

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**



«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор,  
председатель приемной  
комиссии ПНИПУ

*А.А. Ташкинов*  
А.А. Ташкинов

*2019*  
2019 г.

**ПРОГРАММА**  
вступительного испытания (междисциплинарного экзамена)  
для поступающих в магистратуру по направлению  
18.04.01 Химическая технология  
(Код и наименование направления)

Обеспечивающие кафедры: кафедра Химическая технология и экология

Пермь 2019

Программа содержит перечень тем (вопросов) по дисциплинам учебного плана подготовки бакалавров по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология», вошедших в содержание билетов (тестовых заданий) вступительных испытаний в магистратуру.

Составители: д-р техн. наук, доц.  С.В. Лановецкий

канд. хим. наук, доц.  М.А. Куликов

Программа рассмотрена и рекомендована к изданию методическим семинаром кафедры химической технологии и экологии

Протокол № 31 от «10» 04 20 19г.

Руководитель ООП  С.В. Лановецкий

Зав. кафедрой ХТиЭ  М.А. Куликов

# 1. ДИСЦИПЛИНЫ, ВКЛЮЧЕННЫЕ В ПРОГРАММУ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ В МАГИСТРАТУРУ

- 1.1. Общая химическая технология
- 1.2. Теоретические основы технологии неорганических веществ
- 1.3. Технология соединений связанного азота
- 1.4. Технология удобрений и солей
- 1.5. Процессы и аппараты химической технологии

## 2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН

### 2.1. Общая химическая технология

1. Химическая технология и её классификация. Структура, состав и компоненты химического производства. Иерархическая организация процессов в химическом производстве. Критерии оценки эффективности производства: степень превращения, выход, селективность, расходные коэффициенты, производительность, мощность.

2. Классификация сырья, запасы сырья, вторичные материальные ресурсы. Технические требования, предъявляемые к сырью и материалам. Рациональное и комплексное использование сырьевых ресурсов. Принципы обогащения сырья.

3. Энергия в химическом производстве. Основные виды энергии. Источники энергии. Концепция полного использования энергетических ресурсов. Вторичные энергетические ресурсы. Энергетическая эффективность химического производства.

4. Характеристика и основные закономерности гомогенных химических процессов. Общие сведения о гетерогенных некаталитических процессах: механизм, равновесие, движущая сила гетерогенных процессов. Каталитические процессы.

5. Уравнение материального баланса технологического процесса. Стехиометрические расчеты. Теоретический и практический материальный баланс. Общее уравнение энергетического баланса. Практический тепловой баланс.

6. Определить расходные коэффициенты в производстве технического карбида кальция, имеющего по анализу следующий состав:  $\text{CaC}_2$  – 78 %, C – 3 %, прочие примеси – 4 %. Расчёт провести на 1 т технического продукта. Карбид кальция получается согласно уравнению:  $\text{CaO} + 3\text{C} = \text{CaC}_2 + \text{CO}$ . Известь содержит 96,5 % CaO. Содержание в коксе: золы – 4 %, летучих – 4 %, влаги – 3 %.

7. Рассчитать расходные коэффициенты при производстве 1 т фосфора разложением фосфоритного концентрата. Процесс описывается уравнением:  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 5\text{C} + 3\text{SiO}_2 = 3\text{CaO} \times \text{SiO}_2 + 2\text{P} + 5\text{CO}$ . Концентрат содержит 25 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , кокс – 94,5 % углерода, степень восстановления фосфора 0,85.

8. Негашёная известь содержит 84 % оксида кальция, 12 % диоксида углерода и 4 % примесей. Получается она обжигом известняка, содержащего 89



% карбоната кальция. Диоксид углерода в негашёной извести получается из-за наличия в ней неразложившегося карбоната кальция, количество которого определяется степенью обжига известняка. Определить расходный коэффициент по известняку на 1 т извести указанного состава и степень обжига известняка.

9. Рассчитать расходные коэффициенты по сырью в производстве 1 т дигидрофосфата аммония, 1 т гидрофосфата аммония и 1 т фосфата аммония. Фосфорная кислота имеет концентрацию 58 %, а аммиак содержит 2 % влаги.

10. На упаривание поступает 9200 кг/ч 56 %-ного раствора аммиачной селитры. После упаривания из выпарного аппарата выводится 5350 кг/ч раствора с концентрацией 96 %  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Составить материальный баланс процесса упаривания.

