

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Кафедра химических технологий

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«МАКРОКИНЕТИКА ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ»**

для студентов ВлГУ, обучающихся по направлению  
**18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии»**

Владимир – 2016 г.

Данные методические указания включают рекомендации по содержанию и выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Макрокинетика химических реакторов» для студентов направления 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» ВлГУ.

Методические указания составлены на основе требований ФГОС ВО и ОПОП направления 18.03.02. «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», рабочей программы дисциплины «Макрокинетика химических реакторов».

Рассмотрены и одобрены на  
заседании УМК направления  
18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие  
процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии»  
Протокол № 1 от 5.09.2016 г.  
**Рукописный фонд кафедры ХТ ВлГУ**

## 1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа, в том числе 108 ч. на СРС

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Самостоятельная работа студента (в часах)	Виды СРС	Формы контроля СРС	Баллы по СРС
1	<b>Тема 1.</b> Иерархическая структура математической модели процессов в реакторе.	10	Работа с учебниками и УП	Тесты	3
2	<b>Тема 2.</b> Физико-химические закономерности химических превращений	8	Работа с учебниками и УП.	Тесты.	5
3	<b>Тема 3.</b> Гомогенный химический процесс Основные положения и определения.	8	Работа с учебниками и УП.	Тесты.	5
4	<b>Тема 4.</b> Гетерогенный (некаталитический) химический процесс	10	Работа с учебниками и УП.	Тесты.	10
5	<b>Тема 5.</b> Каталитический процесс	8	Работа с учебниками и УП	Тесты	1
6	<b>Тема 6.</b> Изотермические процессы в реакторе	20	Работа с учебниками и УП.	Тесты.	5
7	<b>Тема 7.</b> Неизотермические процессы в химических реакторах	10	Работа с учебниками и УП.	Тесты	1
8	<b>Тема 8.</b> Виды промышленных химических реакторов	34	Работа с учебниками и УП. Написание реферата. Подготовка доклада	Тесты Реферат. Доклад	20
9	Подготовка к зачету			Зачет с оценкой	+бонус 5 б. за посещение
		Всего: 126		Итого:	60

Фонд оценочных средств для выполнения СРС дан в документе **Фонд оценочных средств для текущего контроля и промежуточной аттестации при изучении учебной дисциплины "Макрокинетика химических реакторов"**.

## **1. Общая схема самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов включает в себя подготовку к рейтинг-контролю знаний, к выполнению практических заданий, подготовке к сдаче зачета.

## **2. Рекомендации по использованию материалов УМКД**

В рабочей программе в части учебного плана представлена тематика лекций, практических занятий, по которым предусмотрено выполнение самостоятельной работы. В УМКД представлены вопросы по подготовке к рейтингам и сдаче зачета.. Приведен список основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения. Литература доступна через библиотеку ВлГУ, а также ее электронный зал.

## **3. Рекомендации по планированию и организации времени, отведенного на изучение дисциплины.**

В рабочей программе в учебно-тематическом плане курс разбит на темы, по каждой из которых предполагается прочтение лекций, выполнение практических занятий, а также самостоятельное изучение этих разделов в домашних условиях. Как обычно число часов, отведенных на аудиторские занятия, равно или более числу часов на самостоятельную проработку того или иного раздела. Студент в домашних условиях прорабатывает материал лекции и читает дополнительный материал по учебникам.

## **4. План изучения дисциплины**

Студент к сдаче зачета должен выполнить следующие работы:

1. Прослушать курс лекций.
2. Выполнить задания практических занятий.
3. Пройти тестирование по трем промежуточным аттестациям.
4. Подготовиться и сдать зачет по дисциплине.

## **5. Рекомендации по работе с литературой**

Самостоятельная работа студентов обеспечивается учебной литературой, представленной в библиотеке ВлГУ, электронным залом ВлГУ, а также Интернет-ресурсами. Основная и дополнительная литература приведена ниже.

#### **а) основная литература**

1. Общая химическая технология [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Закгейм А.Ю. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2012. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987044971.html>.

2. Христофорова И.А. Общая химическая технология. Химико-технологические расчеты в процессах электролиза, синтеза материалов и химических реакторах: учеб. Пособие / И.А. Христофорова; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2012. - 51 с. 72 экз. Электронная библиотека ВлГУ <http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2745/1/00273.pdf>

3. Красников П.В. Расчеты физических характеристик ядерных реакторов [Электронный ресурс/ Красников П.В., Столотнюк С.В., Столотнюк Я.Д.— М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2014.— 100 с.

4. Потехин В.М. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки [Электронный ресурс]: учебник для вузов/ Потехин В.М., Потехин В.В.— СПб.: ХИМИЗДАТ, 2014.— 944 с

#### **б) дополнительная литература**

1. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] / Ас. М. Гумеров, Н. Н. Валеев, Аз. М. Гумеров, В. М. Емельянов. - М. : КолосС, 2008. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953206310.html>.

