

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт политехнический

Кафедра промышленной энергетики

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИПТ
 А.Н. Чадин
"21" 03 2017 г.


ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Учебный модуль по направлению подготовки
13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

Рабочая программа

СОГЛАСОВАНО

Начальник учебного отдела

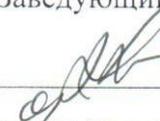
 О.Б. Широколобова

"01" 03 2017 г.

Разработал
профессор

 И.В. Швецов
"01" 03 2017 г.

Принято на заседании кафедры
Протокол № 7 от 01.03.2017 г.
Заведующий кафедрой

 И.В. Швецов
"01" 03 2017 г.

1. Цели и задачи учебного модуля

Цель учебного модуля - формирование компетенций по методам оценки показателей надежности автоматизированных систем управления и обеспечения необходимой надежности при проектировании и эксплуатации систем управления. Также - дать студентам представления, знания, умения и навыки в вопросах надежности теплоэнергоустановок и систем для дальнейшей их профессиональной деятельности в качестве инженера-протеплоэнергетика. Задача учебного модуля – знакомство обучающихся с основополагающими знаниями в области анализа, построения альтернативных моделей и расчета характеристик надежности восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем, способов оптимального резервирования, расчета надежности программного обеспечения автоматических и автоматизированных систем управления.

2. Место учебного модуля в структуре ОП направления подготовки

Изложение материала является базой для направления “Теплоэнергетика и теплотехника”. Знания, полученные в процессе изучения учебного модуля, используются студентами при изучении специальных курсов при подготовке специалистов теплоэнергетиков, при изучении безопасности производственных процессов, а также при выполнении выпускной квалификационной работы. Индекс модуля Б3.В2. Модуль базируется на следующих модулях: «Химия» и «Физика». Формируемые компетенции определяются Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 - «Теплоэнергетика и теплотехника».

3. Требования к результатам освоения учебного модуля

Процесс изучения учебного модуля направлен на формирование следующих компетенций:

- ПК–7 - способностью обеспечивать соблюдение правил техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности, норм охраны труда, производственной и трудовой дисциплины

- ОПК–2 - способностью демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

Процесс изучения УМ направлен на формирование компетенций:
 В результате освоения УМ студент должен знать, уметь и владеть:

Таблица 1

Код компетенции	Уровень освоения компетенции	Знать	Уметь	Владеть
ОПК-2,ПК-7	базовый	способностью демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	использование базовых знаний в области естественнонаучных дисциплин и основные законы в профессиональной деятельности, применение математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	математическими для анализа и синтеза автоматических систем управления технологическими процессами в энергетике и промышленности

4 Структура и содержание учебного модуля

4.1 Трудоемкость учебного модуля

В структуре УМ выделены учебные элементы модуля (УЭМ) в качестве самостоятельных разделов.

Таблица 2

Учебная работа (УР)	Всего	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
		6	
Трудоемкость модуля в зачетных единицах (ЗЕТ)	6	6	
Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ):	216	216	ОПК-2, ПК-7
1) УЭМ1 – ММ:			
- лекции	36	36	
- практические занятия (семинары)	54	54	
- лабораторные работы			
- аудиторная СРС	18	18	
- внеаудиторная СРС	90	90	
Аттестация:	36	36	
- ЭКЗАМЕН			

*) экзамены принимаются в часы аудиторной СРС.

4.2 Содержание и структура разделов учебного модуля

1. Методы и средства контроля в производственных процессах. Современные методы исследований физико-химических процессов и явлений. Современные методы контроля в производственных процессах. Жесткость, щелочность, рН, окисляемость, концентрация ионов, концентрация грубодисперсных примесей, сухой остаток, прокаленный остаток. Естественный химический состав поверхностных и подземных природных вод.

2. Методы предварительной очистки и обработки воды. Удаление грубодисперсных и коллоидных примесей из природных вод. Физико-химические основы коагуляции природной воды и изменение ее химического состава. Ионообменные материалы, применяемые на водоподготовительных установках. Основные закономерности ионного обмена. Технология катионирования. Na-катионирование. H-катионирование. Принципиальные схемы ионитного обессоливания воды с одной и несколькими ступенями раздельного H-OH-ионирования.

3. Термическое обессоливание и мембранные методы очистки воды. Технология дистилляции воды в испарителях различных типов. Область применения термического обессоливания воды. Принцип работы испарителей. Особенности ионного обмена и процессов в ионообменных мембранах. Принципиальные схемы электродиализных аппаратов. Диализ. Обратный осмос. Процессы, протекающие в установках. Характеристики мембран. Ионообменные мембраны. Электродиализ. Ультрафильтрация.

4. Удаление из воды растворимых газов. Процессы абсорбции и десорбции газов. Технология деаэрации воды. Технология декарбонизации воды. Химические методы удаления из воды коррозионноагрессивных газов.

5. Магнитные методы обработки воды и обработка воды реагентами. Обработка воды для получения неприкипающего шлама: обработка воды фосфатами, комплексообразующими веществами, антинакипинами. Магнитный метод обработки воды. Электромагнитные и магнитные фильтры для обезжелезивания воды

6. Водно-химический режим теплотехнического оборудования. Воднохимические режимы (ВХР) теплотехнических объектов. Основные задачи ВХР. Пути поступления примесей в циклы паротурбинной установки. Поведение примесей водного теплоносителя в пароводяном тракте.

7. Физическое и математическое описание физико-химических процессов и явлений. Поверхностные явления. Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем. Коагуляция. Классификация коррозионных повреждений. Физико-химические основы коррозии. Химическая коррозия. Электрохимическая коррозия. Влияние внутренних и внешних факторов на протекание коррозионных процессов. Коррозия конденсатно-питательного тракта, парообразующих труб и барабанов котлов во время эксплуатации, пароперегревателей, конденсаторов турбин.

8. Поступление органических примесей в пароводяной тракт ТЭС. Термическое разложение органических примесей в пароводяном тракте. Загрязнение пара органическими примесями. Влияние органических примесей на работу оборудования.

9. Методы и средства контроля в производственных процессах. Современные методы исследований физико-химических процессов и явлений. Современные методы контроля в производственных процессах.

Календарный план, наименование разделов учебного модуля с указанием трудоемкости по видам учебной работы представлены в технологической карте учебного модуля (приложение Б).

4.3 Темы и содержание практических занятий

Таблица 4

Практические занятия (семинары)	Трудоемкость, АЧ
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. Определение высоты движущегося слоя активного угля в адсорбере для очистки сточной воды от фенола	6
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. Определение объёмного коэффициента массоотдачи в зернистом слое активного угля при удалении веществ загрязнителей из сточной воды	6
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. Определение инерционного коэффициента осаждения пыли при обтекании потоком частиц нити фильтра	6
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4. Определение движущей силы процесса поглощения ацетона водой из воздуха	6
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5. Определение времени действия защитного слоя	6
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6. Определение необходимых размеров слоя насадки из колец Рашига, орошаемого раствором $\text{Ca}(\text{OH})_2$	6
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7. Определение изотермы адсорбции диэтилового эфира на активном угле по известной изотерме адсорбции	6
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8. Определение движущей силы процесса в слое активного угля	6
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 9. Определение скорости запылённого газа в горловине трубы Вентури	6
Итого за 6 семестр:	54

4.4 Темы и содержание лабораторных работ

НЕТ

4.5 Самостоятельная работа студентов включает работу с интернет-источниками, предоставляющими свободный доступ к демо-версиям программных продуктов, проработку полученных на занятиях теоретических знаний с использованием дополнительной литературы и специализированных интернет-сайтов, анализ литературных и интернет-источников для выполнения контрольных работ и индивидуальных домашних заданий или в виде рефератов.

