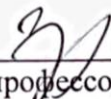


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы аспирантуры


С.Х. Загидуллин
д.т.н., профессор кафедры ОАХП

«19» «08» 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры
«Процессы и аппараты химических технологий»**

Научная специальность	2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий
Направленность (профиль) программы аспирантуры	Процессы и аппараты химических технологий
Выпускающая(ие) кафедра(ы)	Оборудование и автоматизация химических производств (ОАХП)
Форма обучения	Очная
Курс: 3	Семестр (ы): 5
Виды контроля с указанием семестра:	
Экзамен: 5	Зачет: Диф.Зачёт:

Пермь 2022

1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Процессы и аппараты химических технологий» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 N 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)".

- Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122 «Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)».

- Самостоятельно устанавливаемые требования к реализуемым программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Пермского национального исследовательского политехнического университета.

- Базовый план по программе аспирантуры.

- Паспорт научной специальности.

1.1 Цель учебной дисциплины – формирование комплекса знаний, умений и навыков в области процессов и аппаратов химических технологий.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Процессы и аппараты химических технологий» является обязательной дисциплиной образовательного компонента плана аспиранта.

Дисциплина используется при подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальности 2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий.

Кандидатский экзамен представляют собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- принципы составления уравнений материального и теплового балансов;
- аналитические и численные методы решения уравнений материального и теплового балансов;
- матрицы планов эксперимента первого и второго порядка;
- методы оптимизации эксперимента;
- основные физические, химические, гидродинамические и термодинамические закономерности процессов химических технологий, а также их влияние на эффективность работы химико-технологического оборудования;
- основные конструкционные характеристики аппаратов и характер их влияния на эффективность и интенсивность протекания процессов химических технологий.

Уметь:

- решать уравнений материального и теплового балансов;
- составлять матрицы планов эксперимента первого и второго порядка;
- выбирать факторы и определять область проведения эксперимента;
- обрабатывать результаты эксперимента и осуществлять его оптимизацию;
- составлять научно-обоснованные планы проведения исследований по изучению влияния основных физических, химических, гидродинамических и термодинамических закономерностей процессов химических технологий на эффективность работы химико-технологического оборудования;

– составлять научно-обоснованные планы проведения исследований по изучению влияния конструктивных характеристик аппаратов на эффективность и интенсивность протекания процессов химических технологий.

Владеть:

- практическими навыками решения уравнений материального и теплового балансов;
- навыками составления организационных планов эксперимента, а также навыками его проведения, оптимизации и обработки результатов;
- практическими навыками исследования влияния основных физических, химических, гидродинамических и термодинамических закономерностей процессов химических технологий на эффективность работы химико-технологического оборудования;
- практическими навыками исследования влияния конструктивных характеристик аппаратов на эффективность и интенсивность протекания процессов химических технологий.

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		5 семестр
1	Аудиторная работа	20
	В том числе:	
	Лекции (Л)	5
	Практические занятия (ПЗ)	6
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	9
	Самостоятельная работа (СР)	88
	Форма итогового контроля:	Экзамен

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. Системный анализ, гидродинамика и моделирование процессов и аппаратов химической технологии.

(Л – 1, ПЗ – 1, СР – 18)

Тема 1. Системный анализ в химической технологии.

Понятие химико-технологической системы, основные принципы системного анализа, иерархическая структура химического производства, технологические операторы и схемы.

Тема 2. Основы гидродинамики процессов и аппаратов химических технологий.

Основные уравнения движения жидкостей, гидродинамическая структура потоков, пограничные слои, ламинарный и турбулентный режимы течения жидкостей, критерии гидравлического подобия, гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов, сжатие и перемешивание газов, разделения неоднородных жидких и газовых систем, перемешивание в жидких средах, фильтрование, движение жидкостей через пористые и зернистые слои, псевдоожижение зернистых материалов.

Тема 3. Моделирование процессов и аппаратов химических технологий.

Физическое моделирование и теория подобия, математическое моделирование, типовые гидродинамические модели структуры потока в аппаратах, методы исследования структуры потока в аппаратах, модели идеального перемешивания и вытеснения, диффузионные и комбинированные модели, способы решения математических моделей, адекватность моделей.

Раздел 2. Тепловые процессы.