2. Лабораторный практикум по общей химической технологии : учебное пособие для вузов по направлениям и специальностям в области химической технологии / В. А. Аверьянов [и др.] ; под ред. В. С. Бескова .— Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2010 .— 279 с. 10 экз.

3. Химическая кинетика. Теория и практика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.Е. Заиков - Казань : Издательство КНИТУ, 2013. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788215181.html>.

4. Решетняк Е.П. Исследование свойств биохимического реактора как объекта управления [Электронный ресурс]/ Решетняк Е.П., Луценко О.В., Харина И.В.— Саратов: Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Вузовское образование, 2007.— 15 с.

**в) периодические издания:**

- журнал «Известия ВУЗов. Химия и химическая технология»;
- журнал «Химическая промышленность сегодня»;
- журнал «Фундаментальные проблемы современного материаловедения»;
- журнал «Бутлеровские сообщения»;
- журнал «Башкирский химический журнал»;
- журнал «Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология»;
- журнал «Современные наукоемкие технологии»

**г) интернет-ресурсы:**

- сайты ведущих научных журналов по химической технологии, нефтехимии и биотехнологии;
- электронные библиотечные системы «Лань», ЭБС «Znanium», Студенческая электронная библиотека «Консультант студента», ЭБС «IPRbooks» и др. (бесплатный доступ через электронную библиотеку ВлГУ).

**6. Разъяснения по работе с тестовой системой курса, по выполнению домашних заданий**

Три раза в семестр проводится промежуточная аттестация по тестам, приведенным ниже. Аттестация проводится в режиме написания эссе по вопросу (тест с открытым ответом). В домашних условиях студент готовит теоретический материал к сдаче в рейтинговые недели.

**7. Рекомендации по подготовке к сдаче зачета**

Подготовка к сдаче зачета осуществляется студентом после сдачи рейтингов, полного выполнения практических заданий. Подготовка ведется по тематике лекционного курса. Преподаватель выдает заранее вопросы к сдаче зачета.

**8. Тесты к рейтинг-контролю.**

1. Понятие химического реактора.
2. Назначение химического реактора.

3. Структурные элементы химического реактора (реакционный элемент, устройства ввода и вывода, смешения, разделения и распределения потоков, теплообменные элементы).
4. Что такое моделирование и модель процесса?
5. Последовательность построения математической модели химического реактора.
6. Чем различаются физическое и математическое моделирование? Почему для исследования химических процессов и реакторов надо использовать математическое моделирование?
7. Иерархическая структура математической модели процесса в химическом реакторе.
8. Классификация процессов в химическом реакторе и их математических моделей.
9. Дайте определения и формулы для расчета степени превращения, выхода продукта и избирательности процесса по продукту. Покажите связь между ними.
10. Пути повышения эффективности химических превращений.
11. Классификация химических процессов по физико-химическим признакам.
12. Классификация химических процессов по фазовому состоянию реагентов.
13. Определение гомогенного химического процесса. Приведите пример такого процесса.
14. Понятие оптимальных температур. Оптимальные температуры для обратимых и необратимых экзо- и эндотермических процессов.
15. Понятие гетерогенного (некаталитического) химического процесса.
16. Структура гетерогенного процесса и его стадии.
17. Понятие наблюдаемой скорости превращения, режимов протекания процесса, лимитирующей стадии.
18. Гетерогенный химический процесс "газ (жидкость) - твердое". Обоснование, построение и анализ математической модели для реакций горения (модель "сжимающаяся сфера").
19. Гетерогенный химический процесс "газ (жидкость) - жидкость". Обоснование, построение и анализ математической модели. Области протекания процесса. Пути интенсификации режимов процесса.
20. Понятие катализа и катализатора.
21. Гомогенный и микрогетерогенный каталитические процессы.
22. Гетерогенный катализ на твердом катализаторе. Обоснование, построение и анализ математической модели на каталитической поверхности и в пористом зерне катализатора.

23. Наблюдаемая скорость превращения и области протекание гетерогенного катализа. Пути интенсификации каталитических процессов.
24. Классификация химических реакторов.
25. Реакторы идеального смешения и идеального вытеснения. Математические модели данных видов реакторов.
26. Сравнение эффективности работы реакторов, описываемых различными моделями – идеального смешения и вытеснения.
27. Организация тепловых потоков и режимов в химических реакторах.
28. Распределение температуры и концентраций (степени превращения) в реакторе в режимах идеального смешения и вытеснения, адиабатическом и с теплообменом.
29. Связь температуры и степени превращения в адиабатическом процессе.
30. Число и устойчивость стационарных режимов в адиабатическом реакторе идеального смешения и автотермическом реакторе идеального вытеснения.