4.6 Организация изучения учебного модуля

Реализация данной модели предполагает использование следующих технологий стратегического уровня (задающих организационные формы взаимодействия субъектов образовательного процесса), осуществляемых с использованием определенных тактических процедур:

- лекционные (вводная лекция, информационная лекция, обзорная лекция, лекция-консультация, проблемная лекция);
- практические занятия (углубление знаний, полученных на теоретических занятиях, формирование практических навыков работы);
- самоуправления (самостоятельная работа студентов, самостоятельное изучение материала, написание реферата).

Рекомендуется использование информационных технологий при организации коммуникации со студентами для представления информации, выдачи рекомендаций и консультирования по оперативным вопросам (электронная почта), использование мультимедиа-средств при проведении лекционных и практических занятий.

5 Контроль и оценка качества освоения учебного модуля

Контроль качества освоения студентами УМ и его составляющих осуществляется непрерывно в течение всего периода обучения с использованием балльно-рейтинговой системы (БРС), являющейся обязательной к использованию всеми структурными подразделениями университета.

Для оценки качества усвоения курса используются следующие формы контроля:

- **текущий:** контроль выполнения практических аудиторных и домашних заданий, работы с литературой.
- **рубежный:** предполагает учет суммарных результатов по итогам текущего контроля за соответствующий период, систематичность работы и творческий рейтинг (участие в конференции, публикации, творческие идеи).
- **семестровый:** экзамен осуществляется посредством суммирования баллов за семестр.

Оценка качества освоения модуля осуществляется с использованием фонда оценочных средств, разработанного для данного модуля, по всем формам контроля в соответствии с Фондом Оценочных Средств (ФОС).

Содержание видов контроля и их график отражены в технологической карте учебного модуля (Приложение Б).

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение учебного модуля представлено Картой учебно-методического обеспечения (Приложение В)

7 Материально-техническое обеспечение учебного модуля

Для обеспечения освоения дисциплины необходимо наличие учебной аудитории, учебной лаборатории, компьютерного класса, тренажеров. Программа составлена в

соответствии с требованиями ФГОС ВО и с учетом рекомендаций ПрОП ВО по направлению подготовки 13.03.01 “Теплоэнергетика и теплотехника” и профилю “Промышленная теплоэнергетика”. Целью выполнения самостоятельной работы является ознакомление с учебной и нормативно - справочной литературой, дополнительное изучение некоторых тем курса лекций, в частности пакетов программ, в том числе Excel и Mathcad. Объектом работы являются учебники и учебные и справочные пособия, учебно-методические разработки кафедры, журнальные публикации и т. п. источники.

Педагогическими контрольными материалами являются вопросы к экзамену, которые приведены в приложении А. Приложения (обязательные):

- А – Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля
- Б – Технологическая карта учебного модуля
- В - Карта учебно-методического обеспечения УМ

Календарный план, наименование разделов учебного модуля с указанием трудоемкости по видам учебной работы представлены в технологической карте учебного модуля (приложение Б).

Приложение А
(обязательное)

**Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля
«Физико-химические процессы в энергетике»**

1. Методические рекомендации по теоретической части учебного модуля

Образовательный процесс при изучении УМ строится на основе комбинации следующих образовательных технологий.

Интегральную модель образовательного процесса формируют технологии методологического уровня: модульно-рейтинговое обучение, контекстное обучение, технология поэтапного формирования умственных действий, технология развивающего обучения, элементы технологии развития критического мышления.

Реализация данной модели предполагает использование следующих технологий стратегического уровня (задающих организационные формы взаимодействия субъектов образовательного процесса), осуществляемых с использованием определенных тактических процедур:

- лекционные (вводная лекция, информационная лекция, обзорная лекция, лекция-консультация, проблемная лекция);
- практические (углубление знаний, полученных на теоретических занятиях, выполнение практических работ);
- активизации познавательной деятельности (приемы технологии развития критического мышления, работа с литературой);
- самоуправления (самостоятельная работа студентов, самостоятельное изучение материала).

Перечень тем и вопросов к разделам 1-4

1 Современные методы исследований физико-химических процессов и явлений. Современные методы контроля в производственных процессах.

2 Жесткость, щелочность, рН, окисляемость, концентрация ионов, концентрация грубодисперсных примесей, сухой остаток, прокаленный остаток.

3 Естественный химический состав поверхностных и подземных природных вод.

4 Удаление грубодисперсных и коллоидных примесей из природных вод. Физико-химические основы коагуляции природной воды и изменение ее химического состава.

5 Ионообменные материалы, применяемые на водоподготовительных установках.

6 Основные закономерности ионного обмена.

7 Технология катионирования. Na-катионирование. H-катионирование. Принципиальные схемы ионитного обессоливания воды с одной и несколькими ступенями раздельного H-OH-ионирования.

8 Технология дистилляции воды в испарителях различных типов.

9 Область применения термического обессоливания воды. Принцип работы испарителей.

10 Особенности ионного обмена и процессов в ионообменных мембранах. Принципиальные схемы электродиализных аппаратов.

11 Диализ. Обратный осмос. Процессы, протекающие в установках. Характеристики мембран. Ионообменные мембраны. Электродиализ. Ультрафильтрация.

12. Процессы абсорбции и десорбции газов. Технология деаэрации воды. Технология декарбонизации воды. Химические методы удаления из воды коррозионноагрессивных газов.

Перечень тем и вопросов к разделам 5-9

13 Обработка воды для получения неприкипающего шлама: обработка воды фосфатами, комплексообразующими веществами, антинакипинами.

14 Магнитный метод обработки воды. Электромагнитные и магнитные фильтры для обезжелезивания воды.

15 Воднохимические режимы (ВХР) теплотехнических объектов. Основные задачи ВХР.

16 Пути поступления примесей в циклы паротурбинной установки.

17 Поведение примесей водного теплоносителя в пароводяном тракте.

18 Поверхностные явления.

19 Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем.

20 Коагуляция.

22 Классификация коррозионных повреждений. Физико-химические основы коррозии.

21 Химическая коррозия. Электрохимическая коррозия. Влияние внутренних и внешних факторов на протекание коррозионных процессов.

22 Коррозия конденсатно-питательного тракта, парообразующих труб и барабанов котлов во время эксплуатации, пароперегревателей, конденсаторов турбин.

23 Термическое разложение органических примесей в пароводяном тракте. Загрязнение пара органическими примесями. Влияние органических примесей на работу оборудования.

24 Современные методы исследований физико-химических процессов и явлений.

25 Современные методы контроля в производственных процессах.

Пример экзаменационного билета

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Кафедра Промышленной энергетики

Экзаменационный билет № 1

Модуль «Физико-химические процессы в энергетике»

Для направления подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

1. Современные методы исследований физико-химических процессов и явлений. Современные методы контроля в производственных процессах.

2. Обработка воды для получения неприкипающего шлама: обработка воды фосфатами, комплексообразующими веществами, антинакипинами.

