

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Химический институт им. А.М. Бутлерова



### Программа дисциплины

Химическая технология в каталитических процессах Б1.В.ОД.4

Направление подготовки: 04.04.01 - Химия  
Профиль подготовки: Нефтехимия и катализ  
Квалификация выпускника: магистр  
Форма обучения: очное  
Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Верещагина Я.А.

**Рецензент(ы):**

Соломонов Б.Н.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Соломонов Б. Н.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Химического института им. А.М. Бутлерова:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 747015

Казань  
2015

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Верещагина Я.А.  
Кафедра физической химии Химический институт им. А.М. Бутлерова ,  
Jana.Vereschagina@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

сформировать основные представления о проектировании химического реактора, научить студента понимать взаимосвязи между эффективностью работы химического реактора и закономерностями управления химико-технологическим процессом, представлять принципы выбора типа химического реактора для различных химико-технологических процессов

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ОД.4 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 04.04.01 Химия и относится к обязательные дисциплины.

Осваивается на 1 курсе, 2 семестр.

учебный цикл Б1.В.ОД.4 "Профессиональные (специальные) дисциплины" для профиля "Нефтехимия и катализ".

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1 (общекультурные компетенции)	способностью владеть культурой мышления, умение аргументировано и ясно строить устную и письменную речь
ОК-2 (общекультурные компетенции)	способностью уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям, толерантность в восприятии социальных и культурных различий
ПК-10 (профессиональные компетенции)	способностью применять в профессиональной деятельности современные языки программирования и языки баз данных, операционные системы, электронные библиотеки и пакеты программ, сетевые технологии
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью понимать и применять в исследовательской и прикладной деятельности современный математический аппарат

В результате освоения дисциплины студент:

понимать взаимосвязи между эффективностью работы химического реактора и закономерностями управления химико-технологическим процессом, представлять принципы выбора типа химического реактора для различных химико-технологических процессов

### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет во 2 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

- 86 баллов и более - "отлично" (отл.);  
71-85 баллов - "хорошо" (хор.);  
55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);  
54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Предмет и задачи дисциплины	2		1	0	0	
2.	Тема 2. Химический реактор	2		2	4	0	устный опрос
3.	Тема 3. Режимы работы реактора	2		2	6	0	устный опрос
4.	Тема 4. Тепловые характеристики реактора	2		1	2	0	устный опрос
5.	Тема 5. Промышленные реакторы	2		1	0	0	устный опрос
6.	Тема 6. Контактные аппараты	2		2	4	0	устный опрос
7.	Тема 7. Реакторы в системах Г-Т, Ж-Ж, Г-Ж, Т-Ж	2		1	2	0	устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	2		0	0	0	зачет
	Итого			10	18	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Предмет и задачи дисциплины

###### **лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Предмет и задачи дисциплины ?Химическая технология в каталитических процессах?.  
Инженерная химия каталитических процессов. Способы осуществления каталитических процессов в промышленности. Типы каталитических реакторов. Промышленный катализ ? наиболее эффективный метод повышения скорости и селективности химического превращения, играет главенствующую роль при разработке концепции ресурсосберегающей технологии. Около 90% каталитических процессов являются каталитическими. Понятие катализа включает сложную систему реакций, в результате которых снижаются энергетические, стерические и прочие затруднения на пути реакции по сравнению с некаталитическими процессами. Роль катализаторов ? положительная, отрицательная; виды каталитических процессов. Основные характеристики промышленных катализаторов и требования к катализаторам в совокупности с характеристиками проводимого технологического процесса служат основой для выбора технологической схемы процесса и основных реакторов для проведения процесса.

##### Тема 2. Химический реактор

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Химический реактор как предмет промышленной кинетики. Технологические и конструкционные параметры реактора. Показатели эффективности работы реактора. Классификация реакторов (конструктивная форма, организационная структура, фазовое состояние реагентов и катализаторов, тип гидродинамического режима, тип теплового режима, тип защиты материала реактора). Химический реактор – это основной аппарат технологической схемы, в котором осуществляются химическая реакция и сопутствующие ей физические процессы. Основные требования к промышленным реакторам: высокая производительности селективность, низкие энергетические затраты, надежность регулирования и установки технологического режима, простота обслуживания, низкая стоимость, безопасность работы. Показатели эффективности работы реактора включают производительность, пропускная способность, интенсивность, мощность, удельная производительность. Классифицируют реакторы по следующим признакам: конструктивная форма (колонны, печи, камеры, трубчатые, смесители, теплообменники и другие), организационная структура (периодические, непрерывные, полупериодические), фазовое состояние реагентов и катализаторов (гомогенные и гетерогенные), тип гидродинамического режима (смешения, вытеснения; идеальные, неидеальные), тип теплового режима (адиабатические, изотермические, политропные), тип защиты материала реактора.