## **9. Вопросы к зачету с оценкой.**

1. Определение и назначение химического реактора.
2. Реакторы в химических и нехимических отраслях промышленности.
3. Обзор типов химических реакторов, их структурные элементы, основные процессы и явления в них.
4. Физическое и математическое моделирование, их место в инженерно-химических исследованиях. Место и значение натурального и вычислительного эксперимента.
5. Систематизация процессов в химическом реакторе по масштабу их протекания.
6. Иерархическая структура математической модели процессов в реакторе.
7. Физико-химические закономерности химических превращений – стехиометрические, термодинамические, кинетические.
8. Показатели химического превращения – степень превращения, выход продукта, интегральная и дифференциальная селективность, скорости реакции и превращения реагентов.
9. Пути повышения эффективности химических превращений на основе знания их физико-химических свойств.
10. Понятие химического процесса. Классификация химических процессов по различным признакам – химическим, фазовым и стационарности.
11. Гомогенный химический процесс.
12. Влияние химических признаков и условий протекания процессы на его показатели. Способы интенсификации.
13. Понятие оптимальных температур. Оптимальные температуры для обратимых и



необратимых экзо- и эндотермических процессов.

14. Структура процесса и его составляющие. Наблюдаемая скорость химического превращения.

15. Режимы протекания процесса, лимитирующая стадия. Гетерогенный процесс "газ (жидкость) - твердое", "газ (жидкость) - жидкость". Обоснование выбора модели, построение и ее анализ.

16. Наблюдаемая скорость превращения и области протекания процесса. Пути интенсификации для различных режимов работы.

17. Гомогенный и гетерогенный катализ.

18. Гетерогенный катализ на твердом катализаторе. Пути интенсификации каталитических процессов.

19. Классификация процессов в реакторах по различным признакам – вид химического процесса, организация потоков реагентов, организация тепловых потоков.

20. Обоснование и построение математических моделей процесса в реакторах.

21. Влияние структуры потока (идеальное смешение и вытеснение), стационарности режима (проточный, периодический), параметров и условий протекания процесса (температура, давление, концентрация, объем реакционной зоны, время), вида химической реакции и ее параметров на профили концентраций и показателей процесса в реакторе (степень превращения, выход продукта, селективность). Основные расчеты процессы в реакторе.

22. Сравнение эффективности работы реакторов, описываемых различными моделями – идеального смешения и вытеснения.

23. Процессы в реакторах с переносом вещества, отличным от идеального смешения и вытеснения. Модели процессов, области их применения и сопоставление с моделями «идеальных» процессов.

24. Организация тепловых потоков и режимов в химических реакторах. 25. Распределение температуры и концентраций (степени превращения) в реакторе в режимах идеального смешения и распределения, адиабатическом и с теплообменом.

26. Связь температуры и степени превращения в адиабатическом процессе. Сопоставление с изотермическим режимом.

27. Число и устойчивость стационарных режимов в адиабатическом реакторе идеального смешения и изотермическом реакторе идеального вытеснения.

28. Конструкции промышленных реакторов для проведения процессов (гомогенных, гетерогенных, каталитических).

29. Выбор типа реактора, особенности конструкции и режима.

## 10. Методические рекомендации по изучению теоретического материала курса

### Тема 1.

*Лекция 1.* Иерархическая структура математической модели процессов в реакторе.

#### **Основные вопросы:**

1. Определение и назначение химического реактора. Требования, предъявляемые к химическим реакторам.
2. Систематизация процессов в химическом реакторе по масштабу их протекания. Иерархическая структура математической модели процессов в реакторе.

#### **Цель и задачи освоения темы:**

освоить понятия, такие как иерархическая структура математической модели в реакторе; знать классификацию химических процессов по физико-химическим и физическим признакам.

#### **Требования к уровню подготовленности студента:**

студентам необходимы знания по изученным ранее на стадии бакалавриата дисциплинам, таким как физика, химия, математика, общая химическая технология.

**Характеристика основного понятийно-терминологического аппарата, обеспечивающего успешное восприятие программного материала темы:**

студент должен освоить следующие понятия: иерархическая структура математической модели в реакторе; классификация химических процессов по физико-химическим и физическим признакам.

#### **Обзор по рекомендуемой литературе:**

Основной литературой для подготовки по данной теме являются:

1. Общая химическая технология [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Закгейм А.Ю. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2012. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987044971.html>.

2. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] / Ас. М. Гумеров, Н. Н. Валеев, Аз. М. Гумеров, В. М. Емельянов. - М. : КолосС, 2008. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953206310.html>.

3. Химическая кинетика. Теория и практика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.Е. Заиков - Казань : Издательство КНИТУ, 2013. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788215181.html>.