3. Найти высоту движущегося слоя активного угля в адсорбере для очистки сточной воды от фенола с расходом $Q=5\text{ м}^3/\text{ч}$, начальное содержание фенола $C_n \text{ кг/м}^3$, конечное содержание $C_k = 2 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^3$, скорость воды $W=1 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$, коэффициент объёмного массопереноса $\beta_0 = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ 1/с}$, содержание фенола в поступающем адсорбенте $\alpha_n = 1 \text{ кг/м}^3$.

Принято на заседании кафедры

промышленной энергетики Протокол № _____ от “___” _____ 2017 г.

Заведующий кафедрой _____ (Ф. И. О.)

2. Методические рекомендации по практическим занятиям

Содержание дисциплины является достаточно разнородным и включает как общетеоретические и узкотехнологические вопросы. Предусмотрено изучение следующих вопросов. Рассмотрены современные физико-химические, ионно-обменные, термические, мембранные методы очистки воды как для теплоэнергетического оборудования низкого, высокого давления котельных и ТЭС, так и для тепловых сетей, сточных вод. Описаны устройства, принципы, способы расчетов и оптимизация некоторых процессов, происходящих при подготовке воды для энергетических котлоагрегатов и тепловых сетей. Освещены внутренние физико-химические процессы и методы борьбы с отложениями, коррозией основного теплоэнергетического (котлов, турбин и т.д.) и вспомогательного оборудования ТЭС, котельных и тепловых сетей.

Все практические занятия делят на разделы, которые формируют представление по вопросам надежности в промышленности и закрепляют теоретический материал посредством решения задач. Решение задач направлено на закрепление теоретического материала. Задачи выдает преподаватель на практических занятиях в соответствии с графиком учебного процесса. Обсуждение основных вопросов дисциплины на практических и лабораторных занятиях позволит сформировать понимание проблем по вопросам надежности, а также наметить пути их решения. Данный вид работы необходим для овладения компетенциями, заданными в образовательном стандарте при подготовке специалиста высокого уровня.

Технологическая карта
учебного модуля «Физико-химические процессы в энергетике»
семестр 6, ЗЕТ- 6, вид аттестации - экзамен, акад.часов 216, баллов рейтинга 300

№ и наименование раздела учебного модуля	№ неде-ли сем.	Трудоемкость, ак.час					СРС	Форма текущего контроля успеv. (в соотv. с паспортом ФОС)	Макси м. кол-во баллов рейти нга
		Аудиторные занятия							
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	АСР С				
УЭМ - Моделирование, алгоритмизация и оптимизация элементов и систем в теплоэнергетике	6	36	54		18	90		300 (250+ +50)	
разделы 1-4		18	27		9	45	Контр. работа 1	125	
разделы 5-9		18	27		9	45	Контр. работа 2	125	
экзамен								50	
Итого:	6	36	54		18	90	экзамен	300	

(Трудоемкость разделов УМ не должна быть, как правило, меньше двух академических часов)

Критерии оценки качества освоения студентами дисциплины в соответствии с паспортом ФОС и оценочных средств.

- оценка «удовлетворительно» – 150 – 209 баллов
- оценка «хорошо» – 210 – 269 баллов
- оценка «отлично» – 270 – 300 баллов

Приложение В
(обязательное)
Карта учебно-методического обеспечения

Модуля: Физико-химические процессы в энергетике

Направление (специальность): 13.03.031 – Теплоэнергетика и теплотехника

Формы обучения: очная

Курс - 3, семестр - 5

Часов: всего - 216, лекций - 36, практ. зан. - 54, лаб. раб. - нет, СРС и виды индивидуальной работы (курсовая работа, КП) - 18

Обеспечивающая кафедра: Промышленная энергетика

Таблица 1- Обеспечение модуля учебными изданиями

Библиографическое описание* издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Учебники и учебные пособия		
1. Дараселия Н.В., Швецов И.В. Газоаналитическое отображение физико-химических явлений в производственных процессах. [электронный ресурс] Монография. Великий Новгород. 2012. – 112 с.	10	
2. Ефимова Е.И. Экологическое право России : Библиография (1958-2004 гг.): Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.К. Голиченкова. - М. : Городец, 2007. - 415, [1] с.	1	
3. Ерофеев Б.В. Экологическое право России : Учеб. для вузов. - 20-е изд., перераб. и доп. - М. : Эксмо, 2007. - 463 с.	12	
Учебно-методические издания		
1		

Таблица 2 – Информационное обеспечение модуля

Название программного продукта, интернет-ресурса	Электронный адрес	Примечание
1. Физико-химические процессы в энергетике: [электронный ресурс] Рабочая программа/ Авт.-сост. И.В. Швецов; НовГУ.-В.Новгород, 2017.- 24с.	http://www.novsu.ru/cms/docs/r.406.cb.tinymceSetUrl/i.406/?id=822601	
2. «Физико-химические процессы в энергетике»: [электронный ресурс] Методические указания и задание на выполнение контрольной работы для студентов заочной формы обучения / Авт.-сост. И.В. Швецов; НовГУ им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2017	http://www.novsu.ru	
3. «Физико-химические процессы в энергетике»: Методические указания по самостоятельной работе студентов/ Авт.-сост. И.В. Швецов; НовГУ. - Великий Новгород, 2017.	http://www.novsu.ru	

Таблица 3–Дополнительная литература

Библиографическое описание* издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
1 Кирсанов, Ю.А. Циклические тепловые процессы и теория теплопроводности в регенеративных воздухоподогревателях. - М. : Физматлит, 2007. - 239.[1]с. - Библиогр.в конце гл. - ISBN 978-5-9221-0831- 7(в пер.) : 106.00.	Ф1-1	
2		

Действительно для учебного года 2017 / 2018

Зав. кафедрой ПРЭН _____ И.В. Швецов
подпись И.О.Фамилия

01 марта 2017 г.

СОГЛАСОВАНО

НБ НовГУ: И. В. Швецов
должность

Новгородский государственный
университет им. Ярослава Мудрого
Научная библиотека
Сектор учета
Калинина Н.А.
подпись

Калинина Н.А.
расшифровка

**КОМПЛЕКТ ПРИМЕРНЫХ ЗАДАЧ
для контрольных работ по темам**

Задачи для текущего контроля знаний по дисциплине «Физико-химические процессы в энергетике» (по темам)

Задача 1

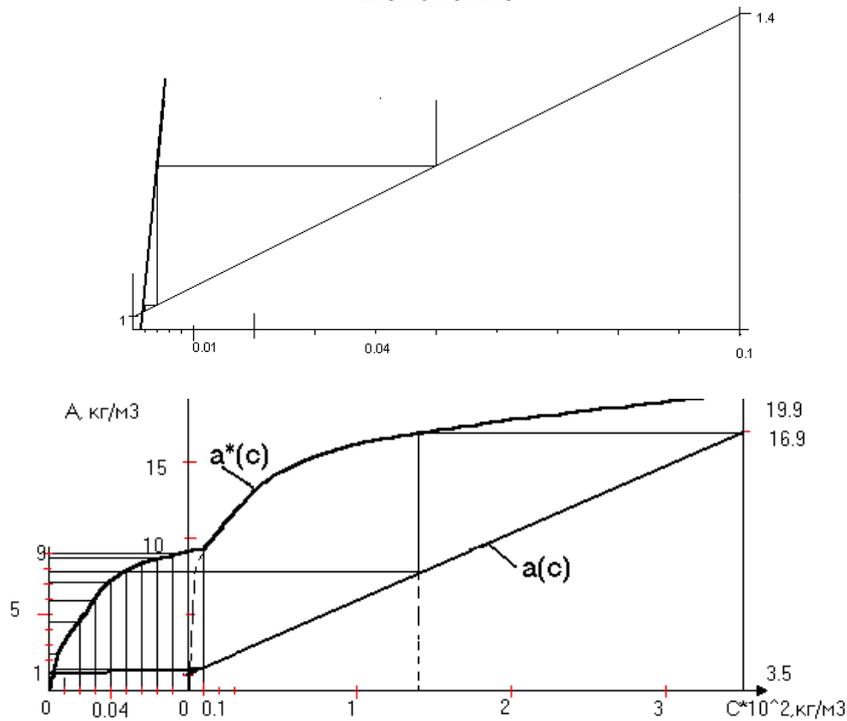
Определение высоты движущегося слоя активного угля в адсорбере для очистки сточной воды от фенола