(Л – 1, ПЗ – 1, СР – 18)

Тема 4. Конвективный теплообмен.

Теплопроводность, теплоотдача и теплопередача, средняя движущая сила тепловых процессов, критерии теплового подобия; уравнения теплопроводности, теплоотдачи и теплопередачи, теплопередача при кипении и конденсации, расчёт и конструкции теплообменных аппаратов.

Тема 5. Лучистый теплообмен.

Основы лучистого (радиационного) теплообмена, степень черноты тела, уравнение теплоотдачи, коэффициент теплоотдачи, конструкции печей и котлов.

Раздел 3. Массообменные процессы.

(Л – 1, ПЗ – 2, СР – 26)

Тема 6. Абсорбция и ректификация.

Понятия массоотдачи и массопередачи; уравнения массоотдачи, массопередачи и их коэффициенты, критерии подобия процессов массообмена, сущность процессов абсорбции и ректификации, движущая сила процессов, расчёт и конструкции аппаратов для абсорбции и ректификации.

Тема 7. Сушка твёрдых материалов.

Понятие процесса сушки, абсолютная и относительная влажности материала и воздуха, температура мокрого термометра и точки росы, теоретический процесс сушки на диаграмме Рамзина, формы связи влаги с материалом, движущая сила сушки, расчёт и конструкции аппаратов для сушки твёрдых материалов.

Раздел 4. Реакционные процессы химических технологий.

(Л – 2, ПЗ – 2, СР – 26)

Тема 8. Гомогенные химические реакторы.

Реактор периодического и непрерывного действия, проточный реактор с мешалкой, каскад реакторов идеального перемешивания, реактор с продольным перемешиванием потока (ламинарный и турбулентный режим), расчёт реактора при произвольном распределении и времени пребывания реагирующей смеси, комбинированные модели реакторов, математические модели и расчёт реакторов, реактор с мешалкой.

Тема 9. Гетерогенные химические реакторы.

Гетерогенные каталитические реакторы, классификация каталитических реакторов по конструкционному и гидродинамическим признакам, одно- и многослойные реакторы со стационарным слоем катализатора, автотермические каталитические реакторы, реакторы с псевдоожиженным слоем катализатора, двухфазная и трёхфазная модели реактора, реакторы с движущимся слоем катализатора, математические модели расчёта некоторых типов промышленных каталитических реакторов.

4.2. Перечень тем практических занятий

Таблица 2

Темы практических занятий (из пункта 4.1)

№ п.п.	№ темы	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	3	Решение математических моделей структуры потока в аппаратах.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	4	Расчёт кожухотрубчатого теплообменника.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
3	6, 7	Определение движущей силы массопередачи.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
4	9	Моделирование работы каталитического гетерогенного реактора.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.

4.3. Перечень тем для самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в теоретическом изучении конкретных вопросов и выполнении творческих заданий.

Таблица 3

Темы самостоятельных занятий

№ п.п.	№ темы	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Иерархическая структура химического производства, технологические операторы и схемы.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
2	2	Фильтрация, движение жидкостей через пористые и зернистые слои, псевдооживление зернистых материалов Рассчитать гидравлическое сопротивление аппарата по теме научной работы.	Собеседование Творческое задание	Вопросы по темам / разделам дисциплины Темы творческих заданий
3	3	Модели идеального перемешивания и вытеснения, диффузионные и комбинированные модели, способы решения математических моделей, адекватность моделей. Создать модель структуры потока аппарата по теме научной работы.	Собеседование Творческое задание	Вопросы по темам / разделам дисциплины Темы творческих заданий
4	4, 5	Критерии теплового подобия; уравнения теплопроводности, теплоотдачи и теплопередачи, теплопередача при кипении и конденсации. Основы лучистого (радиационного) теплообмена, степень черноты тела, уравнение теплоотдачи, коэффициент теплоотдачи, конструкции печей и котлов. Рассчитать теплообмен в аппарате по теме научной работы.	Собеседование Творческое задание	Вопросы по темам / разделам дисциплины Темы творческих заданий
5	6-9	Уравнения массоотдачи, массопередачи и их коэффициенты, критерии подобия процессов массообмена, сущность процессов абсорбции и ректификации, движущая сила процессов, Понятие процесса сушки, абсолютная и относительная влажности материала и воздуха, температура мокрого термометра и точки росы, теоретический процесс сушки на диаграмме Рамзина, формы связи влаги с материалом, движущая сила сушки. Реактор периодического и непрерывного действия, проточный реактор с мешалкой, каскад реакторов идеального перемешивания, реактор с продольным перемешиванием потока (ламинарный и турбулентный режим), расчёт реактора при произвольном распределении и времени пребывания реагирующей смеси, комбинированные модели реакторов. Гетерогенные каталитические реакторы, классификация каталитических реакторов по конструкционному и гидродинамическим признакам, одно- и многослойные реакторы со стационарным слоем катализатора, автотермические каталитические реакторы, реакторы с псевдооживленным слоем катализатора, двухфазная и трёхфазная модели реактора, реакторы с движущимся слоем катализатора. Рассчитать массообменный аппарат или реактор по теме научной работы.	Собеседование Творческое задание	Вопросы по темам / разделам дисциплины Темы творческих заданий