Данная тема является первоосновой для изучения последующих тем курса.

***Краткие выводы по итогам изучения темы:***

студент после изучения данной темы должен владеть основными понятиями, рассмотренными в теоретическом курсе. Необходимо усвоить понятия иерархической структуры математической модели в реакторе; классификацию химических процессов по физико-химическим и физическим признакам.

***Контрольные вопросы для самопроверки знаний по теме:***

1. Что такое химический реактор и для чего он предназначен?
2. Нарисуйте схемы нескольких реакторов (не менее 5). Приведите схему работы реактора.
3. Перечислите требования, предъявляемые к реакторам.
4. Иерархическая структура математической модели процесса в химическом реакторе и что она позволяет сделать при моделировании ХТП?
5. Представьте последовательность исследования методом математического моделирования.

**Тема 2.**

***Лекция 2.*** Физико-химические закономерности химических превращений – стехиометрические, термодинамические, кинетические. Показатели химического превращения – степень превращения, выход продукта, интегральная и дифференциальная селективность, скорости реакции и превращения реагентов. Пути повышения эффективности химических превращений на основе знания их физико-химических свойств.

***Основные вопросы:***

1. Показатели химического превращения – степень превращения, выход продукта, интегральная и дифференциальная селективность, скорости реакции и превращения реагентов.
2. Пути повышения эффективности химических превращений на основе знания их физико-химических свойств.

***Цель и задачи освоения темы:***

освоить определение степени превращения, выхода продукта, интегральной и дифференциальной селективности, скорости реакции и скорости превращения реагентов, знать методы увеличения скорости реакции.

***Требования к уровню подготовленности студента:***

студентам необходимы знания по изученным ранее на стадии бакалавриата дисциплинам, таким как физика, химия, математика, общая химическая технология.

***Характеристика основного понятийно-терминологического аппарата, обеспечивающего успешное восприятие программного материала темы:***

студент должен освоить следующие понятия: степени превращения, выхода продукта, интегральной и дифференциальной селективности, скорости реакции и скорости превращения реагентов, знать методы увеличения скорости реакции.

***Обзор по рекомендуемой литературе:***

Основной литературой для подготовки по данной теме являются:

1. Общая химическая технология [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Закгейм А.Ю. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2012. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987044971.html>.

2. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] / Ас. М. Гумеров, Н. Н. Валеев, Аз. М. Гумеров, В. М. Емельянов. - М. : КолосС, 2008. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953206310.html>.

3. Химическая кинетика. Теория и практика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.Е. Заиков - Казань : Издательство КНИТУ, 2013. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788215181.html>.

Данная тема является основой для изучения последующих тем курса.

***Краткие выводы по итогам изучения темы:***

студент после изучения данной темы должен владеть основными понятиями, рассмотренными в теоретическом курсе. Необходимо усвоить степени превращения, выхода продукта, интегральной и дифференциальной селективности, скорости реакции и скорости превращения реагентов, знать методы увеличения скорости реакции.

***Контрольные вопросы для самопроверки знаний по теме:***

1. Как рассчитать выход продукта по степени превращения и селективности?
2. Дайте определение и формулу расчета степени превращения.
3. Дайте определение и формулу расчета выхода продукта.
4. Дайте определение и формулу расчета селективности процесса.
5. Для какого типа реакций используют понятие селективность?
6. Что такое скорость химического превращения вещества и скорость химической реакции?
7. Какую размерность может иметь скорость химического превращения?

8. Какие практические приемы используются для увеличения скорости химического превращения?

### **Тема 3.**

**Лекция 3.** Гомогенный химический процесс.

**Основные вопросы:**

1. Закономерности протекания гомогенной простой реакции.
2. Влияние параметров на проведение обратимой простой реакции.
3. Закономерности протекания гомогенной сложной реакции

**Цель и задачи освоения темы:**

освоить понятие кинетических уравнений для протекания гомогенных процессов, определять влияние концентрации, температуры, теплового эффекта на скорость реакции на скорость реакции.

**Требования к уровню подготовленности студента:**

студентам необходимы знания по изученным ранее на стадии бакалавриата дисциплинам, таким как физика, химия, математика, общая химическая технология.

**Характеристика основного понятийно-терминологического аппарата, обеспечивающего успешное восприятие программного материала темы:**

студент должен освоить следующие понятия: понятие кинетических уравнений для протекания гомогенных процессов, определять влияние концентрации, температуры, теплового эффекта на скорость реакции на скорость реакции.

**Обзор по рекомендуемой литературе:**

Основной литературой для подготовки по данной теме являются:

1. Общая химическая технология [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Закгейм А.Ю. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2012. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987044971.html>.

2. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] / Ас. М. Гумеров, Н. Н. Валеев, Аз. М. Гумеров, В. М. Емельянов. - М. : КолосС, 2008. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953206310.html>.