Найти высоту движущегося слоя активного угля в адсорбере для очистки сточной воды от фенола с расходом $Q=5\text{ м}^3/\text{ч}$, начальное содержание фенола C_n кг/м³, конечное содержание $C_k = 2 \cdot 10^{-4}$ кг/м³, скорость воды $W=1 \cdot 10^{-3}$ м/с, коэффициент объёмного массопереноса $\beta_o = 5,6 \cdot 10^{-3}$ 1/с, содержание фенола в поступающем адсорбенте $\alpha_n = 1$ кг/м³. Кривая равновесия $\alpha^*(c)$ представлена на рисунке, причём диапазон $0 - 0,1 \cdot 10^{-2}$ представлен в увеличенном масштабе

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Содержание фенола в воде C_n кг/м ³	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,2

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Содержание фенола в воде C_n кг/м ³	3,5	3,7	4,0	4,2	4,5	4,7	5,0	5,2	5,5	5,7

Пояснение



$$H = \frac{W}{\beta_o} \int_{C_k}^{C_n} \frac{dC}{C - C^*(a)} = h \cdot m_c; \quad h = \frac{W}{\beta_o},$$

Высота движущегося слоя, обеспечивающая заданные параметры адсорбции определяется по формуле

Здесь C_n, C_k – начальная и конечная концентрации адсорбатива (фенола в воде) $\text{кг}/\text{м}^3$; $C, C^*(\alpha)$ – текущая и равновесная концентрации адсорбатива $\text{кг}/\text{м}^3$; h – эквивалентная высота единицы переноса (м); m_c – общее число единиц переноса

$$V_{ад} = 1,2 \frac{Q(C_n - C_k)}{a_k^* - a_n}. \text{ Пусть } C_n = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ кг} / \text{м}^3 \text{ воды } \alpha_k^* = 19,9 \text{ кг} / \text{м}^3 \text{ адсорбента}$$

$$V_{ад} = 1,2 \frac{5(3,5 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-4})}{19,9 - 1} = 0,011 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$a_k = \frac{Q(C_n - C_k)}{V_{ад}} + a_n = 16,9 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Величина m_c может быть определена с помощью графических построений. Найдём содержание адсорбата (фенола в твёрдой фазе) в рабочем процессе $\alpha(c)$. Начальное содержание $\alpha_n = 1 \text{ кг} / \text{м}^3$, конечное содержание адсорбата α_k (C_n) зависит от расхода адсорбента $V_{ад} \text{ м}^3 / \text{ч}$

Проведём через точки C_k, α_n ($2 \cdot 10^{-4}; C_n, \alpha_k$) ($3,5 \cdot 10^{-2}; 16,9$) рабочую линию процесса изменения концентрации фенола в твёрдом от его содержания в воде. Находим число прямоугольных ступеней, как показано на рис. 5 (три ступени).

Число единиц переноса, соответствующее i -ой ступени изменения концентрации, равно отношению разности концентраций на этой ступени к средней движущей разности на этой ступени:

$$m_i > \frac{C_{i+1} - C_i}{\Delta C_i}; \overline{\Delta C_i} = [C_i - C(a^*_i) + C_{i+1} - C(a^*_{i+1})] \cdot 0,5$$

$$\text{Поскольку } C(a^*_i) = C_{i+1}, \overline{\Delta C_{ш}} = 0,5[C_{ш} - C(a^*_{i+1})] = 0,5(C_i - C_{i+2})$$

$$C_n = C_o = 3,5 \cdot 10^{-2}; C_1 = 1,3 \cdot 10^{-2}; C_2 = 0,05 \cdot 10^{-2}; C_3 = 0,004 \cdot 10^{-2}; C_4 = 0,002 \cdot 10^{-2}$$

$$m_i = \frac{C_o - C_1}{0,5(C_o - C_2)} = \frac{(3,5 - 1,3) \cdot 10^{-2}}{0,5(3,5 - 0,05) \cdot 10^{-2}} = 1,27; m_2 = \frac{(1,3 - 0,05) \cdot 10^{-2}}{0,5(1,3 - 0,004) \cdot 10^{-2}} = 1,92$$

$$m_3 = \frac{0,05 - 0,004}{0,5(0,05 - 0,002)} = 1,92; H = \frac{0,001}{5,6 \cdot 10^{-3}} (1,27 + 1,93 + 1,92) = 0,91 \text{ м}.$$

Задача 2

Определение объёмного коэффициента массоотдачи в зернистом слое активного угля при удалении веществ загрязнителей из сточной воды

Найти объёмный коэффициент массоотдачи в зернистом слое активного угля при удалении веществ загрязнителей из сточной воды при температуре $t=20^\circ\text{C}$. Скорость воды $W=0,002 \text{ м} / \text{с}$, эквивалентный диаметр зерна – d_3 (м)

Варианты	1	2	3	4	5
Загрязнитель $\cdot 10^9$ ($\text{м}^2 / \text{с}$) РГД	Серная кислота 1,79 580	Серная кислота 1,79 580	Спирт метилловый 1,28 785	Фенол 0,84 1200	Фенол 0,84 1200
$d_3 \cdot 10^{-3}$ (м)	1	0,4	1,5	1	2

Пояснение

$$Nu = 0,515 Re^{0,85} Pr_D^{0,33}, Re_D < 2, Re_D = \frac{W \cdot d_p}{\varepsilon \nu}$$

$$Nu = 0,75 Re_D^{0,47} Pr_D^{0,33}, Re_D = 2 \div 30$$

$$Nu = \frac{\beta_o d_p^2}{D},$$

Воспользуйтесь следующими соотношениями Здесь ε - порозкость неподвижного слоя ($\varepsilon \approx 0,4$)

D – коэффициент диффузии, ν - коэффициент кинематической вязкости (для воды при $t = 20^\circ\text{C}$, $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$). Например, при $W=0,0004\text{м/с}$, $d=0,001\text{м}$, $\varepsilon=0,4$, $Re_D=1$ и при $D=1 \cdot 10^{-9}$, $Pr_D \approx \nu/D=1000$; $Nu=0,515 \cdot 1^{0,85} \cdot 1000^{0,33}=5,03$

$$\beta_o = \frac{5,03 \cdot 10^{-9}}{(10^{-3})^2} = 0,00503(1/\text{с})$$

Задача 3**Определение инерционного коэффициента осаждения пыли при обтекании потоком частиц нити фильтра**

Определить инерционный коэффициент осаждения пыли при обтекании потоком частиц нити фильтра диаметром $d_n(\text{м})$ со скоростью $W(\text{м/с})$. Построить зависимость $\eta = f(\delta, w)$, если коэффициент кинематической вязкости $\nu = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, отношение плотностей пыли и газа (ρ_δ/ρ) = 2000.