***практическое занятие (4 часа(ов)):***

Реакторы периодические, полупериодические, непрерывные. Обоснование выбора организационной структуры реактора. Реакторы одно- и многофазные.

**Тема 3. Режимы работы реактора**

***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Стационарный и нестационарный режимы. Гидродинамический режим. Идеальные и неидеальные течения. Гидродинамические модели реакторов (модель ИВ, модель ИС, ячеечная модель, диффузионные модели). Материальный баланс реактора. Характеристические уравнения для реакторов идеального смешения и идеального вытеснения. Гидродинамические модели реакторов позволяют рассматривать их как сложные объекты в рамках иерархического подхода. Целесообразно предварительное построение моделей частных подсистем и постепенный переход к более сложным уровням. Рассматриваем модели идеального смешения (проточный реактор – все реагенты интенсивно перемешиваются, выравнивание параметров процесса), идеального вытеснения (время пребывания во всех точках реактора одинаково). Дифференциальные уравнения материального баланса для каждой модели (в стационарном или нестационарном режиме) позволяют определить изменение концентрации реагентов, время пребывания реагентов в реакторе. Модель смешения применяют при моделировании прежде всего жидкостных реакторов с системами перемешивания. Модель вытеснения применяют для технических расчетов трубчатых контактных каталитических аппаратов для гомогенных и гетерогенных процессов, жидкофазных трубчатых реакторов и других процессов.

***практическое занятие (6 часа(ов)):***

Сравнительный анализ эффективности работы идеальных реакторов разных гидродинамических типов. Рассматриваются уравнения материального баланса для различных моделей реакторов: РИС, РИС-П, РИВ, РИВ-Н, каскад реакторов (К-РИС-Н). Работа каскада реакторов описывается при помощи ячеечной модели, что позволяет на практике добиться более высокой степени превращения реагентов, повышения выхода целевого продукта. Сравнение моделей реакторов проводится на основе сравнения зависимости изменения концентраций реагентов от времени их пребывания в реакторе. Определение числа теоретического числа ступеней в каскаде используют графический и аналитический методы. Аналитический метод позволяет при соблюдении некоторых условий определить число последовательно соединенных реакторов в каскаде. Гидродинамические режимы в реальных реакторах можно описывать с помощью однопараметрической диффузионной модель и двухпараметрическую диффузионную модель, которые позволяют оценить степень отклонения гидродинамического режима реального реактора от идеального. Характеристика времени пребывания реагентов в аппарате: время пребывания задается технологическим режимом, для непрерывных реакторов регулируется скоростью питания. Выбор реактора определяется величиной времени пребывания (функция гидродинамического потока), концентрационным режимом, величиной селективности различных технологических процессов.

#### **Тема 4. Тепловые характеристики реактора**

##### ***лекционное занятие (1 часа(ов)):***

Температурный режим реактора. Режим постоянных и переменных температур. Обоснование выбора температурного режима для реакций разных технологических классов. Тепловой режим реактора. Изотермический тепловой режим. Адиабатический тепловой режим. Автотермический тепловой режим. Политропический тепловой режим. Температура ? один из основных параметров химико-технологического процесса. От температуры зависят: скорость реакции, химическое равновесие, степень превращения, селективность. Учет всех тепловых явлений позволяет составить уравнение теплового баланса процесса. В зависимости от теплового режима различают 3 основных типа реакторов: адиабатический, изотермический, политермический. Схемы регулирования теплового режима. Температурный режим реактора.

##### ***практическое занятие (2 часа(ов)):***

Тепловой баланс реактора ? основа для расчета реакторов с учетом теплового режима. Тепловой баланс периодического реактора. Тепловой баланс непрерывного реактора, молекулярная теплоемкость. Требования к процессам, проводимым в изотермических и адиабатических реакторах ИС и ИВ. Расчет неизотермических реакторов.

#### **Тема 5. Промышленные реакторы**

##### ***лекционное занятие (1 часа(ов)):***

Требования, предъявляемые к конструкции реактора. Факторы, влияющие на элементы конструкции реактора. Конструкционные материалы. Элементы защиты материала реактора от термических и коррозионных воздействий. Конструкционные параметры ? габариты аппарата (диаметр и высота), размерные характеристики теплообменных, перемешивающих, распределяющих и других элементов конструкции аппаратов (величина поверхности, длина и диаметр труб, площадь свободного сечения и т.д.). Технологические параметры обеспечивают реализацию оптимальных условий проведения реакции в пространстве реактора.