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Процессы и аппараты химических технологий» аспирантам целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически;
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела;
3. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического, библиотечно-справочного и информационного, информационно-справочного обеспечения для работы аспиранта по дисциплине

6.1. Библиотечные фонды и библиотечно-справочные системы

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Кол-во экземпляров в библиотеке + кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
1 Основная литература		
1	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник – М.: ООО «Альянс», 2014. – 753 с.	50
2	А. М. Гумеров. Математическое моделирование химико-технологических процессов: учебное пособие / А. М. Гумеров. – 2-е изд., перераб. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2014. – 176 с.	11+ ЭБС «Лань»
3	Тимонин, А.С. Машины и аппараты химических производств: учебник для вузов / А.С. Тимонин [и др.]; Под ред. А.С. Тимонина. – Калуга: Ноосфера, 2014. – 854 с.	15
2 Дополнительная литература		
2.1 Учебно-методические, научные издания		
1	Косинцев В.И. и др. Основы проектирования химических производств: Учебник для Вузов – М.: «Академкнига», 2005.– 332с. 2008.	10 50
2	Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию: Учебное пособие / под. ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Альянс, 2007. – 493 с. 2010.	249 20
3	Островский Г.М. и др. Процессы и аппараты химической технологии: в 2 ч. Ч. II – СПб.: НПО «Профессионал», 2006. – 841с.	1
4	Кутепов А.М. Общая химическая технология: Учебник для вузов / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарева, М. Г. Беренгартен. – 3-е изд., перераб. – Москва: Академкнига, 2005. – 528 с. 2004.	29 51
5	Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: в 2-х ч. учебник – М.: Химия, 2002.	ч.1 - 47 ч.2 - 47
6	Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие – М.: ООО «Рус Медиа Консалт.», 2004. – 576 с.; М.: Альянс, 2006	480; 8
2.2 Периодические издания		
1	Журнал «Химическая промышленность сегодня»	
2	Журнал «Теоретические основы химической технологии»	
3	Журнал «Химическое и нефтегазовое машиностроение»	
4	Журнал «Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология.	
5	Журнал «Журнал прикладной химии»	
2.3 Нормативно-технические издания		

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Кол-во экземпляров в библиотеке + кафедре; местонахождение электронных изданий
	–	
2.4 Официальные издания		
	–	

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

1. Электронная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс]: [полнотекстовая база данных электрон. док., издан. в Изд-ве ПНИПУ] / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, Науч. б-ка. – Пермь, 2016. – Режим доступа: <http://elib.pstu.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

2. Электронно-библиотечная система Издательство «Лань» [Электронный ресурс]: [полнотекстовая база данных: электрон. версии кн., журн. по гуманитар., обществ., естеств. и техн. наукам] / Электрон.-библ. система «Изд-ва «Лань». – Санкт-Петербург, 2010-2016. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

3. ProQuest Dissertations & Theses Global [Электронный ресурс]: [полнотекстовая база данных: дис. и дипломные работы на ин. яз. по всем отраслям знания] / ProQuest LLC. – Ann Arbor, 2016. – Режим доступа: <http://search.proquest.com/pqdtglobal/dissertations>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

4. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс]: [полнотекстовая база данных: электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания] / [Электрон. б-ка дис.](http://elibrary.rsl.ru) – Москва, 2003-2016. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru>, компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

5. Cambridge Journals [Electronic resource: полнотекстовая база данных: электрон. журн. по гуманитар., естеств., и техн. наукам на англ. яз.] / University of Cambridge. – Cambridge: Cambridge University Press, 1770-2012. – Режим доступа: <http://journals.cambridge.org/>. – Загл. с экрана. 11.