Исходные данные

Варианты	1 2 3 4 5
Скорость потока $W \cdot 10^2 \cdot \text{м/с}$	1 5 10 10 50
Диаметр нити $d_n \cdot 10^4 \text{ м}$	0,1 0,01 1 10 10

$$\eta_{ин} = \eta_{ин}(Stk); Stk = \frac{w \cdot \tau}{d_n}; \tau = \frac{\rho_\delta}{\rho} \frac{\delta^2}{18 \cdot \nu}$$

$$\eta_{ин} = \frac{Stk^3}{Stk^3 + 0,77 Stk^2 + 0,22}. \quad \text{Например для частицы}$$

$$\delta = 1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}, \quad \tau = \frac{2000 \cdot (10^{-6})^2}{18 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5}} = 7,4 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

Руководство к решению

При обтекании потоком нити 1 мкм (10^{-6}) со скоростью $W = 0,5 \text{ м/с}$

$$Stk = \frac{7,4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}}{10^{-6}} = 3,7$$

$$\eta_{ин} = \frac{3,7^3}{3,7^3 + 0,77 \cdot 3,7^2 + 0,22} = 0,82$$

Задача 4**Определение движущей силы процесса поглощения ацетона водой из воздуха**

В насадочном скруббере проводится поглощение ацетона водой из воздуха. Начальное содержание ацетона 6% об. ($y_n=0,06$). Расход воздуха $V_r(\text{м}^3/\text{ч})$, воды $L(\text{кг/ч})$, температура 20°C . Схема движения воды и воздуха – противоточная. Уравнение линии равновесия $Y^*=1,68X$, где Y, X выражены в киломолях ацетона на киломоль воздуха и воды соответственно. Найти движущую силу процесса, если улавливается 98% ацетона водой ($\eta=0,98$).

Исходные данные

Варианты	1	2	3	4	5
$V_r(\text{м}^3/\text{ч})$	1600	500	800	2000	5000
$L(\text{кг}/\text{ч})$	4000	900	3000	4000	8000

Руководство к решению

$$\Delta Y_m = \frac{\Delta Y_n - \Delta Y_v}{2,3lg \frac{\Delta Y_n}{\Delta Y_v}}, \text{ где}$$

Под движущей силой процесса понимается величина ΔY_m в уравнении массопереноса $M = K_y \Delta Y_m F$. Если линия равновесия представляет прямую, то $\Delta Y_n = Y_n - Y_n^*$ – разность рабочей и равновесной концентраций ацетона на входе (внизу) скруббера $\Delta Y_v = Y_v - Y_v^*$ – разность аналогичных концентраций в веру скруббера.

$$Y_n = \frac{Y_n}{1 - Y_n}; Y_n = 0,06; Y_n^* = 1,68 X_n; X_n = \frac{M_a}{L / M_v} + X_v \frac{\text{Кмоль ацет}}{\text{Кмоль воды}}$$

$$M_a - \text{количество поглощаемого ацетона кмоль/ч}; M_v = 18 \frac{\text{кг}}{\text{Кмоль воды}}$$

$$M_a = \frac{V_r \cdot Y_n \cdot \eta}{(1 - Y_n) 22,4}, X_v = 0,22,4 - \text{объём 1 Кмоля (м}^3 / \text{Кмоль)}$$

$$Y_v = \frac{Y_n (1 - \eta)}{1 - Y_n} = \frac{0,06(1 - 0,98)}{1 - 0,06} = 0,00128 \frac{\text{Кмоль ацетона}}{\text{Кмоль воздуха}}$$

$$\text{При } L = 3000 \text{ кг/ч } V_r = 1400 \text{ м}^3 / \text{ч}, M_a = 3,9 \text{ Кмоль/ч}, X_n = 0,0234 \frac{\text{Кмоль ацетон}}{\text{Кмоль воды}}$$

$$Y^* = 0,0393 \frac{\text{Км} \cdot \text{ац.}}{\text{Км} \cdot \text{воз.}}; Y_n = 0,0638 \frac{\text{Км} \cdot \text{ац}}{\text{Км} \cdot \text{возд.}}; \Delta Y_m = 0,0079 \frac{\text{Км} \cdot \text{ац.}}{\text{Км} \cdot \text{возд.}}$$

Задача 5**Определение времени действия защитного слоя**

По опытным данным продолжительность поглощения паров хлорпикрина ($C_o = 6,6 \text{ г}/\text{м}^3$) слоем активного угля высотой $H = 0,05 \text{ м}$ и площадью $S = 0,01 \text{ м}^2$ с зерном $d_3 = 1,5 \text{ мм}$ и объёмной скоростью $V = 0,03 \text{ м}^3/\text{мин}$ составляет 336 мин. По изотерме хлорпикрина активность угля $\alpha_o^* = 222 \text{ кг}/\text{м}^3$. Определить время действия защитного слоя τ_3 при произвольных H, V, d_3 .

Варианты	1	2	3	4	5
Высота слоя (м)	0,05	0,1	0,1	0,2	1
Скорость газа $V/S(\text{м}/\text{мин})$	3	3	6	12	12
Диаметр зерна $d_3 \cdot 10^3(\text{м})$	2	1	1	2	2

Руководство к решению

$$\tau_3 = \frac{\alpha_o^*}{WC_o} H - \tau_o = \frac{\alpha_o^*}{WC_o} (H - X_m), \text{ где } \tau_o \text{ и } X_m = \frac{WC_o \tau_o}{\alpha_o^*}$$

Потеря времени действия защитного слоя и минимальная высота слоя адсорбента, за которым значение проскоковой концентрации в газе на выходе из слоя появляется в первый момент начала процесса адсорбции. Для одних и тех же адсорбента и поглощаемого

вещества при постоянных концентрациях и температуре парогазового потока имеют место соотношения $\alpha^*/C_o = \text{const} = A$; $\tau_o W^{0,5}/d_3 = \text{const} = B$.

Для приведённого условия опыта $A = 222/0,0066 = 33600$

$$B = \frac{(\frac{\alpha^*}{WC_o} H - \tau_3) \sqrt{W}}{d_3} = \frac{(\frac{222}{3 \cdot 0,0066} \cdot 0,05 - 336) \sqrt{3}}{0,0015} = 259000$$

$$\tau_o = \frac{259000 \cdot 0,001}{\sqrt{4}} = 129 \text{ мин}; \quad \tau_3 = \frac{33600}{4} 0,05 - 129 = 291 \text{ мин.}$$

Используя эти константы, определяют τ_o и τ_3 . Например, при $H = 0,05$, $W = 4$, $d_3 = 1$, получим

Задача 6

Определение необходимых размеров слоя насадки из колец Рашига, орошаемого раствором $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Определить необходимые размеры слоя насадки из колец Рашига, орошаемого раствором $\text{Ca}(\text{OH})_2$, через который пропускают газ, содержащий SO_2 . Расход газа $V_r = 100000 \text{ м}^3/\text{ч}$ при $t = 30^\circ\text{C}$, расход раствора $L = 315000 \text{ кг}/\text{ч}$. Число единиц переноса процесса $m_c = 7,6$, плотность смеси газа $\rho_r = 1,168 \text{ кг}/\text{м}^3$, плотность раствора $\rho_{\text{ж}} = 994 \text{ кг}/\text{м}^3$, динамическая вязкость газа $\mu_r = 1,74 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$, раствора - $\mu_{\text{ж}} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ($0,8 \text{ мПа} \cdot \text{с}$). Коэффициент диффузии SO_2 $D_r = 1,14 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$. Характеристики насадки: удельная поверхность $\alpha (\text{м}^2/\text{м}^3)$, порозность $\varepsilon (\text{м}^3/\text{м}^3)$, эквивалентный диаметр $d_3 (\text{м})$