11. Рассчитать теоретическую температуру горения этана при избытке воздуха 20 %, если теплота сгорания этана  $1,65 \times 10^6$  кДж/моль.

### Литература для подготовки

1. Бесков В.С. Общая химическая технология: учебник для вузов. – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 454 с.

2. Общая химическая технология. В 2-х т. Т.1: Теоретические основы химической технологии: учеб. для хим.-технол. спец. вузов. / Под ред. Мухленова И.П. - Москва: ООО «Издательский дом Альянс», 2009. - 256 с.

3. Общая химическая технология. В 2-х т. Т.2: Важнейшие химические производства: учеб. для хим.-технол. спец. вузов. / Под ред. Мухленова И.П. - Москва: ООО «Издательский дом Альянс», 2009. - 263 с.

4. Кузнецова И.М. Общая химическая технология: материальный баланс химико-технологического процесса: учеб. пособие. – Москва: «Логос», 2007. – 264 с.

5. Игнатенков В.И., Бесков В.С. Примеры и задачи по общей химической технологии: учеб. пособие для вузов. – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 198 с.

6. Общая химическая технология. Основные концепции проектирования химико-технологических систем / под ред. Х.Э. Харлампиدي. - СПб.: Издательство "Лань", 2014. - 384 с.

7. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов / под ред. Х.Э. Харлампиدي. - СПб.: Издательство "Лань", 2013. - 448 с.

8. Товажнянский Л.Л., Кошелева М.К., Бухкало С.И. Общая химическая технология в примерах, задачах, лабораторных работах и тестах: учеб. пособие. - М.: ИНФРА-М, 2017. - 447 с.

9. Козлов С.Г., Куликов М.А. Основы химической технологии. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 200 с.

10. Тихонов В.А., Середкина О.Р., Куликов М.А. Расчёты по химической технологии. Компьютерное моделирование химических процессов. - Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. –151 с.



## 2.2. Теоретические основы технологии неорганических веществ

1. Теоретический анализ химико-технологического процесса. Цель и этапы анализа ХТП.

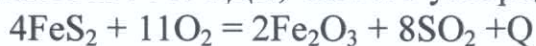
2. Теоретический анализ и оптимизация химико-технологических процессов и систем. Критерии эффективности ХТП и ХТС.

3. Применение термодинамического анализа в химической технологии. Оптимизация химико-технологического процесса с использованием методов термодинамического анализа.

4. Цель и задачи статического анализа. Оптимизация химико-технологического процесса с использованием методов статического анализа.

5. Кинетический анализ химико-технологического процесса. Оптимизация технологических параметров с использованием результатов термодинамического, статического и кинетического анализов.

6. Определить теоретическую теплотворную способность углистого колчедана, содержащего 45% S и 5% C. Известно, что при сгорании 1 кг чистого колчедана выделяется 7060 кДж, чистого углерода – 32700 кДж:



7. Степень окисления SO<sub>2</sub> в SO<sub>3</sub> составляет:  $x_1 = 0,55$  и  $x_2 = 0,96$ . Рассчитать изменение температуры в зоне реакции, если средняя теплоемкость газовой смеси, содержащей SO<sub>2</sub> – 8% (об.), O<sub>2</sub> – 11% (об.), N<sub>2</sub> – 81% (об.), условно принимается неизменной и составляет 1,382 кДж/(м<sup>3</sup>·°C).

8. Воздух, содержащий 79% (об.) N<sub>2</sub> и 21% (об.) O<sub>2</sub>, пропускают через электрическую дугу при температуре 2000°C. Определить равновесный состав реакционной смеси.

9. Определить равновесный состав газа (% об.) конверсии CO, протекающей по реакции



Сухой конвертированный газ (т.е. без учета содержания H<sub>2</sub>O), поступающий на конверсию, имеет следующий состав, % (об.): CO – 11; CO<sub>2</sub> – 8; H<sub>2</sub> – 58; N<sub>2</sub> – 23. Конверсия CO осуществляется при температуре 600 К и отношении H<sub>2</sub>O:CO = 4. Константа равновесия реакции при 600 К равна 28.

10. По экспериментальным данным построить диаграмму растворимости системы MgCl<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O, привести описание диаграммы.

