

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра высокомолекулярных соединений и общей химической технологии

Актуализировано  
на заседании кафедры ВМС и ОХТ  
протокол № 8 от «05» июня 2017 г.

Согласовано:  
Председатель УМК факультета /института

Зав. кафедрой



Кулиш Е.И.



Гарифуллина Г.Г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Дисциплина **Кинетика и макрокинетика полимеризационных процессов**

вариативная часть

**программа бакалавриата**  
Направление подготовки (специальность)  
04.03.01 «химия»

Направленность (профиль) подготовки  
Высокомолекулярные соединения

Квалификация  
бакалавр

<p>Разработчик (составитель) Профессор, д.х.н. (должность, ученая степень, ученое звание)</p>	 _Кулиш Е.И. (подпись, Фамилия И.О.)
---	--

для приема 2016 г.

Уфа 2017 г.

Составитель / составители: Кулиш Е.И.

Рабочая программа дисциплины актуализирована на заседании кафедры  
Высокомолекулярных соединений и общей химической технологии протокол от «05»  
июня 2017 г. № 8

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины (обновлены  
перечень основной и дополнительной литературы и лицензионное программное  
обеспечение, необходимое для освоения дисциплины приняты на заседании на заседании  
кафедры ВМС и ОХТ протокол от «29» мая 2018 г. № 10

Заведующий кафедрой



\_\_\_/Кулиш Е.И./

## Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)
4. Фонд оценочных средств по дисциплине
  - 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
  - 4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
  - 4.3. *Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)*
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
  - 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины
  - 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**  
(с ориентацией на карты компетенций)

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Результаты обучения <sup>1</sup>		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	Знать: теоретические основы базовых химических дисциплин	ОПК-1 способностью использовать полученные знания теоретических основ фундаментальных разделов химии при решении профессиональных задач	
	Знать стандартные методы получения, идентификации и исследования свойств веществ и материалов, правила обработки и оформления результатов работы, нормы ТБ	ОПК-2 владением навыками проведения химического эксперимента, основными синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций	
	Знать: основные методы синтеза и анализа химических веществ, принципа работы стандартных лабораторных	ПК- 1 Способностью выполнять стандартные операции по предлагаемым методикам	
	Знать: стандартные методы применения современной аппаратуры при проведении научных исследований, идентификации и исследования свойств веществ и материалов, правила обработки и оформления результатов работы, нормы ТБ	ПК- 2 владением базовыми навыками использования современной аппаратуры при проведении научных исследований	
Умения	Уметь выполнять стандартные действия (классификация веществ, составление схем процессов, систематизация данных и т.п.) с учетом основных понятий и общих закономерностей, формулируемых в рамках базовых химических дисциплин	ОПК-1 способностью использовать полученные знания теоретических основ фундаментальных разделов химии при решении профессиональных задач	
	Уметь: решать типовые учебные задачи по основным (базовым) химическим дисциплинам		
	Уметь: проводить простые химические опыты по предлагаемым методикам	ОПК-2 владением навыками проведения химического эксперимента, основными синтетическими и аналитическими методами получения и	

<sup>1</sup>Должны соответствовать картам компетенций.

		исследования химических веществ и реакций	
	Уметь: выполнять основные операции выполняемые при синтезе и анализе химических соединений	ПК- 1 Способностью выполнять стандартные операции по предлагаемым методикам	
	Уметь: проводить химические эксперименты с использованием современной аппаратуры	ПК- 2 владением базовыми навыками использования современной аппаратуры при проведении научных исследований	
Владения (навыки / опыт деятельности)	Владеть: навыками работы с учебной литературой по основным химическим дисциплинам	ОПК-1 способностью использовать полученные знания теоретических основ фундаментальных разделов химии при решении профессиональных задач	
	Владеть базовыми навыками проведения химического эксперимента и оформления его результатов	ОПК-2 владением навыками проведения химического эксперимента, основными синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций	
	Владеть: навыками выполнения стандартных операций по предлагаемым методикам	ПК- 1 Способностью выполнять стандартные операции по предлагаемым методикам	
	Владеть базовыми навыками использования современной аппаратуры при проведении научных исследований	ПК- 2 владением базовыми навыками использования современной аппаратуры при проведении научных исследований	

2.