#### **Тема 6. Контактные аппараты**

##### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Реакторы с неподвижным, движущимся и кипящим слоем катализатора. Достоинства и недостатки. Ограничения при конструировании реакторов с неподвижным слоем катализатора. Динамические свойства гетерогенно-каталитических реакций

##### ***практическое занятие (4 часа(ов)):***

Нестационарность режима контактного аппарата. Устойчивые и неустойчивые режимы функционирования. Температурная устойчивость реактора. Диаграммный метод исследования устойчивости реактора. Устойчивость теплового режима реакторов, устойчивые системы и причины неустойчивости. Устойчивость исследуют с помощью диаграммного (графического) метода, который заключается в совместном графическом решении уравнений материального и теплового балансов реактора с целью нахождения параметров его работы. Способы теплообмена реакторов ? прямой и косвенный. Теплоносители и хладоагенты, используемые в системах теплообмена различных реакторов.

### **Тема 7. Реакторы в системах Г-Т, Ж-Ж, Г-Ж, Т-Ж**

#### **лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Высокотемпературные реакторы. Промышленные печи. Типы камер. Жидкофазные реакторы. Системы Т-Ж. Системы Ж-Ж. Системы Г-Ж. Реакторы для систем Т-Т. Виброкавита-ционные мельницы. Типы камер. Электрохимические реакторы. Реакторы под давлением. Автоклавы. Трубчатые реакторы.

#### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Реакторы с нетрадиционными источниками энергии: биохимические, плазмохимические, сонохимические, механохимические, фотохимические.

### **4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

<b>N</b>	<b>Раздел Дисциплины</b>	<b>Семестр</b>	<b>Неделя семестра</b>	<b>Виды самостоятельной работы студентов</b>	<b>Трудоемкость (в часах)</b>	<b>Формы контроля самостоятельной работы</b>
2.	Тема 2. Химический реактор	2		подготовка к устному опросу	6	устный опрос
3.	Тема 3. Режимы работы реактора	2		подготовка к устному опросу	10	устный опрос
4.	Тема 4. Тепловые характеристики реактора	2		подготовка к устному опросу	12	устный опрос
5.	Тема 5. Промышленные реакторы	2		подготовка к устному опросу	4	устный опрос
6.	Тема 6. Контактные аппараты	2		подготовка к устному опросу	8	устный опрос
7.	Тема 7. Реакторы в системах Г-Т, Ж-Ж, Г-Ж, Т-Ж	2		подготовка к устному опросу	4	устный опрос
	Итого				44	

### **5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения**

балльно-рейтинговая система, предусматривается разбор конкретных ситуаций, основанных на практических примерах; использование компьютерных презентаций лекций

### **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

#### **Тема 1. Предмет и задачи дисциплины**

#### **Тема 2. Химический реактор**

устный опрос , примерные вопросы:

1. Химический реактор, требования к промышленному реактору. 2. Классификация химических реакторов по организационной структуре процесса, гидродинамическому и тепловому режиму, фазовому состоянию реакционной смеси и конструктивным характеристикам. 3. Основные принципы выбора реактора.

### **Тема 3. Режимы работы реактора**

устный опрос , примерные вопросы:

4. Материальный баланс химического реактора. 5. Характеристические уравнения РИВ и РИС. 6. Гидродинамические модели реакторов. Характеристическое уравнение РИС-Н

### **Тема 4. Тепловые характеристики реактора**

устный опрос , примерные вопросы:

7. Гидродинамические модели реакторов. Характеристическое уравнение РИВ-Н. 8. Гидродинамические модели реакторов. Характеристическое уравнение РИС-П. 9. Гидродинамические модели реакторов. Каскад РИС-П.

### **Тема 5. Промышленные реакторы**

устный опрос , примерные вопросы:

10. Однопараметрическая и двухпараметрическая диффузионные модели реактора. 11. Отклонение гидродинамического режима в реальных реакторах от идеального. Экспериментальное определение среднего времени пребывания частиц в реакторе. 12. Реакторы для гомогенных процессов. 13. Реакторы для проведения реакций в системе ?Г-Т? и ?Ж-Т?.

### **Тема 6. Контактные аппараты**

устный опрос , примерные вопросы:

14. Реакторы для проведения реакций в системе ?Г-Ж? и ?Ж-Ж?. 15. Реакторы для гетерогенно-каталитических процессов. 16. Реакторы с неподвижным, движущимся и кипящим слоем катализатора

### **Тема 7. Реакторы в системах Г-Т, Ж-Ж, Г-Ж, Т-Ж**

устный опрос , примерные вопросы:

17. Тепловой баланс химического реактора. 18. Изотермический реактор. Уравнение теплового баланса. 19. Адиабатический реактор. Уравнение теплового баланса.