11. По методу Вант-Гоффа и правилу рычага определить количество испарившейся воды в результате изотермического испарения при температуре 94°C 200 кг 30%-го раствора MgCl<sub>2</sub> до получения насыщенного раствора (результаты сравнить). С использованием правила рычага определить количество и состав твердой фазы, образующейся в результате изотермического испарения при этой же температуре полученного насыщенного раствора до концентрации 45%.

12. Используя диаграмму растворимости трехкомпонентной системы KCl – NaCl – H<sub>2</sub>O определить количество и состав фаз, образующихся при



растворении 100 кг сильвинита состава точки S маточным раствором состава точки R, взятом в количестве 380 кг.

13. Используя диаграмму растворимости трехкомпонентной системы  $KCl - NaCl - H_2O$  определить выход хлорида калия, если на растворение 1000 кг сильвинита S подается растворяющий щелок состава т. E30. Руда и щелок взяты в оптимальном соотношении.

14. Пользуясь диаграммой смеси  $H_2SO_4 - HNO_3 - H_2O$ , определите состав тройной смеси (в % и кг), состоящей из 1000 кг 90%-ной серной кислоты и некоторого количества 60%-ной азотной кислоты, при условии получения при перегонке 99%-ной азотной кислоты. Определить, сколько кг 60%-ной азотной кислоты необходимо взять на 1000 кг 90%-ной серной кислоты и концентрацию разбавленной серной кислоты.

15. Используя диаграмму растворимости трехкомпонентной системы  $KCl - MgCl_2 - H_2O$ , определить массу хлорида калия, выделяющегося при изотермическом выпаривании 100 кг ненасыщенного раствора состава т. F. Количество испарившейся воды должно соответствовать оптимальному количеству, при котором достигается получение хлорида калия из карналлита с максимальным выходом и наилучшего качества.

#### Литература для подготовки

1. Москвичев Ю.А., Григоричев А.К., Павлов О.С. Теоретические основы химической технологии. - СПб.: Издательство "Лань", 2016. - 272 с.
2. Химическая технология. Теоретические основы / под ред. В.В. Лунина. - М.: ИЦ "Академия", 2015. - 464 с.
3. Рахимова О.В. Теоретические основы технологии неорганических веществ: учеб. пособие. – Пермь: Березниковский филиал Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 239 с.
4. Закгейм А.Ю. Общая химическая технология. Введение в моделирование химико-технологических процессов: учеб. пособие. – Москва: «Логос», 2010. – 304 с.
5. Моделирование химико-технологических систем: учеб. пособие/ Тихонов В.А., Лановецкий С.В., Косвинцев О.К. – Березниковский филиал Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Пермь, 2012. – 61 с.

### 2.3. Технология соединений связанного азота

1. Методы фиксации атмосферного азота. Основные виды азотных удобрений. Принципиальная схема современного азотного предприятия.
2. Принципиальная схема получения синтетического аммиака. Технологическая схема синтеза аммиака при среднем давлении.
3. Технологические схемы синтеза аммиака Краткая характеристика каждой схемы, их преимущества и недостатки.
4. Технологическая схема конверсии метана в производстве синтетического аммиака. Конструктивное оформление стадии.