### **3. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина "Кинетика и макрокинетика полимеризационных процессов" относится к вариативным дисциплинам профессионального (специального) цикла ООП. Целью освоения дисциплины является освоение расчетами химических реакторов с учетом кинетики протекающего химического процесса, специфики протекания быстрых химических реакций при синтезе полимеров в турбулентных потоках, интенсификации тепло- и массопереноса в жидких средах, проектирования энерго- и ресурсосберегающих технологий на основе малогабаритных трубчатых турбулентных реакторов.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

Б1.б.11 –физическая химия

Б1.Б.10 –органическая химия

Б1.В.1.08 –кристаллохимия

Б1.В.1.ДВ.03.02 –химия мономеров

Кроме того, при освоении данной дисциплины требуются самые высокие знания, умения и навыки, приобретённые в результате освоения всех предшествующих дисциплин, особенно таких, как стереохимия, физическая химия, математика, информатика, физика, общая химия.

### **3.Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)**

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

#### 4. Фонд оценочных средств по дисциплине

##### 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

###### Код и формулировка компетенции

ОПК-1 способность использовать полученные знания теоретических основ фундаментальных разделов химии при решении профессиональных задач

Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
		Не зачет	зачет
Первый уровень	Знать: теоретические основы базовых химических дисциплин	Затрудняется в определении базовых понятий и формулировке основных законов химии	Имеет четкое, целостное представление о содержании основных химических курсов и общих закономерностях химических процессов, изучаемых в рамках основных химических дисциплин
Второй уровень	Уметь: выполнять стандартные действия (классификация веществ, составление схем процессов, систематизация данных и т.п.) с учетом основных понятий и общих закономерностей,	Умеет классифицировать вещества, составлять структурные и пространственные формулы основных классов органических и неорганических соединений, называть вещества в соответствии с номенклатурой ИЮПАК	Умеет прогнозировать результаты несложных последовательностей химических реакций с учетом общих закономерностей процессов, изучаемых в рамках основных химических дисциплин

	формулиру емых в рамках базовых химически х дисциплин		
	Уметь: решать типовые учебные задачи по основным (базовым) химически м дисциплин ам	Умеет решать типовые задачи из базовых курсов химии, но допускает отдельные ошибки	Умеет решать задачи повышенной сложности из базовых курсов химии
<b>Третий уровень</b>	Владеть: навыками работы с учебной литературо й по основным химически м дисциплин ам	Владеет навыками поиска учебной литературы, в т.ч., с использованием электронных ресурсов	Владеет навыками критического анализа учебной информации по основным разделам химии, формулировки выводов и участия в дискуссии по учебным вопросам



## КОМПЕТЕНЦИЯ

### Код и формулировка компетенции

ОПК-2 владением навыками проведения химического эксперимента, основными синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций

Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
		Не зачет	Зачет
Первый уровень	Знать: стандартные методы получения, идентификации и исследования свойств веществ и материалов, правила обработки и оформления результатов работы, нормы ТБ	Затрудняется в выборе метода получения, идентификации и исследования свойств указанного вещества, не знает требований к оформлению результатов эксперимента и норм ТБ	Знает стандартные методы получения, идентификации и исследования свойств различных групп веществ и материалов; правила техники безопасности при работе с ними, основные требования к оформлению результатов эксперимента
Второй уровень	Уметь: проводить простые химические опыты по предлагаемым методикам	Не умеет проводить простые химические опыты по предлагаемым методикам	Умеет выполнять демонстративные опыты по химии; одно- и двухстадийный синтез по предлагаемой методике с выходом целевого продукта согласно заявленному в методике; проводить комплексный анализ и исследование свойств полученных веществ и материалов. Умеет оформлять результаты эксперимента в соответствии с заявленными требованиями
Третий уровень	Владеть базовыми навыками проведения химического эксперимента и оформления его результатов	Не владеет базовыми навыками проведения химического эксперимента и оформления его результатов	Владеет навыками синтеза, идентификации и изучения свойств веществ и материалов, правильного протоколирования опытов