Исходные данные

Варианты	1 2 3 4 5
Удельная поверхность α , $\text{м}^2/\text{м}^3$	100 80 440 140 330
Порозность ε , $\text{м}^3/\text{м}^3$	0,735 0,72 0,7 0,78 0,7
Диаметр $d_3 \cdot 10^3$, м	27 36 6 22 9

Руководство к решению

$$h = 0,615 d_3 \cdot \text{Re}_r^{0,345} \cdot \text{Pr}_r^{2/3}, \quad \text{Re}_r = \frac{4W}{\alpha \cdot \nu_r}; \quad W = \frac{V_r}{3600S} \text{ м}/\text{е}; \quad \nu = \frac{\mu_r}{\rho_r} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}; \quad \text{Pr}_r = \frac{\nu_r}{D_r}.$$

Высота слоя находится из выражения $H = h \cdot m_c$, где h – высота единицы переноса. Она определяется из соотношения

Скорость W не должна превышать скорость захлёбывания, которая определяется из выражения

$$\lg\left(\frac{W_o^2 \alpha \rho_r \mu_{\text{ж}}^{0,16}}{g \varepsilon^3 \rho_{\text{ж}}}\right) = -0,073 - 1,75 \left(\frac{G_o}{L}\right)^{0,25} \left(\frac{\rho_r}{\rho_{\text{ж}}}\right)^{0,125}$$

Здесь $\mu_{\text{жм}}$ подставляется в $\text{мПа} \cdot \text{с}$: $\mu_{\text{жм}} = 0,8 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ $G_o = V_r \rho_r$. Величина S определится из соотношения

$$S = \frac{V_r}{3600W}; \quad D_a = \left(\frac{4}{\pi} S\right)^{0,5}$$

Например, при $\alpha = 60 \text{ м}^2/\text{м}^3$, $d_3 = 0,048 \text{ м}$, $\varepsilon = 0,72$, получим

$$\lg \frac{W_o^2 \cdot 60 \cdot 1,168 \cdot 0,8^{0,16}}{9,81 \cdot 0,72^3 \cdot 994} = -0,073 - 1,75 \left(\frac{116890}{315000} \right)^{0,25} \times \left(\frac{1,168}{994} \right)^{0,125};$$

$$\lg(W_o^2 \cdot 0,0186) = -0,658, \quad W_o = 3,53 \text{ м/с. Принимаем скорость } 2,5 \text{ м/с}$$

$$W = 2,5 \text{ м/с. Тогда } S_a = \frac{V_r}{3600 \cdot 2,5} = \frac{100000}{3600 \cdot 2,5} = 11,1 \text{ м}^2, \quad D_a \approx 3,8 \text{ м}$$

$$h = 0,615 \cdot 0,048 \cdot \left(\frac{4 \cdot 2,5}{60 \cdot 1,49 \cdot 10^{-5}} \right)^{0,345} \cdot \left(\frac{1,49 \cdot 10^{-5}}{1,14 \cdot 10^{-5}} \right)^{2/3} = 0,88 \text{ м;}$$

$$H = 0,88 \cdot 7,6 = 6,7 \text{ м; } V_a = 74,4 \text{ м}^3$$

Задача 7

Определение изотермы адсорбции диэтилового эфира на активном угле по известной изотерме адсорбции

Найти изотерму адсорбции диэтилового эфира на активном угле по известной изотерме адсорбции на этом угле бензола при температуре T_1 °К, которая может быть представлена уравнением $\alpha_1^* = K P_1^n$, где α_1^* – равновесное содержание бензола в твёрдом кг/кг угля, P_1 – парциальное давление паров бензола в газовой фазе мм.рт.ст., причём $M_1 = 78$ кг/Кмоль; $M_2 = 74$ кг/Кмоль – молекулярные веса бензола и диэтилового эфира; $\rho_1 = 879$, $\rho_2 = 714$ кг/м³ – их плотности в жидком состоянии. Давление насыщенных паров при атмосферном давлении смеси ($P = 760$ мм рт ст) равны $P_{S,1} = 75$; $P_{S,2} = 442$ мм рт ст.

Пояснение

$$\lg P_2 = \lg P_{S,2} - \beta \frac{T_1}{T_2} \lg \frac{P_{S,1}}{P},$$

Ёмкость активного угля по диэтиловому эфиру запишем как $\alpha_2^* = r \cdot P_2^q$, причём $\alpha_2^* = \alpha_1^* / \beta$;

$$P_2 = P_{S,2} \cdot \left(\frac{P_{S,1}}{P_1} \right)^{-\beta T_1 / T_2}$$

где $\beta = V_2 / V_1$ – коэффициент аффинности, как отношение мольных объёмов веществ 2 и 1. $V_2 = M_2 / \rho_2$; $V_1 = M_1 / \rho_1$ м³/Кмоль. Выражение для P_2 представим как

$$\alpha_2^* = \frac{K_1}{\beta} \left[\left(\frac{P_2}{P_{S,2}} \right)^{T_2 / \beta T_1} \right]^n \cdot P_{S,1}^n = r \cdot P_2^q. \text{ Таким образом}$$

$$r = \frac{K P_{S,1}^n}{\beta P_{S,2} (T_2 / T_1 \beta)^n}; \quad q = n \cdot T_2 / T_1 \cdot \beta$$

Используя соотношения для α_1^* и α_2^* , получим

Например, при $K = 0,18$; $\beta = 1,17$; $T_1 = T_2 = 293$ °К, $n = 0,18$, $\alpha_2^* = 0,131 P_2^{0,154}$

При $P_2 = 0,5, 50, 200$ мм рт ст. $\alpha_2^* = 0,118, 0,239; 0,296$ кг/кг

Исходные данные

Варианты	1 2 3 4 5
Коэффициент «К»	0,16 0,18 0,2 0,21 0,22
Показатель «n»	0,16 0,17 0,18 0,15 0,16
T_1 / T_2	0,8 1,2 0,9 1,1 1

Задача 8

Определение движущей силы процесса в слое активного угля

По данным, приведённым в пояснении к задаче 8 для диэтилового эфира (д.э), найти движущую силу процесса в слое активного угля, если начальное содержание д.э. в воздухе равно C_n кг/м³, конечное содержание д.э. в активном угле α_k кг/м³, насыпная плотность угля $\rho_n = 500$ кг/м³,

$$C_k = 3 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^3, \alpha_n = 0, t = 20^\circ \text{C}.$$

Исходные данные

Варианты	1 2 3 4 5
$C_n \cdot 10^3$ кг/м ³ воздуха	5 3 6,5 2 4
α_k кг/м ³ активного угля	60 50 62 55 55

Пояснение

$$\overline{\Delta C_{cp}} = \frac{C_n - C_k}{m_c}, \text{ где } m_c = \int_{C_k}^{C_n} \frac{dC}{C - C^*(a)},$$

Движущая сила – это средняя разность концентраций в уравнении массопереноса $G_{д.э.} = k_0 V_{сх} \Delta C_{cp}$, где $G_{д.э.}$ – количество поглощённого д.э. углём кг/с объёмом $V_{сх}$ м³ при средней разности концентраций ΔC_{cp} кг/м³, k_0 – объёмный коэффициент массоотдачи 1/с.