5. Очистка конвертированного газа от кислородсодержащих соединений. Суть методов очистки.
6. Принципиальная и технологическая схемы получения разбавленной азотной кислоты под повышенным давлением.
7. Технологические схемы производства неконцентрированной азотной кислоты. Краткая характеристика каждой схемы, их преимущества и недостатки.
8. Переработка оксидов азота в разбавленную азотную кислоту. Конструкционные особенности абсорбционной колонны.
9. Производство водорода из газообразного топлива. Подготовка природного газа и его конверсия.
10. Синтез аммиака. Механизм синтеза аммиака. Оптимальные условия синтеза. Конструкционные особенности колонны синтеза.
11. Технологическая схема получения разбавленной азотной кислоты под повышенным давлением. Конструктивное оформление стадий.
12. Каталитическое окисление аммиака в оксид азота (II). Оптимальные условия и механизм процесса.
13. Физико-химические основы переработки оксидов азота в разбавленную азотную кислоту.
14. Концентрирование азотной кислоты при помощи водоотнимающих средств. Прямой синтез концентрированной азотной кислоты.
15. Составьте материальный баланс стадии нейтрализации в производстве аммиачной селитры. Производительность по готовому продукту – 56984 кг/час. Содержание  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  в готовом продукте – 98,8 %. Потери аммиачной селитры на различных стадиях – 0,26 %. Степень превращения  $\text{NH}_3$  – 100 %. Степень превращения  $\text{HNO}_3$  – 99,7 %. Содержание  $\text{NH}_3$  в газообразном аммиаке – 100 %. Содержание  $\text{HNO}_3$  в азотной кислоте – 58 %. Содержание  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  в растворе аммиачной селитры – 89,9 %. Содержание свободной азотной кислоты в растворе аммиачной селитры – 0,2 %.
16. Рассчитайте количество аммиачной селитры, карбамида и воды для получения 1000 кг жидкого азотного удобрения КАС-30, если соотношение карбамид : аммиачная селитра составляет 0,8.
17. Рассчитайте массу нитрата натрия, сульфата аммония и нитрата кальция, эквивалентную 1 т чистого нитрата аммония по содержанию азота.
18. Тепловой эффект нейтрализации 56,5 %-ной азотной кислоты аммиаком составляет 108 кДж/моль. Рассчитайте количество воды, которое может испариться за счет тепла нейтрализации 215 кг аммиака, если теплота парообразования для воды равна 2684 кДж/кг.
19. Рассчитайте количество воды, которое необходимо выпарить при получении 150 т 95 %-ного нитрата аммония. Для нейтрализации используют 49 %-ную азотную кислоту и 100 %-ный аммиак.
20. Рассчитайте выход нитрата аммония, если для получения 18,7 т  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  израсходовано 19,7 м<sup>3</sup> азотной кислоты (57 %  $\text{HNO}_3$ ,  $\rho = 1351 \text{ кг/м}^3$ ).



#### Литература для подготовки

1. Островский С.В. Химическая технология неорганических веществ: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 300 с.
2. Ильин А.П., Кунин А.В. Производство азотной кислоты. - СПб.: Изд-во ЛАНЬ, 2013. - 256 с.
3. Соколов Р.С. Химическая технология. В 2-х т. Т. 1: Химическое производство в антропогенной деятельности. Основные вопросы химической технологии. Производство неорганических веществ. - Москва: ВЛАДОС, 2003. - 368 с.
4. Химическая технология неорганических веществ: Кн.1: учеб. пособие / под ред. Т.Г. Ахметова. - СПб.: Лань, 2017. - 688 с.
5. Химическая технология неорганических веществ: Кн. 2: учеб. пособие / под ред. Т.Г. Ахметова. - СПб.: Лань, 2017. - 536 с.
6. Рахимова О.В. Технология соединений связанного азота: учеб. пособие. – Пермь: ПГТУ, 2009. – 126 с.
7. Куликов М.А. Катализ и каталитические процессы: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 328 с.
8. Куликов М.А. Технология производств неорганических веществ: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – 200 с.

#### 2.4. Технология удобрений и солей

1. Сырьевые источники для получения минеральных удобрений и солей. Состав сырья и схематичное строение Верхнекамского месторождения.
2. Способы переработки водорастворимого сырья. Процессы переработки труднорастворимого сырья.
3. Классификация минеральных удобрений. Свойства минеральных удобрений и пути их модификации.
4. Состав и свойства аммиачной селитры. Пути снижения слеживаемости  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .
5. Технологическая схема и аппаратное оформление процесса получения гранулированной аммиачной селитры из разбавленной азотной кислоты и газообразного аммиака.
6. Свойства и методы получения карбамида. Равновесие и скорость реакции синтеза карбамида.
7. Промышленные способы синтеза карбамида и их сравнительная характеристика. Технологическая схема синтеза карбамида с полным жидкостным рециклом.
8. Характеристика Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Основные способы получения хлорида калия, их достоинства и недостатки.
9. Физико-химические основы процесса выщелачивания хлорида калия из сильвинита. Моделирование процесса растворения хлорида калия с помощью диаграммы растворимости системы «хлорид калия – хлорид натрия – вода».



10. Кинетические закономерности процесса растворения хлорида калия. Факторы, влияющие на скорость растворения сильвинитовой руды и потери хлорида калия с галитовым отвалом.