3. Химическая кинетика. Теория и практика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.Е. Заиков - Казань : Издательство КНИТУ, 2013. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788215181.html>.

Данная тема является основой для изучения последующих тем курса.

### ***Краткие выводы по итогам изучения темы:***

студент после изучения данной темы должен владеть основными понятиями, рассмотренными в теоретическом курсе. Необходимо усвоить понятие кинетических уравнений для протекания гомогенных процессов, определять влияние концентрации, температуры, теплового эффекта на скорость реакции на скорость реакции.

### ***Контрольные вопросы для самопроверки знаний по теме:***

1. Что такое гомогенный и гетерогенный химические процессы?
2. Как зависит скорость необратимой реакции от концентрации и степени превращения (уравнение, график)?
3. Как зависит скорость необратимой реакции от температуры (уравнение, график)?
4. Как зависит скорость обратимой реакции от степени превращения (уравнение, график)?
5. Как зависит скорость обратимой реакции (экзо- и эндотермической) от температуры (график)?
6. Опишите оптимальный температурный режим для протекания необратимой реакции.
7. Опишите оптимальный температурный режим для обратимых (экзо- и эндотермических) реакции.
8. Дайте определение интегральной и дифференциальной селективности.
9. Как меняется с концентрацией дифференциальная селективность процесса при протекании параллельных реакций?
10. Как меняется интегральная селективность в ходе процесса (с увеличением степени превращения) при протекании: а) параллельных реакций; б) последовательных реакций? Обоснуйте свой ответ с помощью графиков.
11. Протекает параллельная реакция с образованием целевого промежуточного продукта R и побочного S. Как целесообразно проводить процесс, если 1)  $n_R = n_S, E_R > E_S$ ; 2)  $n_R > n_S, E_R > E_S$ ; 3)  $n_R < n_S, E_R > E_S$ ; 4)  $n_S > n_R, E_R < E_S$ ? Сопоставьте интенсивность и селективность таких процессов.

## **Тема 4.**

***Лекция 4.*** Гетерогенный (некаталитический) химический процесс.

### ***Основные вопросы:***

1. Основные составляющие, определяющие гетерогенный процесс
2. Закономерности протекания процесса в системе «газ (жидкость) – твердое вещество (полностью реагирующее)».

### 3. Закономерности протекания процесса в системе «газ – жидкость».

#### ***Цель и задачи освоения темы:***

освоить понятие гетерогенных систем, их виды, наблюдаемой скорости превращения, режима процесса, лимитирующей стадии, схемы процесса "сжимающееся ядро", "сжимающаяся сфера", "газ-жидкость".

#### ***Требования к уровню подготовленности студента:***

студентам необходимы знания по изученным ранее на стадии бакалавриата дисциплинам, таким как физика, химия, математика, общая химическая технология.

#### ***Характеристика основного понятийно-терминологического аппарата, обеспечивающего успешное восприятие программного материала темы:***

студент должен освоить следующие понятия: гетерогенные системы, их виды, наблюдаемая скорость превращения, режим процесса, лимитирующая стадия, схемы процесса "сжимающееся ядро", "сжимающаяся сфера", "газ-жидкость".

#### ***Обзор по рекомендуемой литературе:***

Основной литературой для подготовки по данной теме являются:

1. Общая химическая технология [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Закгейм А.Ю. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2012. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987044971.html>.

2. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] / Ас. М. Гумеров, Н. Н. Валеев, Аз. М. Гумеров, В. М. Емельянов. - М. : КолосС, 2008. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953206310.html>.

3. Химическая кинетика. Теория и практика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.Е. Заиков - Казань : Издательство КНИТУ, 2013. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788215181.html>.

Данная тема является основой для изучения последующих тем курса.

#### ***Краткие выводы по итогам изучения темы:***

студент после изучения данной темы должен владеть основными понятиями, рассмотренными в теоретическом курсе. Необходимо усвоить понятия гетерогенных систем, их виды, наблюдаемой скорости превращения, режима процесса, лимитирующей стадии, схемы процесса "сжимающееся ядро", "сжимающаяся сфера", "газ-жидкость".

#### ***Контрольные вопросы для самопроверки знаний по теме:***

1. Какие виды гетерогенных процессов различают по виду участвующих в процессе фаз?

2. Что такое лимитирующая стадия гетерогенного процесса?
3. Возможные области (режимы) протекания гетерогенного процесса.
4. Как определить лимитирующую стадию гетерогенного процесса?
5. Какие основные стадии в гетерогенном процессе «газ - твердое»?
6. Нарисуйте схему и объясните структуру процесса «газ - твердое (полностью реагирующее)». Какие этапы процесса можно выделить?
7. Как интенсифицировать процесс «газ - твердое (полностью реагирующее)» в разных режимах его протекания?
8. Нарисуйте схему и объясните структуру процесса «газ - жидкость». Какие этапы процесса можно выделить?
9. Как интенсифицировать процесс «газ – жидкость».