ПК-1Способностью выполнять стандартные операции по предлагаемым методикам

Этап (уровень) освоения компетенци и	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
		Незачет	зачет
Первый этап (уровень)	Знать: Основные методы синтеза и анализа химических веществ, принципа работы стандартных лабораторных приборов.	Фрагментарные представления о методах работы в лаборатории	Сформированные систематические знания о методах синтеза и анализа химических веществ, принципа работы стандартных лабораторных приборов.
Второй этап (уровень)	Уметь: выполнять основные операции выполняемые при синтезе и анализе химических соединений	Фрагментарное умение выполнять стандартные операции по предлагаемым методикам	Успешное и систематическое умение выполнять стандартные лабораторные операции.
Третий этап (уровень)	Владеть: навыками выполнения стандартных операций по предлагаемым методикам	Фрагментарное владение навыками работы на стандартном оборудовании	Успешное и систематическое владение навыками выполнения стандартных операций по предлагаемым методикам

ПК-2 владением навыками использования современной аппаратуры при проведении научных исследований

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
		Незачет	зачет
Первый этап (уровень)	Знать: стандартные методы применения современной аппаратуры при проведении научных исследований, идентификации и исследования свойств веществ и материалов, правила обработки и оформления результатов работы, нормы ТБ  (ПК-2)	Затрудняется в выборе метода применения современной аппаратуры при проведении научных исследований, идентификации и исследования свойств указанного вещества, не знает требований к оформлению результатов эксперимента и норм ТБ	Знает стандартные методы применения современной аппаратуры при проведении научных исследований, идентификации и исследования свойств различных групп веществ и материалов; правила техники безопасности при работе с ними, основные требования к оформлению результатов эксперимента
Второй этап (уровень)	Уметь: проводить химические эксперименты с использованием современной аппаратуры  (ПК-2)	Умеет проводить некоторые химические эксперименты с использованием современной аппаратуры	Умеет выполнять демонстративные опыты по химии с использованием современной аппаратуры; проводить комплексный анализ и исследование свойств полученных веществ и материалов. Умеет оформлять результаты эксперимента в соответствии с заявленными требованиями
Третий этап (уровень)	Владеть базовыми навыками	Владеет некоторыми навыками использования современной аппаратуры при проведении	Владеет базовыми навыками использования современной аппаратуры

	использования современной аппаратуры при проведении научных исследований  (ПК-2)	научных исследований	при проведении научных исследований, идентификации и изучения свойств веществ и материалов, правильного протоколирования опытов
--	--	----------------------	---

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины

**4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Этапы освоения	Результаты обучения <sup>2</sup>	Формируемая компетенция (с указанием кода)	Оценочные средства
Знания	Знать: теоретические основы базовых химических дисциплин	ОПК-1 способностью использовать полученные знания теоретических основ фундаментальных разделов химии при решении профессиональных задач	Тесты, групповой опрос
	Знать стандартные методы получения, идентификации и исследования свойств веществ и материалов, правила обработки и оформления результатов работы, нормы ТБ	ОПК-2 владением навыками проведения химического эксперимента, основными синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций	Тесты, групповой опрос
	Знать: основные методы синтеза и анализа химических веществ, принципа работы стандартных лабораторных	ПК- 1 Способностью выполнять стандартные операции по предлагаемым методикам	Тесты, групповой опрос
	Знать: стандартные методы применения современной аппаратуры при проведении научных исследований, идентификации и исследования свойств веществ и материалов, правила обработки и оформления результатов работы, нормы ТБ	ПК- 2 владением базовыми навыками использования современной аппаратуры при проведении научных исследований	Тесты, групповой опрос

<sup>2</sup>Должны соответствовать картам компетенций.

Умения	Уметь выполнять стандартные действия (классификация веществ, составление схем процессов, систематизация данных и т.п.) с учетом основных понятий и общих закономерностей, формулируемых в рамках базовых химических дисциплин	ОПК-1 способностью использовать полученные знания теоретических основ фундаментальных разделов химии при решении профессиональных задач	Тесты, групповой опрос
	Уметь: решать типовые учебные задачи по основным (базовым) химическим дисциплинам		Тесты, групповой опрос
	Уметь: проводить простые химические опыты по предлагаемым методикам	ОПК-2 владением навыками проведения химического эксперимента, основными синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций	Тесты, групповой опрос
	Уметь: выполнять основные операции выполняемые при синтезе и анализе химических соединений	ПК- 1 Способностью выполнять стандартные операции по предлагаемым методикам	Тесты, групповой опрос
	Уметь: проводить химические эксперименты с использованием современной аппаратуры	ПК- 2 владением базовыми навыками использования современной аппаратуры при проведении научных исследований	Тесты, групповой опрос
Владения (навыки / опыт деятельности)	Владеть: навыками работы с учебной литературой по основным химическим дисциплинам	ОПК-1 способностью использовать полученные знания теоретических основ фундаментальных разделов химии при решении профессиональных задач	Тесты, групповой опрос
	Владеть базовыми навыками проведения химического эксперимента и оформления его результатов	ОПК-2 владением навыками проведения химического эксперимента, основными синтетическими и аналитическими методами получения и исследования химических веществ и реакций	Тесты, групповой опрос
	Владеть: навыками выполнения стандартных операций по предлагаемым методикам	ПК- 1 Способностью выполнять стандартные операции по предлагаемым методикам	Тесты, групповой опрос
	Владеть базовыми навыками использования современной аппаратуры при проведении научных исследований	ПК- 2 владением базовыми навыками использования современной аппаратуры при проведении научных	Тесты, групповой опрос