11. Кристаллизация хлорида калия. Статический анализ процесса кристаллизации хлорида калия по диаграмме растворимости системы «хлорид калия – хлорид натрия – вода». Влияние температурного режима кристаллизации и состава насыщенного щелока на количество и качество кристаллизата.

12. Принципиальная схема производства хлорида калия галургическим способом. Назначение стадий. Оптимальные условия ведения технологического процесса. Основное технологическое оборудование.

13. Флотационное обогащение сильвинита. Основные стадии процесса обогащения, технологическое оборудование.

14. Физико-химические основы флотации. Флотационные реагенты. Основные формы взаимодействия реагентов с минералами.

15. Подготовка сильвинитовой руды к флотации. Способы обесшламливания сильвинита.

16. Способы получения кальцинированной соды. Сырье и вспомогательные материалы содового производства.

17. Принципиальная схема производства кальцинированной соды аммиачным способом. Основные реакции.

18. Переработка карбонатного сырья. Подготовка рассола и его очистка.

19. Аммонизация и карбонизация очищенного рассола.

20. Выделение гидрокарбоната натрия и его кальцинация.

21. Регенерация аммиака из жидкостей содового производства.

22. Производство тяжелой соды.

23. Рассчитайте часовой расход 58 %-ной  $\text{HNO}_3$  и газообразного аммиака на производство 1000 кг/час нитрата аммония. Плотность азотной кислоты принять равной  $1360 \text{ кг/м}^3$ .

24. Определите расход известняка для нейтрализации 30 %-ной азотной кислоты при производстве 1 т кальциевой селитры. Выход кальциевой селитры 85 %, содержание  $\text{CaCO}_3$  в известняке составляет 95 %.

25. Рассчитайте расход соды и гидроксида кальция для очистки  $1 \text{ м}^3$  сырого рассола. Рассол содержит 6,7 кг  $\text{CaSO}_4$ , 0,6 кг  $\text{MgCl}_2$  и 0,3 кг  $\text{CaCl}_2$ . Содержание  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в соде составляет 99,2 %, избыток гидроксида кальция составляет 10 % от стехиометрии.

26. Рассчитайте концентрацию диоксида углерода в печном газе обжига известняка при теоретическом расходе углерода. Разложение карбоната кальция протекает по реакции



Образующийся при этом газ на 100 % состоит из диоксида углерода. При сгорании углерода в теоретическом объеме воздуха образующийся газ содержит 21 % об. диоксида углерода. Теплотворная способность углерода составляет  $33940 \text{ кДж/кг}$ .



27. Рассчитайте степень использования натрия в процессе карбонизации. Концентрация  $\text{NH}_4\text{Cl}$  в маточном растворе составляет  $185 \text{ г/дм}^3$ , концентрация хлорид-ионов составляет  $177 \text{ г/дм}^3$ .

28. Рассчитайте расход рассола хлорида натрия, известняка и аммиака для получения 1 т соды, содержащей 99,5 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Для получения используется 100 %-ный карбонат кальция и 100 %-ный аммиак. Рассол содержит  $306 \text{ г/дм}^3$  хлорида натрия, степень превращения  $\text{NaCl}$  в  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  составляет 74 %.

29. Рассчитайте теоретическое содержание диоксида углерода в газе обжига известняка. Расход углерода составляет 6,5 кг на 100 кг карбоната кальция. При обжиге используется обогащенный кислородом воздух, содержащий 27 % об.  $\text{O}_2$ .

30. Определите количество тепла, которое необходимо отвести в процессе аммонизации рассола до концентрации  $81,0 \text{ г/дм}^3$ , чтобы температура рассола не превышала  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Исходные данные для расчета:

- на аммонизацию рассола поступает парогазовая смесь из отделения дистилляции, содержащая 400 кг водяного пара на 1000 кг аммиака;
- вместе с аммиаком  $1 \text{ м}^3$  рассола поглощается 49 кг  $\text{CO}_2$ ;
- теплоемкость рассола составляет  $3,27 \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$ ;
- аммонизированный рассол имеет плотность  $1175 \text{ кг/м}^3$ ;
- теплота растворения аммиака  $35400 \text{ кДж/кмоль}$ ;
- теплота растворения диоксида углерода  $24700 \text{ кДж/кмоль}$ ;
- теплота нейтрализации диоксида углерода до карбоната аммония составляет  $70500 \text{ кДж/кмоль}$ ;
- конденсация водяного пара в абсорбере протекает при температуре  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ , теплота конденсации пара при этой температуре составляет  $2360 \text{ кДж/кг}$ ;
- на аммонизацию поступает рассол с температурой  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- количество абсорбирующегося аммиака составляет 1000 кг.