6. Справочная Правовая Система КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: [полнотекстовая база данных правовой информ.: док., коммент., кн., ст., обзоры и др.]. – Версия 4015.00.02, сетевая, 50 станций. – Москва, 1992–2016. – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

7. Информационная система Техэксперт: Интранет [Электронный ресурс]: [полнотекстовая база данных правовой информ.: законодат. и норматив. док., коммент., журн. и др.] / Кодекс. – Версия 6.3.2.22, сетевая, 50 рабочих мест. – Санкт-Петербург, 2009-2013. – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

7.1. Основное учебное оборудование. Рабочее место аспиранта.

Таблица 4

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката, лабораторное оборудование)	Кол-во, ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	№ аудитории
1	2	3	4	5
1	Лабораторная установка для изучения гидродинамики потоков в насадочной колонне	1	оперативное управление	105, к. Б
2	Лабораторная установка для изучения кипящего (псевдооживленного) слоя	1	Оперативное управление	105, к. Б
3	Лабораторная установка для изучения процесса теплопередачи в кожухотрубчатом теплообменнике	1	оперативное управление	105, к. Б
4	Лабораторная установка для изучения процесса теплопередачи в пластинчатом теплообменнике	1	Оперативное управление	105, к. Б
5	Лабораторная установка для изучения процесса массопередачи в тарельчатой колонне	1	оперативное управление	105, к. Б
6	Лабораторная установка для изучения процесса абсорбции	1	оперативное управление	105, к. Б
7	Лабораторная установка для изучения процесса ректификации	1	оперативное управление	105, к. Б
8	Лабораторная установка для изучения процесса конвективной сушки	1	оперативное управление	105, к. Б

8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является кандидатский экзамен, проводимый с учетом результатов текущего контроля.

8.1. Описание показателей и критериев оценивания, описание шкал оценивания.

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию аспирантов.

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценку освоения дисциплин и проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

Собеседование

Для оценки **знаний** аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Защита отчета о творческом задании

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде экзамена по дисциплине, в устно-письменной фор-

ме по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) и практическое задание (ПЗ).

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания. Пример билета представлен в приложении 1.

Шкалы оценивания результатов обучения при сдаче экзамена:

Оценка результатов обучения по дисциплине проводится по 5-балльной системе оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена приведены в табл. 5.

Таблица 5

Шкала оценивания результатов освоения на экзамене

Оценка	Критерии оценивания
5	Аспирант продемонстрировал сформированные и систематические знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал отличные знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов. Аспирант правильно выполнил контрольное задание билета. Показал успешное и систематическое применение полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов.
4	Аспирант продемонстрировал сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал недостаточно уверенные знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов. Аспирант выполнил контрольное задание билета с небольшими неточностями. Показал в целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.
3	Аспирант продемонстрировал неполные знания при ответе на теоретический вопрос билета с существенными неточностями. Показал неуверенные знания в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей. Аспирант выполнил контрольное задание билета с существенными неточностями. Показал в целом успешное, но не систематическое применение полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.
2	При ответе на теоретический вопрос билета аспирант продемонстрировал фрагментарные знания при ответе на теоретический вопрос билета. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов. При выполнении контрольного задания билета аспирант продемонстрировал частично освоенное умение и применение полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.

9. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны быть направлены на оценивание:

1. уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию и оценивание сформированности когнитивных умений.
3. приобретенных умений, профессионально значимых для профессиональной деятельности.

10. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины

Перечень контрольных вопросов и заданий для сдачи кандидатского экзамена по научной специальности 2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий разработан с учётом научных достижений научно-исследовательской школы кафедры.

Типовые творческие задания:

1. Решить аналитически уравнение модели идеального вытеснения для трубного пространства кожухотрубчатого теплообменника считая, что температура теплоносителя в межтрубном пространстве постоянна по объёму и времени.