### 4.3. Рейтинг-план дисциплины

#### Критерии оценки устного опроса

- 0 баллов выставляется студенту, если студент не имеет представления об обсуждаемом вопросе;
- 2 балла выставляется студенту, если студент имеет фрагментарные представления об обсуждаемом вопросе;
- 3 балла выставляется студенту, если студент имеет неполные представления об обсуждаемом вопросе;
- 4 балла выставляется студенту, если студент имеет сформированные, но содержащие существенные пробелы представления об обсуждаемом вопросе;
- 5 баллов выставляется студенту, если студент имеет сформированные систематические представления об обсуждаемом вопросе.

#### Вопросы для аудиторной и домашней работы

##### Вопросы для устного опроса

##### Тема № 1

Специфика протекания быстрых жидкофазных химических реакций. Новые закономерности. Общие и отличительные особенности режима квазиидеального вытеснения в турбулентных потоках по сравнению с режимами идеального смешения и вытеснения. Условия формирования режима квазиидеального вытеснения в случае протекания низкомолекулярных реакций и при синтезе полимеров. Преимущества протекания быстрых химических реакций в режиме квазиидеального вытеснения. Пути регулирования теплового режима при протекании быстрых химических реакций в трубчатых турбулентных аппаратах. Трубчатые турбулентные аппараты как новый тип реакторов химической технологии (новые закономерности работы). Модификации трубчатых турбулентных аппаратов.

##### Тема №2

Автомодельный режим течения жидких потоков по отношению к вязкости в трубчатых турбулентных аппаратах диффузор-конфузорной конструкции. Характерные времена турбулентного, микро- и мезосмешения в трубчатых турбулентных аппаратах. Характеристики турбулентного смешения в трубчатых турбулентных аппаратах в автомодельном режиме. Макроструктуры фронтов смешения и реакции в трубчатых турбулентных аппаратах цилиндрической конструкции. Расчет диаметра капель дисперсной фазы в трубчатых турбулентных аппаратах диффузор-конфузорной конструкции. Основные понятия макрокинетики. Условия необходимости учета макрокинетических законов при протекании химических реакций. Пути регулирования теплового режима при протекании быстрых химических реакций в трубчатых турбулентных аппаратах за счет внешнего теплообмена.

### Тема № 3

Сделать вывод о лимитирующем механизме (масштаб смешения) гомогенизации реакционной смеси если линейная скорость движения потока  $V_k=10$  м/с, диаметр конфузорной части аппарата  $d_k=100$  мм, динамическая вязкость  $\mu=1000$  мПа·с, плотность  $\rho=865$  кг/м<sup>3</sup>, угол раскрытия диффузора  $\gamma=45^\circ$ . Рассчитать значения коэффициента турбулентной диффузии, удельной кинетической турбулентности, диссипации удельной кинетической энергии турбулентности если скорость движения потока  $V_k=5$  м/с, диаметр конфузорной части аппарата  $d_k=50$  мм, угол раскрытия диффузора  $\gamma=45^\circ$ . Рассчитать критический радиус, соответствующий переходу от режима квазиидеального вытеснения к факельному режиму при протекании: а) низкомолекулярной реакции второго порядка с константой скорости 10 л/моль·с, наименьшая концентрация одного из реагентов составляет 0,25 моль/л, коэффициент турбулентной диффузии  $D_T = 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/с; б) полимеризации изобутилена с константой гибели активных центров  $k_T = 20$  с<sup>-1</sup>.