## **Тема 5.**

### ***Лекция 5. Сущность и виды катализа***

#### ***Основные вопросы:***

1. Понятие катализа. Виды катализа.
2. Гомогенный катализ.
3. Гетерогенный катализ на твердом катализаторе.
4. Свойства твердых катализаторов. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам. Методы получения промышленных катализаторов.
5. Современные катализаторы для дожигания выхлопных газов автомобилей.

#### ***Цель и задачи освоения темы:***

освоить понятие катализа, гомогенного и гетерогенного катализа, твердых катализаторов, их состав, методы получения промышленных катализаторов.

#### ***Требования к уровню подготовленности студента:***

студентам необходимы знания по изученным ранее на стадии бакалавриата дисциплинам, таким как физика, химия, общая химическая технология, физическая химия.

***Характеристика основного понятийно-терминологического аппарата, обеспечивающего успешное восприятие программного материала темы:***

студент должен освоить следующие понятия: катализ, гомогенный и гетерогенный катализ, твердые катализаторы, их состав, методы получения промышленных катализаторов.

#### ***Обзор по рекомендуемой литературе:***

Основной литературой для подготовки по данной теме являются:



1. Общая химическая технология [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Закгейм А.Ю. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2012. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987044971.html>.

2. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] / Ас. М. Гумеров, Н. Н. Валеев, Аз. М. Гумеров, В. М. Емельянов. - М. : КолосС, 2008. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953206310.html>.

3. Химическая кинетика. Теория и практика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.Е. Заиков - Казань : Издательство КНИТУ, 2013. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788215181.html>.

Данная тема является основой для изучения последующих тем курса.

***Краткие выводы по итогам изучения темы:***

студент после изучения данной темы должен владеть основными понятиями, рассмотренными в теоретическом курсе. Необходимо усвоить понятие катализа, гомогенного и гетерогенного катализа, твердых катализаторов, их состав, методы получения промышленных катализаторов.

***Контрольные вопросы для самопроверки знаний по теме:***

1. Что такое катализатор, его роль в химическом процессе.
2. Классификация процессов катализа.
3. Дайте определение и приведите примеры гомогенного, гетерогенного и микрогетерогенного катализа.
4. Влияет ли катализатор на равновесие химической реакции? Поясните ответ.
5. Перечислите основные стадии и классификацию гомогенного катализа.
6. Перечислите основные стадии гетерогенного катализа. Нарисуйте и объясните его схему.
7. Состав промышленных катализаторов.
8. Свойства твердых катализаторов.
9. Требования, предъявляемые к твердым катализаторам.
10. Методы получения твердых катализаторов.
11. Современные катализаторы для дожигания выхлопных газов автомобилей.

**Тема 6.**

***Лекция 6.*** Основные положения и определения химического реактора.

### ***Основные вопросы:***

1. Классификация процессов в реакторах по различным признакам – вид химического процесса, организация потоков реагентов, организация тепловых потоков.
2. Режимы идеального смешения периодический и идеального вытеснения для различного вида реакций. Влияние структуры потока, стационарности режима, условий протекания режима на свойства процесса в реакторе.

### ***Цель и задачи освоения темы:***

освоить понятие классификации реакторов по организации тепловых и материальных потоков, реактора идеального смешения и идеального вытеснения, этапов построения модели процесса.

### ***Требования к уровню подготовленности студента:***

студентам необходимы знания по изученным ранее на стадии бакалавриата дисциплинам, таким как физика, химия, общая химическая технология, физическая химия.

### ***Характеристика основного понятийно-терминологического аппарата, обеспечивающего успешное восприятие программного материала темы:***

студент должен освоить следующие понятия: классификация реакторов по организации тепловых и материальных потоков, реактор идеального смешения и идеального вытеснения, этапы построения модели процесса.

### ***Обзор по рекомендуемой литературе:***

Основной литературой для подготовки по данной теме являются:

1. Общая химическая технология [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Закгейм А.Ю. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2012. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987044971.html>.
2. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] / Ас. М. Гумеров, Н. Н. Валеев, Аз. М. Гумеров, В. М. Емельянов. - М. : КолосС, 2008. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953206310.html>.
3. Химическая кинетика. Теория и практика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.Е. Заиков - Казань : Издательство КНИТУ, 2013. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788215181.html>.

Данная тема является основой для изучения последующих тем курса.

### ***Краткие выводы по итогам изучения темы:***

студент после изучения данной темы должен владеть основными понятиями, рассмотренными в теоретическом курсе. Необходимо усвоить классификации реакторов по организации тепловых и материальных потоков, реактора идеального смешения и идеального вытеснения, этапов построения модели процесса.

