второе:** сроки сдачи.

Работы сдаются на проверку примерно за месяц до начала сессии, но на каждой кафедре свои сроки и правила. Начинайте работать над контрольной заранее, не затягивайте с решением до последних дней. Уточните формат сдачи (тетрадку бандеролью по почте, файл решения электронным письмом, файл в doc, pdf или картинка? и т. п.).

**Правило третье:** вариант.

Внимательно относитесь к выбору задания. Иногда необходимо просто знать свой вариант. Иногда для выбора варианта требуются дополнительные данные: шифр группы, номер зачетной книжки, номер по списку и т.д.

**Правила остальные:**

Переписывайте условия задач в порядке их появления в методичке. Решение «вразброс» иногда даже не проверяют.

Выделяйте структуру в работе: обозначайте «задание» – «решение» – «ответ».

При расчете процессов и аппаратов применяйте различные физические величины, выраженные в Международной системе единиц (СИ).

В меру подробно изложите решение задачи. Если есть образец в методичке – делайте ближе к нему.

Проверяйте ответ, если возможно, в программах или онлайн-сервисах. Это не замена полноценного решения, а гарантия верности.

Если графики или вычисления нужны в определенной программе (Excel, Mathcad и т. п.), делать именно в ней.

После выполнения работы, структурируйте ее: добавьте содержание, если работа большая; список литературы, если требуется; расставьте переносы строк и начала новых страниц; проверьте суть ответа на теоретические вопросы (если они есть); проставьте автонумерацию страниц.

### **Критерии оценки контрольной работы**

Контрольная работа оценивается преподавателем отметками «зачтено» или «не зачтено». В случае отметки «не зачтено» за контрольную работу преподаватель в письменной форме на титульном листе или в НДОТ комментарии по недочетам, допущенным студентом.