#### Литература для подготовки

1. Общая химическая технология. В 2-х т. Т.2: Важнейшие химические производства: учеб. для хим.-технол. спец. вузов. / Под ред. Мухленова И.П. - Москва: ООО «Издательский дом Альянс», 2009. - 263 с.
2. Островский С.В. Химическая технология неорганических веществ: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 300 с.
3. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений. – М: Химия, 1989. – 352 с.
4. Соколов Р.С. Химическая технология. В 2-х т. Т. 1: Химическое производство в антропогенной деятельности. Основные вопросы химической технологии. Производство неорганических веществ. - Москва: ВЛАДОС, 2003. - 368 с.
5. Химическая технология неорганических веществ: Кн.1: учеб. пособие / под ред. Т.Г. Ахметова. - СПб.: Лань, 2017. - 688 с.
6. Химическая технология неорганических веществ: Кн. 2: учеб. посо-



бие / под ред. Т.Г. Ахметова. - СПб.: Лань, 2017. - 536 с.

7. Куликов М.А. Химическая технология неорганических веществ. - Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. - 180 с.

8. Рахимова О.В. Технология минеральных удобрений: учеб. пособие. - Пермь: Березниковский филиал Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. - 134 с.

9. Тихонов В.А., Козлов С.Г., Куликов М.А. Технология содового производства: учеб. пособие. - Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2016. - 135 с.

10. Куликов М.А. Технология удобрений и солей: учеб.-метод. пособие. - Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. - 76 с.

11. Куликов М.А. Технология производств неорганических веществ: учеб. пособие. - Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. - 200 с.

## **2.5. Процессы и аппараты химической технологии**

1. Классификация основных химико-технологических процессов. Общие принципы расчета процессов и аппаратов.

2. Гидростатика. Основные физические свойства жидкости. Основное уравнение гидростатики.

3. Уравнение Бернулли для идеальных и реальных жидкостей. Гидравлическое сопротивление в трубопроводах. Потери давления и напора на трение и местные сопротивления в трубопроводе, и их расчет.

4. Классификация насосов и их основные рабочие параметры. Основные типы насосов и их сравнительные характеристики.

5. Классификация и основные характеристики неоднородных систем. Сущность основных способов разделения. Основные конструкции отстойников, центрифуг, фильтров.

6. Разделение неоднородных систем под действием силы тяжести. Скорость осаждения. Особенности конструкций отстойников и расчет их основных размеров.

7. Фильтрация неоднородных систем. Классификация способов фильтрования и фильтров. Фильтрующие перегородки. Виды осадков (сжимаемые и несжимаемые). Скорость фильтрования и ее зависимость от перепада давления, температуры и структуры осадка.

8. Центробежное отстаивание и центробежное фильтрование, фактор разделения и индекс производительности. Классификация центрифуг.

9. Очистка газов от взвешенных частиц. Способы очистки газов.

10. Перемешивание в жидких средах. Виды перемешивания. Эффективность и интенсивность перемешивания. Конструкции мешалок, их характеристики и область применения.

11. Сущность и виды тепловых процессов. Значение процессов теплообмена в химической промышленности. Тепловые балансы и тепловая нагрузка аппаратов. Основное уравнение теплопередачи, теплоотдачи, теплопроводности.



12. Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи. Коэффициент теплопередачи и его связь с коэффициентом теплоотдачи. Движущая сила процесса (средняя разность температур теплоносителей). Взаимное направление движения теплоносителей (прямоток, противоток, смешанный ток, перекрестный ток), его оптимальный выбор и влияние на среднюю разность температур.

13. Теплообменные аппараты, их классификация. Устройство поверхностных и смесительных, теплообменников. Сравнительная характеристика теплообменников различных конструкций.

14. Назначение процесса выпаривания и технические методы выпаривания растворов. Материальный и тепловой балансы процесса выпаривания. Основные разновидности схем выпарных установок.

15. Массообменные процессы и их классификация. Молекулярная и конвективная диффузия процесса массопереноса.