число единиц переноса. $C^*(\alpha) = C(\alpha^* = \alpha(c))$, $\alpha(c)$ – линия рабочего процесса. Если $\alpha^* = rc^q$ и $\alpha = K + nC$, то

$$C^*(a) = \left(\frac{K + nC}{r} \right)^{\frac{1}{q}}$$

и для принятых аппроксимаций

$$m_c = \int_{C_k}^{C_n} \frac{dC}{C - \left(\frac{K + nC}{r} \right)^{\frac{1}{q}}}$$

Положим $C_n = 0,006$ кг/м³, $\alpha_k = 60$ кг/м³ угля.

Пусть, $\alpha^* = 0,131 \cdot P_{д.э.}^{0,154}$, где $P_{д.э.}$ – парциальное давление д.э. в мм. рт. ст.

$$P_{д.э.} = C \frac{R}{M} T \frac{P_{абсмртст}}{P_{абс} Па} = C \cdot \frac{842}{74} \cdot 293 \cdot \frac{760}{10330} = 243C$$

$$\alpha^* \frac{\text{кг д.э.}}{\text{кг угля}} = \alpha^* \frac{\text{кг д.э.}}{\text{м}^3 \text{ угля}} \frac{1}{\rho_{нас}},$$

$$\alpha^* = 153 \cdot C^{0,154} \frac{\text{кг д.э.}}{\text{м}^3 \text{ угля}}; \alpha = \frac{\alpha_k - \alpha_n}{C_n - C_k} (C - C_k) = \frac{60 - 0}{0,006 - 0,00003} (C - 0,00003) = 10050C - 0,3;$$

$$r = 153, q = 0,154.$$

Тогда уравнение равновесия имеет вид

$$m_c = \int_{C_k}^{C_n} \frac{dC}{C - (65,7C - 0,00196)^{6,5}} \approx \int_{C_k}^{C_1} \frac{dC}{C} + \int_{C_1}^{C_n} \frac{dC}{A};$$

$$m_c = \ln \frac{C_1}{C_k} + \frac{C_n - C_1}{A} = \ln 100 + \frac{0,003}{0,00364} = 5,43,$$

$$\overline{\Delta C_{cp}} = \frac{0,006 - 0,00003}{5,43} = 0,0011 \text{ кг/м}^3$$

Здесь $C_1 = 3 \cdot 10^{-3}$ кг/м³, $A \approx C_n - (65,7C_n - 0,00196)^{6,5}$. Таким образом

Задача 9

Определение скорости запылённого газа в горловине трубы Вентури

Найти скорость запылённого газа в горловине трубы Вентури, при которой эффективность захвата частиц каплями составляет 96%. Плотность орошения $m = 1,2 \text{ л/м}^3$; плотность воды $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$, поверхностное натяжение $\sigma = 0,0725 \text{ Н/м (Дж/м}^2)$, динамическая вязкость газа $\mu = 22 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$; плотность частиц $\rho_{\text{б}} \text{ кг/м}^3$, диаметр - $\delta \text{ (м)}$

Исходные данные

Варианты	1 2 3 4 5
$\delta \cdot 10^{-6} \text{ (м)}$	1 0,5 2 0,5 0,3
$\rho_{\text{б}} \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$	2 3 1,5 2 3

Руководство к решению

При $m < 2 \text{ л/м}^3$ эффективность захвата η_3 определяется по формуле

$$\eta_3 = \frac{\psi^2}{(\psi + 0,35)^2}; \psi = \frac{\delta^2 \rho_{\delta} \cdot W_r}{18\mu \cdot d_k},$$

$$d_k = \frac{585 \cdot 10^{-3} \sqrt{\sigma}}{W_r \sqrt{\rho_{\text{ж}}}}$$

где W_r, d_k – скорость газа в горловине трубы и диаметр каплей. Эти величины связаны между собой формулой

Пусть, например, $\eta_3 = 0,8$; $\delta = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; $\rho_{\delta} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Тогда $\psi = 3$

$$d_k = \frac{\delta^2 \rho_{\delta} W_r}{18\mu \cdot \psi} = \frac{(3 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1,2 \cdot 10^3 W_r}{18 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot 3} = 9 \cdot 10^{-6} W_r \text{ (м)}$$

$$W_r = \left(\frac{585 \cdot 10^{-3} \sqrt{\sigma}}{9 \cdot 10^{-6} \sqrt{\rho_{\text{ж}}}} \right)^{0,5} = \left[\frac{585 \cdot 10^{-3} \sqrt{0,0725}}{9 \cdot 10^{-6} \sqrt{1000}} \right]^{0,5} = 23,5 \text{ м/с.}$$

Если $\eta_3 = 0,99$, то $W_r \approx 70 \text{ м/с}$.

КОМПЛЕКТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Лабораторные работы для текущего контроля знаний по дисциплине «Физико-химические процессы в энергетике» (по темам)

Задание №1

Выполнить анализ метода и средств очистки газа от золы и диоксида серы в схеме рис.

1.

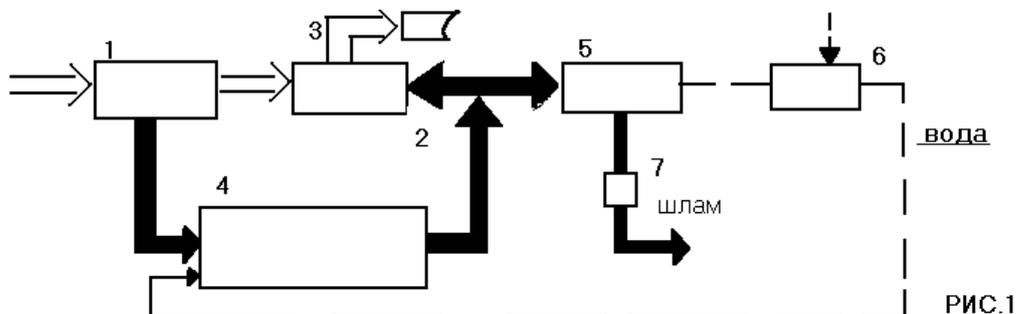


РИС.1

Загрязнённый газ последовательно проходит пылеотделитель 1, абсорбер 2 и очищённый в газовый тракт 3. Уловленная зола, суспензия из аппаратов 1 и 2 поступают в нейтрализатор 4, сюда же поступает очищенная вода после отстойника 5 и ёмкости 6. Сгущённая суспензия из отстойника 5 выводится в центрифугу 7 и поступает на утилизацию.

Описать процесс газоочистки с точки зрения эффективности, надёжности, при этом обратите внимание на следующие вопросы.

Что изменится в процессах газоочистки с переходом сжигания карагандинских углей на канск-ачинские, если известно, что содержание щелочно-образующих элементов в первом угле составляет 9%, а во втором – 28%? Причём равновесное состояние SO_2 и суспензий золы первого и второго угля описывается уравнениями

$$\begin{aligned} \lg P_{1\ SO_2}^* &= 7,3 + 1,8 \lg [SO_2] + 2,29 \cdot 10^{-2} T - 1820/T, \\ \lg P_{2\ SO_2}^* &= 1,85 + 1,72 \lg [SO_2] + 2,06 \cdot 10^{-2} T - 1666/T, \end{aligned}$$

где $P_{1\ SO_2}^*$ - равновесное парциальное давление SO_2 Па.