***Контрольные вопросы для самопроверки знаний по теме:***

1. Каков общий подход к построению математической модели процесса в химическом реакторе? Напишите в общем виде балансовые уравнения процесса в реакторе.
2. Что такое реактор идеального смешения и в чем проявляется его «идеальность»? Ответьте на эти же вопросы о реакторе идеального вытеснения.
3. Какие признаки классификации химического процесса и химического реактора могут быть использованы при анализе процесса в химическом реакторе?
4. В чем заключается подобие и различие процесса в реакторах идеального смешения периодическом и идеального вытеснения?
5. Что такое условное время реакции и чем оно отличается от времени пребывания в реакторе?
6. Как меняются концентрации исходного компонента и продукта по длине реактора идеального вытеснения? Каковы их предельные значения (при увеличении длины реактора)?
7. При увеличении температуры на 10 градусов константа скорости реакции возросла в два раза. На сколько надо изменить длину реактора идеального вытеснения, чтобы получить то же превращение. Подтвердите это с помощью математической модели и изобразите графически.
8. Как изменится степень превращения в реакторе при протекании реакции первого порядка при увеличении начальной концентрации в 1,5 раза? Объясните.

**Тема 6.**

***Лекция 7.*** Сравнение эффективности работы реакторов, описываемых различными моделями – идеального смешения и вытеснения.

***Основные вопросы:***

1. Сопоставление непрерывных процессов в режимах идеального смешения и вытеснения

***Цель и задачи освоения темы:***

освоить понятие оптимального реактора, метод выбора реактора для конкретных целей, уметь сопоставлять реакторы по режиму движения потоков.

***Требования к уровню подготовленности студента:***

студентам необходимы знания по изученным ранее на стадии бакалавриата дисциплинам, таким как физика, химия, общая химическая технология, физическая химия.

***Характеристика основного понятийно-терминологического аппарата, обеспечивающего успешное восприятие программного материала темы:***

студент должен освоить следующие понятия: оптимальный реактор, метод выбора реактора для конкретных целей, уметь сопоставлять реакторы по режиму движения потоков.

***Обзор по рекомендуемой литературе:***

Основной литературой для подготовки по данной теме являются:

1. Общая химическая технология [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Закгейм А.Ю. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2012. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987044971.html>.

2. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] / Ас. М. Гумеров, Н. Н. Валеев, Аз. М. Гумеров, В. М. Емельянов. - М. : КолосС, 2008. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953206310.html>.

3. Химическая кинетика. Теория и практика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.Е. Заиков - Казань : Издательство КНИТУ, 2013. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788215181.html>.

Данная тема является основой для изучения последующих тем курса.

***Краткие выводы по итогам изучения темы:***

студент после изучения данной темы должен владеть основными понятиями, рассмотренными в теоретическом курсе. Необходимо усвоить понятие оптимального реактора, метод выбора реактора для конкретных целей, уметь сопоставлять реакторы по режиму движения потоков.

***Контрольные вопросы для самопроверки знаний по теме:***

1. Почему производительность реактора в режиме идеального вытеснения больше, чем в режиме идеального смешения, при протекании простых реакций?

2. Может ли режим реактора (идеального смешения, идеального вытеснения) оказывать влияние на селективность процесса при протекании сложной реакции? Обоснуйте Ваш ответ.

3. Попробуйте сформулировать, для какого типа процессов целесообразны реакторы в режимах: а) идеального смешения периодическом; б) идеального смешения проточном; в) идеального вытеснения?

## Тема 7.

**Лекция 8.** Неизотермические процессы в химических реакторах.

### **Основные вопросы:**

1. Организация теплообмена в реакторе и температурные режимы.
2. Распределение температуры и концентраций (степени превращения) в реакторе в режимах идеального смешения и распределения, адиабатическом и с теплообменом. Связь температуры и степени превращения в адиабатическом процессе.
3. Сопоставление адиабатического с изотермическим режимом.

### **Цель и задачи освоения темы:**

освоить схемы организации теплообмена в реакционной зоне химического реактора, промежуточного теплообмена в многослойном и адиабатическом реакторе, сопоставить режимы ИС-п и ИВ с теплообменом, изучить адиабатический процесс в реакторе с теплообменом, сопоставить адиабатический процесс с изотермическим.

### **Требования к уровню подготовленности студента:**

студентам необходимы знания по изученным ранее на стадии бакалавриата дисциплинам, таким как физика, химия, общая химическая технология, физическая химия.