16. Расчет рабочей высоты массообменных аппаратов с непрерывным и ступенчатым контактом фаз. Число и высота единиц переноса. Способы расчета числа единиц переноса.

17. Характеристика процесса абсорбции. Равновесие при абсорбции. Конструкции абсорберов (насадочные, тарельчатые, распылительные).

18. Общая характеристика процесса адсорбции. Характеристика адсорбентов и их виды. Конструкции адсорбционных установок.

19. Ректификация. Материальный баланс ректификационной колонны. Методика расчета высоты ректификационной колонны.

20. Характеристика процесса сушки. Способы сушки. Характеристики влажного воздуха. Диаграмма энтальпия–влажность воздуха I-x.

21. Материальный и тепловой балансы процесса сушки. Удельные расходы воздуха и тепла. Кинетика процесса сушки. Конструкции сушилок.

22. Определить диаметр и высоту насадочного абсорбера заполненного кольцами Палля. Удельная поверхность насадки =  $170 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ; поверхность контакта фаз =  $2500 \text{ м}^2$ ; объемный расход газа через колонну равен  $1,7 \text{ м}^3/\text{с}$ , а скорость газа =  $1,1 \text{ м/с}$ .

23. По межтрубному пространству кожухотрубного теплообменника проходит анилин со скоростью  $0,5 \text{ м/с}$ . Теплообменник состоит из 19 стальных труб диаметром  $26 \times 2,5 \text{ мм}$ ; длиной  $2,7 \text{ м}$ . Внутренний диаметр кожуха  $200 \text{ мм}$ . Коэффициент сопротивления –  $\lambda=0,034$ . Определить потерю давления на трение в межтрубном пространстве. Плотность анилина  $1040 \text{ кг/м}^3$ .

24. Насос перекачивает жидкость плотностью  $960 \text{ кг/м}^3$  из резервуара с атм. давлением в аппарат давление в котором  $37 \text{ кгс/см}^2$ . Высота подъема  $16 \text{ м}$ . Общее сопротивление на всасе и нагнетании составляет  $65,6 \text{ м}$ . Определить полный напор, развиваемый насосом, а также его полезную мощность, если производительность насоса  $0,01 \text{ м}^3/\text{с}$ .

25. Определить диаметр отстойника, для непрерывного осаждения отмученного мела в воде. Производительность отстойника  $80 \text{ т/час}$  начальной суспензии, содержащей  $8 \%$  (масс)  $\text{CaCO}_3$ . Диаметр наименьших частиц



подлежащих осаждению 35 мкм. Температура суспензии 15°C. Влажность шлама 70 %. Плотность мела 2710 кг/м<sup>3</sup>.

26. Аппарат диаметром 2 м и высотой 5 м покрыт слоем изоляции из асбеста толщиной 75 мм. Температура стенки аппарата 146°C, температура наружной поверхности 40°C. Определить потери теплоты (тепловой поток) через слой изоляции, если  $\lambda = 0,151$  Вт/м·К.

27. Определить площадь поверхности теплообмена и тепловую нагрузку аппарата для нагрева 1,75 кг/с бензола от 20°C до температуры кипения 80°C, с помощью горячей жидкости, температура которой изменяется от 100°C до 30°C. Коэффициент теплопередачи  $K = 600$  Вт/м<sup>2</sup> К. Движение теплоносителей противоточное,  $c_{\text{бенз.}} = 1877$  Дж/кг·К

28. Определить коэффициент теплоотдачи для бензола, движущегося по кольцевому сечению  $D = 76 \times 4$ ,  $d = 38 \times 2$ . Средняя температура = 40°C, скорость движения бензола составляет 0,65 м/с,  $\lambda_{\text{бенз}} = 0,1404$  Вт/м·К.,  $\mu_{\text{бен}} = 0,492 \cdot 10^{-3}$  Па·с;  $\rho_{\text{бенз}} = 858$  кг/м<sup>3</sup>;  $c_{\text{бенз}} = 1827$  Дж/кг·К.

29. В трехкорпусной выпарной установке упаривается 2,45 кг/с водного раствора NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> от начальной концентрации 10 % до конечной концентрации 56 % (масс). Определить концентрацию растворов по корпусам, если соотношение количества выпариваемой воды по корпусам следующее  $W_1:W_2:W_3 = 1,0:1,1:1,2$ .