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

Итоговый контроль знаний студентов (вопросы к зачету)

1. Химический реактор, требования к промышленному реактору.
2. Классификация химических реакторов по организационной структуре процесса, гидродинамическому и тепловому режиму, фазовому состоянию реакционной смеси и конструктивным характеристикам.
3. Основные принципы выбора реактора.
4. Материальный баланс химического реактора.
5. Характеристические уравнения РИВ и РИС.
6. Гидродинамические модели реакторов. Характеристическое уравнение РИС-Н
7. Гидродинамические модели реакторов. Характеристическое уравнение РИВ-Н.
8. Гидродинамические модели реакторов. Характеристическое уравнение РИС-П.
9. Гидродинамические модели реакторов. Каскад РИС-П.
10. Однопараметрическая и двухпараметрическая диффузионные модели реактора.
11. Отклонение гидродинамического режима в реальных реакторах от идеального. Экспериментальное определение среднего времени пребывания частиц в реакторе.
12. Реакторы для гомогенных процессов
13. Реакторы для проведения реакций в системе "Г-Т" и "Ж-Т".
14. Реакторы для проведения реакций в системе "Г-Ж" и "Ж-Ж".

15. Реакторы для гетерогенно-каталитических процессов.
16. Реакторы с неподвижным, движущимся и кипящим слоем катализатора.
17. Тепловой баланс химического реактора.
18. Изотермический реактор. Уравнение теплового баланса.
19. Адиабатический реактор. Уравнение теплового баланса.
20. Политропический реактор. Уравнение теплового баланса
21. Устойчивость режима работы адиабатического реактора.
22. Устойчивость режима работы изотермического реактора.
23. Способы организации теплообмена в реакторах.
24. Теплоносители и хладоагенты.

### 7.1. Основная литература:

1. Харлампиди Х.Э. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов. - 2-е изд., перераб. - СПб.: Лань, 2013. - 448 с.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=32826](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=32826)
2. Модернизация катализаторов и технологии синтеза изопрена на ОАО "Нижнекамскнефтехим" / А.А. Ламберов, Х.Х. Гильманов. - Казань: Казан. Ун-т, 2012. - 404 с.
3. Кузнецова И.М., Харлампиди Х. Э.  
Общая химическая технология. Основные концепции проектирования ХТС. - 2-е изд., перераб. - СПб.: Лань, 2014. - 384 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=45973](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=45973)

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Методические разработки к спецпрактикуму по гетерогенному катализу. Для студентов химического факультета / А.А. Ламберов, С.Р. Егорова. - Казань: КГУ, 2006. - 38с.
2. Гетерогенные каталитические реакции в проточных реакторах: руководство к лабораторному практикуму для студентов Химического института им. А.М. Бутлерова КФУ / А.А. Ламберов и др. - Казань: Казан. Ун-т, 213. - 77 с.
3. Физико-химические методы исследования гетерогенных катализаторов: руководство к лабораторному практикуму / авт.-сост. А.А. Ламберов, С.Р. Егорова, А.Н. Катаев и др. - Казань: Казан. Ун-т, 2013. - 80с.
4. Закгейм А. Ю. Общая химическая технология: введение в моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Ю. Закгейм. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Логос, 2012. - 304 с. - (Новая университетская библиотека).  
<http://znanium.com/bookread.php?book=468690>
5. Тимофеев, Владимир Савельевич. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Химическая технология и биотехнология" / В. С. Тимофеев, Л. А. Серафимов, А. В. Тимошенко. ?Изд. 3-е, перераб. и доп..?Москва: Высшая школа, 2010. 406с.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

- ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МАССООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ И ТЕХНОЛОГИИ -  
<http://wavetechno.narod.ru/gdu.htm>  
общая химическая технология - [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=32826](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=32826)  
ТГТУ технологическое оборудование - <http://macp.web.tstu.ru/soder.html>  
техноинфа - <http://www.tehnoinfo.ru>  
химическая технология органических веществ -  
<http://window.edu.ru/resource/870/56870/files/diachkov.pdf>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

Освоение дисциплины "Химическая технология в каталитических процессах" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен студентам. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Персональный компьютер и проектор для демонстрации иллюстративного материала по всем разделам дисциплины и компьютерных симуляций

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 04.04.01 "Химия" и магистерской программе Нефтехимия и катализ .

Автор(ы):

Верещагина Я.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Соломонов Б.Н. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.