**Характеристика основного понятийно-терминологического аппарата, обеспечивающего успешное восприятие программного материала темы:**

студент должен освоить схемы организации теплообмена в реакционной зоне химического реактора, промежуточного теплообмена в многослойном и адиабатическом реакторе, сопоставить режимы ИС-п и ИВ с теплообменом, изучить адиабатический процесс в реакторе с теплообменом, сопоставить адиабатический процесс с изотермическим.

### **Обзор по рекомендуемой литературе:**

Основной литературой для подготовки по данной теме являются:

1. Общая химическая технология [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Закгейм А.Ю. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2012. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987044971.html>.

2. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] / Ас. М. Гумеров, Н. Н. Валеев, Аз. М. Гумеров, В. М. Емельянов. - М. : КолосС, 2008. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953206310.html>.

3. Химическая кинетика. Теория и практика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.Е. Заиков - Казань : Издательство КНИТУ, 2013. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788215181.html>.

Данная тема является основой для изучения последующих тем курса.

***Краткие выводы по итогам изучения темы:***

студент после изучения данной темы должен владеть основными понятиями, рассмотренными в теоретическом курсе. Необходимо освоить схемы организации теплообмена в реакционной зоне химического реактора, промежуточного теплообмена в многослойном и адиабатическом реакторе, сопоставить режимы ИС-п и ИВ с теплообменом, изучить адиабатический процесс в реакторе с теплообменом, сопоставить адиабатический процесс с изотермическим.

***Контрольные вопросы для самопроверки знаний по теме:***

1. Расскажите о различных способах организации теплообмена в химическом реакторе.
2. Какие температурные режимы протекания реакции и тепловые режимы процесса могут существовать в реакторе? Покажите схемы реакторов, в которых осуществляются такие режимы.
3. Постройте модель процесса идеального вытеснения с теплоотводом из зоны реакции. От каких параметров зависят показатели процесса?
4. Что такое величина адиабатического разогрева? Почему этот параметр лучше характеризует влияние реакции на температурный режим технологического процесса, чем теплота реакции?
5. Как будет меняться степень превращения и температура в реакторе идеального вытеснения при протекании адиабатического процесса. Сопоставьте эти изменения с изотермическим процессом.

**Тема 8.**

***Лекция 9.*** Виды промышленных химических реакторов.

***Основные вопросы:***

1. Реакторы для проведения гомогенных процессов.
2. Реакторы для гетерогенных процессов.
3. Реакторы для газо-жидкостных процессов.

***Цель и задачи освоения темы:***

освоить основные виды промышленных реакторов: для проведения гомогенных, гетерогенных, газо-жидкостных процессов

***Требования к уровню подготовленности студента:***

студентам необходимы знания по изученным ранее на стадии бакалавриата дисциплинам, таким как физика, химия, общая химическая технология, физическая химия.

***Характеристика основного понятийно-терминологического аппарата, обеспечивающего успешное восприятие программного материала темы:***

студент должен освоить основные виды промышленных реакторов: для проведения гомогенных, гетерогенных, газо-жидкостных процессов

***Обзор по рекомендуемой литературе:***

Основной литературой для подготовки по данной теме являются:

1. Общая химическая технология [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Закгейм А.Ю. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2012. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987044971.html>.

ЭБС «IPRbooks» <http://www.iprbookshop.ru/22534>.

2. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] / Ас. М. Гумеров, Н. Н. Валеев, Аз. М. Гумеров, В. М. Емельянов. - М. : КолосС, 2008. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента»

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953206310.html>.

3. Химическая кинетика. Теория и практика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.Е. Заиков - Казань : Издательство КНИТУ, 2013. Студенческая электронная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788215181.html>.

***Краткие выводы по итогам изучения темы:***

студент после изучения данной темы должен владеть основными понятиями, рассмотренными в теоретическом курсе. Необходимо освоить основные виды промышленных реакторов: для проведения гомогенных, гетерогенных, газо-жидкостных процессов

***Контрольные вопросы для самопроверки знаний по теме:***

1. Нарисуйте схемы реакторов для реализации гомогенных процессов и объясните их работу (вход сырья и выход продуктов, время пребывания процесса, пути отвода и подвода теплоты и т.д).

2. Нарисуйте схемы реакторов для гетерогенных процессов "газ (жидкость) - твердое" и объясните принцип их работы. Приведите примеры промышленных процессов, в которых применяются такие реакторы.

3. Почему в адсорбере для очистки газа не достигается полная отработка адсорбента (его полное насыщение примесями)?

4. Как можно организовать поток твердого реагента через реактор? Нарисуйте схемы аппаратов, объясните их работу.

5. Какие существуют способы организации взаимодействия газа с жидкостью при осуществлении газо-жидкостных химических процессов? Нарисуйте схемы реакторов и объясните их работ.

6. Как увеличить интенсивность превращения в газо-жидкостном реакторе, используя разные способы контактирования фаз? За счет чего это достигается?