2. Решить численным способом с помощью компьютера уравнения моделей идеального вытеснения для каждого из теплоносителей теплообменника типа труба в трубе считая что теплоносители двигаются прямоотком.

3. Определить аналитически высоту подъёма одиночной частицы в восходящем потоке газа при заданной начальной скорости частицы и газа считая, что скорость витания частицы больше скорости воздуха. В начале своего движения частица направлена вверх. При расчёте учитывать только силы тяжести и сопротивления. Выбор параметров газа и частицы осуществить самостоятельно.

4. Рассчитать основные режимные и конструкционные параметры сушилки с псевдооживленным слоем для следующих исходных данных: средний диаметр частиц в слое – 0,5 мм; максимальный диаметр частиц в уносе – 0,03 мм; материал частиц – KCl ; число псевдооживления – 4; расход воздуха – $2,5 \text{ м}^3/\text{с}$. При расчёте исходить только из гидродинамики.

5. Используя табличные данные, выданные экзаменующим преподавателем построить равновесную и рабочую линию процесса ректификации. Используя результаты графического построения определить теоретическое число тарелок колонного аппарата.

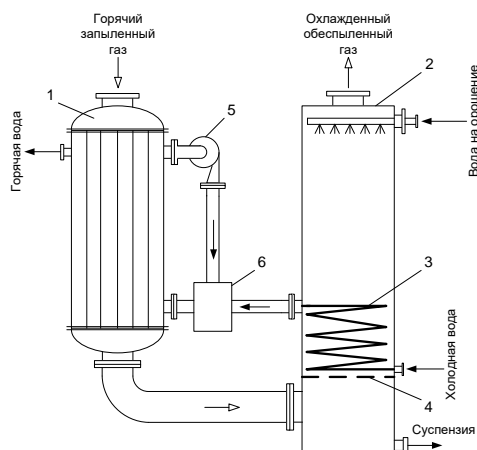
6. По данным, выданным экзаменующим преподавателем с помощью компьютера определить коэффициент турбулентной диффузии.

7. По данным, выданным экзаменующим преподавателем с помощью компьютера определить адекватность математической модели химико-технологического процесса.

8. По данным, выданным экзаменующим преподавателем с помощью компьютера найти оптимальные условия протекания химико-технологического процесса.

Типовые контрольные задания:

1. Составить систему уравнений материального баланса для представленного фрагмента технологической схемы



2. Для сушилки пневматического типа составить план полного 2-х факторного эксперимента **первого** порядка: 1-й фактор – температура сушки (область определения фактора 100 – 200 град. С); 2-й фактор – скорость воздуха в поперечном сечении сушилки (3 – 10 м/с).

3. Для сушилки пневматического типа составить план полного 2-х факторного эксперимента **второго** порядка: 1-й фактор – температура сушки (область определения фактора 130 – 170 град. С); 2-й фактор – скорость воздуха в поперечном сечении сушилки (5 – 8 м/с).

4. Выбрать факторы и определить область проведения эксперимента по исследованию кинетики процесса абсорбции для сред аммиак-вода в аппарате плёночного типа.

Полный комплект вопросов и заданий в форме утвержденных билетов хранится на кафедре «ОАХП».

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет» (ПНИПУ)

Программа
2.6.13. Процессы и аппараты
химических технологий

Кафедра
Оборудование и автоматизация
химических производств

Дисциплина
Процессы и аппараты химических
технологий

БИЛЕТ № 1

1. Уравнения: теплопередачи, теплоотдачи и теплопроводности. Характеристика параметров уравнения (*контроль знаний*).
2. Используя табличные данные, выданные экзаменуемым преподавателем построить равновесную и рабочую линию процесса ректификации. Используя результаты графического построения определить теоретическое число тарелок колонного аппарата (*контроль умений*).
3. По данным, выданным экзаменуемым преподавателем с помощью компьютера определить коэффициент турбулентной диффузии (*контроль умений и владений*).

Заведующий кафедрой _____ Е.Р. Мошев
(подпись)

« ____ » _____ 2022 г.

Лист регистрации изменений

№ п.п.	Содержание изменения	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой
1	2	3
1		
2		
3		
4		