30. Определить расход воздуха на сушку, если в сушилку поступает 1,95 кг/с влажного материала. Влажность материала изменяется от 14 % (масс) до 0,5 % (масс). Состояние воздуха характеризуется следующими параметрами: до сушки  $t_1 = 70^\circ\text{C}$ ,  $\omega_1 = 5$  %, на выходе из сушилки  $t_2 = 60^\circ\text{C}$ ,  $\omega_2 = 50$  %.

31. При помощи аналитического метода определить влагосодержание и энтальпию воздуха при температуре 30°C, относительная влажность  $\phi = 75\%$ , общее давление составляет 0,098 МПа. Сравнить полученные данные с данными влагосодержания и энтальпии, определенные по диаграмме Рамзина.

32. Определить расход серной кислоты для осушки воздуха при следующих данных. Производительность скруббера 500 м<sup>3</sup>/час (считая на сухой воздух при нормальных условиях). Начальное содержание влаги в воздухе 0,016 кг/кг сухого воздуха, конечное содержание 0,006 кг/кг сухого воздуха. Начальное содержание воды в кислоте 0,6 кг/кг моногидрата, конечное содержание 1,4 кг/кг моногидрата. Осушка воздуха производится при атмосферном давлении.

33. При расчете ректификационной колонны с колпачковыми тарелками принято расстояние между тарелками 300 мм. Через ректификационную колонну проходит 3200 м<sup>3</sup>/ч пара. Плотность пара при нормальных условиях составляет 1,25 кг/м<sup>3</sup>. Плотность жидкости 430 кг/м<sup>3</sup>. Избыточное давление в колонне 0,2 кгс/см<sup>2</sup> и средняя температура равна -40 °C. Определить требуемый диаметр колонны, ее высоту и количество тарелок, если расстояние между колпачковыми тарелками составляет 300 мм, а время движения пара от поверхности кипения до верхней тарелки составляет 15 с.

34. Определить высоту и диаметр массообменного аппарата, если расход газовой фазы составляет 20000 м<sup>3</sup>/ч, коэффициент массотдачи



$\beta_y=0,2\text{кг}/(\text{м}^2\text{с})$ , коэффициент массоотдачи  $\beta_x=0,003\text{ кг}/(\text{м}^2\text{с})$ , скорость движения газа через колонну  $\omega=3\text{м}/\text{с}$ , плотность газа  $=1,3\text{ кг}/\text{м}^3$ , концентрация полезного компонента в газовой фазе на входе в колонну составляет  $y_n=15\%$ , а на выходе из колонны  $y_k=0,7\%$ , коэффициент распределения  $m=0,6$ , удельная поверхность контакта фаз  $a=150\text{м}^2/\text{м}^3$ , число единиц переноса для газовой фазы  $n_{\text{оу}}$  составляет 6.

#### Литература для подготовки

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – Москва: ООО ИТД «Альянс», 2014. – 752 с.
2. Романков П.Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи). – СПб.: «Химиздат», 2009.- 544 с.
3. Баранов Д.А. Процессы и аппараты химической технологии: учеб. пособие. - М.: Издательство "Лань", 2016. - 408 с.
4. Гидромеханические, тепловые и массообменные процессы: учебное пособие/ С. В. Лановецкий, О.К. Косвинцев .— Пермь.: ПГТУ, 2011.— 308 с.

### 3. ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА (ТЕСТОВОГО ЗАДАНИЯ)

<p>ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ</p>	<p>ВСТУПИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ (междисциплинарный экзамен) по направлению 18.04.01 Химическая технология</p>
--	--

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Методы связывания атмосферного азота. Принципиальная схема азотно-го предприятия. Продукты технологии соединений связанного азота, области их применения. (25 баллов)
2. Сырьевые источники для получения минеральных удобрений и солей. Способы переработки водорастворимого сырья. Процессы переработки трудно-растворимого сырья. (25 баллов)
3. По межтрубному пространству кожухотрубного теплообменника проходит анилин со скоростью 0,5 м/с. Теплообменник состоит из 19 стальных труб диаметром 26×2,5 мм; длиной 2,7 м. Внутренний диаметр кожуха 200 мм. Коэффициент сопротивления –  $\lambda=0,034$ . Определить потерю давления на трение в межтрубном пространстве. Плотность анилина 1040 кг/м<sup>3</sup>. (50 баллов)