$[SO_2]$ - концентрация SO_2 в суспензии % (г/100г)

T – абсолютная температура системы °К.

2. Какая аппаратура может быть использована в качестве обеспыливателя и обезвреживания газа, и какие изменения в схеме при этом необходимо провести?

3. Какие изменения в схеме необходимо провести в случае необходимости нагрева газа перед выбросом в атмосферу?

4. Сравните процессы обезвреживания газов по приведённой схеме и схемы с использованием сточной воды в системе гидрозолоудаления, имеющей свободную и карбонат-бикарбонатную щёлочность ($pH = 10,3 \div 11,4$) и содержащую различные примеси.

5. Как провести оценку поглощения NO_2 в данной технологической схеме?

В первом вопросе отметьте, в каком соотношении находится выход SO_2 и зольность, полученная при снижении 1кг угля, а также содержание щелочных компонентов в золе. Концентрации SO_2 в суспензии зависит от количества циркулирующей воды, парциального давления (концентрации) SO_2 в газе и расхода газа, а также равновесных значений.

Во втором – надёжность и эффективность. Например, насадочный скруббер более эффективный, но подвержен засорению каналов сгустками частиц, которые образуются в результате инерционного воздействия на частицы при движении газа в каналах насадки.

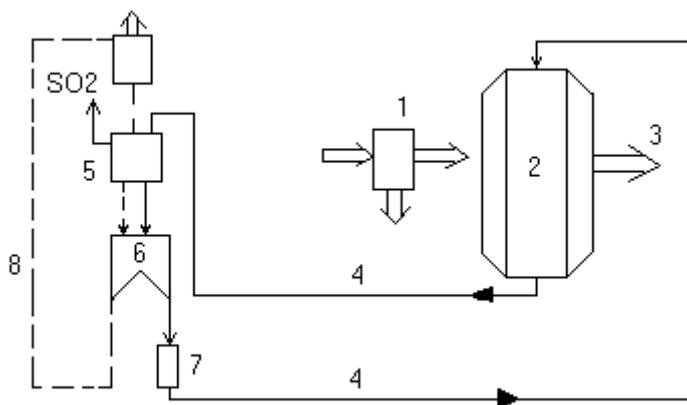
В третьем – можно, например, использовать очищенные газы после пароперегревателя, однако надо сравнить улучшение рассеивания SO_2 и его повышенное содержание.

В четвёртом – возможность управления процессами очистки, количество циркулирующих твёрдых частиц.

В пятом вопросе сопоставьте константы фазового равновесия для оксидов азота и двуокиси серы при низких парциальных давлениях (константы Генри). Для чистой воды эти константы по порядку отличаются, причем, чем меньше константа, тем больше растворимость.

Задание №2

Выполните анализ метода и средств очистки газа от золы и диоксида серы в схеме на рис. 2.



Газ пропускают через пылеуловитель 1, движущийся слой адсорбента 2 (активный уголь или полукокс) и далее в газосток 3. Адсорбент, насыщенный серной кислотой, выводят в бункер 5, где он перемешивается с горячим песком, подаваемым транспортёром 8. При нагреве адсорбента сернистый ангидрид с высокой концентрацией выводится из бункера для утилизации. Смесь песка и адсорбента проходят в сепаратор 6, где разделяется на потоки: адсорбент поступает в холодильник 7 и далее в адсорбер, песок – в пневмотранспортёр 8, где нагревается горячими газами.

При анализе обратите внимание на следующие вопросы.

1. Какое влияние на процесс обезвреживания газов оказывает избыточное содержание в них O_2 и H_2O ? Сравнить эффективность адсорбции SO_2 при различных P и T (парциальное, абсолютное давление и температуры).

2. Какое влияние оказывает пыль на процесс очистки газа, какой размер гранул адсорбента необходимо применять для улавливания пыли и приемлемого увеличения перепада давления на слое?

3. Какие изменения необходимо провести в схеме для обеспечения надёжности системы в части накопления золовых частиц в контурах циркуляции адсорбента и песка?

4. Преимущества и недостатки этой схемы по сравнению со схемами, имеющими элементы промывки или экстракции адсорбированного SO_2 ?

5. Как провести оценку поглощения NO_2 в данной технологической схеме?

В первом вопросе отметьте физическую сторону процесса (увеличение поглощения с ростом P и уменьшением T) и химическую (SO_2 , H_2O , O_2 взаимодействуют, а углерод является катализатором).

Во втором вопросе рассмотрите сопротивление слоя (шаров или цилиндров гранулята и эффективности задержки частиц пыли (аналогия с фильтрами).

В третьем вопросе отметьте прочность сцепления частиц пыли с гранулами. С уменьшением размера частиц пыли адгезия возрастает, поэтому тонкую пыль надо выводить из процесса, а крупную наоборот добавлять для лучшей регенерации.

По четвёртому вопросу надо отметить степень образования H_2SO_4 , которая не удаляется из адсорбента в данной схеме. Если количество H_2SO_4 по сравнению с физически адсорбированным SO_2 мало, то эта схема имеет преимущество и наоборот.

По пятому вопросу следует указать, что на активных углях физическая адсорбция NO_2 мала. Если проводить процесс хемосорбции, должно быть предусмотрено введение реагентов, изменения в схеме и режимах.

Задание № 3

Провести анализ системы очистки газов в производстве суперфосфатов.

Газы содержат 70г/м^3 пыли, 7г/м^3 фтора и проходят сухую очистку в одиночном, групповом циклонах, обеспыливаются в рукавном фильтре. Проходят очистку от фтора в полых оросителях и абсорбере насадочного типа. В процессе эксплуатации отмечены ухудшение показателей сухой очистки, вследствие образования отложений на стенках циклонов и зарастания пылью рукавных фильтров, и показателей мокрой очистки.

1. Какие механизмы влияют на понижение эффективности при налипании частиц на стенки циклонов. Какие методы устранения налипания можно предложить?

2. Какие изменения в схеме можно предложить для повышения эффективности и надёжности обезвреживания газов и утилизации выбросов?

3. Какие особенности процессов обезвреживания газов в полом и насадочном оросителе? Почему применена такая последовательность аппаратов?

4. Какие способы известны для удаления фтора из газа водой?

5. В каком соотношении должны находиться потоки нейтрализаторов и потоки соединений фтора?

В первом вопросе следует отметить термодинамические особенности процесса: конденсацию паров соединений фтора (кислота, четырёх кремнистый фтор) при температуре ниже 40°C , которые с пылью образуют пасту. Для устранения этих процессов проводят подогрев стенок аппаратов.

Во втором вопросе следует отметить высокие концентрации пыли во входной части, поэтому может быть полезна установка малогабаритного инерционного разгрузителя с небольшим гидравлическим сопротивлением и обогреваемыми стенками, а в качестве второй ступени использовать одиночный циклон, поскольку его пылездерживающая способность выше, чем у группового.

В третьем вопросе – большая эффективность и надёжность из-за меньшей возможности зарастания и забивания каналов насадки, см. пояснение к первому заданию.

В четвёртом вопросе следует отметить слабую растворимость свободного фтора в воде, поэтому его переводят в HF или растворимые фториды.

В пятом вопросе следует отметить, что составляются балансовые уравнения, из которых соотношения получаются в зависимости от типа нейтрализаторов (аналогия с пояснениями к третьему заданию).