### Тема № 4

Условия формирования стационарного и нестационарного теплового режима работы химического реактора (верхняя и нижняя точки стационарного режима). Распределение времен пребывания в аппаратах химической технологии (идеального смешения, идеального вытеснения, турбулентный реактор). Количественные характеристики степени отклонения структуры потоков в аппаратах химической технологии от идеального смешения и идеального вытеснения. Области использования трубчатых турбулентных аппаратов. Их преимущества по сравнению с традиционными реакторами. Формирование макрорежимов при протекании быстрых химических реакций на примере полимеризации изобутилена. Условия нарушения автомодельного режима течения высоковязких сред в трубчатых турбулентных аппаратах диффузор-конфузорной конструкции, методы восстановления автомодельного режима. Факельный режим при протекании быстрых химических реакций.

Текущий контроль представляет собой проверку усвоения учебного материала, регулярно осуществляемую на протяжении семестра. Он осуществляется систематически, что обусловлено требованием постоянного и непрерывного мониторинга качества обучения, а также необходимостью балльно-рейтинговой оценки успеваемости обучающегося. При подобном контроле осуществляется проверка не компетенции в целом, а отдельных ее элементы (знания, умения, навыки).

Рубежный контроль осуществляется в конце 1-го и 2-го модулей, выделяемых в рамках освоения дисциплины. Он позволяет проверить отдельные компетенции или совокупности взаимосвязанных компетенций.

Устный опрос (УО) имеет большое значение в оценке процесса формирования компетенций в процессе освоения учебной дисциплины. Воспитательная функция УО имеет ряд важных аспектов: нравственный (честная сдача), дисциплинирующий (систематизация материала при ответе), дидактический (лучшее запоминание материала при интеллектуальной концентрации), эмоциональный (радость от успешного прохождения собеседования) и др. Обучающая функция УО состоит в выявлении деталей, которые по каким-то причинам оказались недостаточно осмысленными в ходе учебных занятий и при подготовке к зачёту или экзамену. УО обладает также мотивирующей функцией: правильно организованные собеседование, коллоквиум, зачёт могут стимулировать учебную деятельность студента, его участие в научной работе.

### Вопросы для подготовки к рубежному контролю:

1. Специфика протекания быстрых жидкофазных химических реакций. Новые закономерности.
2. Общие и отличительные особенности режима квазиидеального вытеснения в турбулентных потоках по сравнению с режимами идеального смешения и вытеснения.
3. Условия формирования режима квазиидеального вытеснения в случае протекания низкомолекулярных реакций и при синтезе полимеров. Преимущества протекания быстрых химических реакций в режиме квазиидеального вытеснения.
4. Пути регулирования теплового режима при протекании быстрых химических реакций в трубчатых турбулентных аппаратах.
5. Трубчатые турбулентные аппараты как новый тип реакторов химической технологии (новые закономерности работы). Модификации трубчатых турбулентных аппаратов.
6. Автомодельный режим течения жидких потоков по отношению к вязкости в трубчатых турбулентных аппаратах диффузор-конфузорной конструкции.
7. Характерные времена турбулентного, микро- и мезосмешения в трубчатых турбулентных аппаратах. Характеристики турбулентного смешения в трубчатых турбулентных аппаратах в автомодельном режиме.
8. Макроструктуры фронтов смешения и реакции в трубчатых турбулентных аппаратах цилиндрической конструкции.
9. Расчет диаметра капель дисперсной фазы в трубчатых турбулентных аппаратах диффузор-конфузорной конструкции.
10. Основные понятия макрокинетики. Условия необходимости учета макрокинетических законов при протекании химических реакций.
11. Пути регулирования теплового режима при протекании быстрых химических реакций в трубчатых турбулентных аппаратах за счет внешнего теплообмена.
12. Сделать вывод о лимитирующем механизме (масштаб смешения) гомогенизации реакционной смеси если линейная скорость движения потока  $V_k=10$  м/с, диаметр конфузорной части аппарата  $d_k=100$  мм, динамическая вязкость  $\mu=1000$  мПа·с, плотность  $\rho=865$  кг/м<sup>3</sup>, угол раскрытия диффузора  $\gamma=45^\circ$ .
13. Рассчитать значения коэффициента турбулентной диффузии, удельной кинетической турбулентности, диссипации удельной кинетической энергии турбулентности если скорость движения потока  $V_k=5$  м/с, диаметр конфузорной части аппарата  $d_k=50$  мм, угол раскрытия диффузора  $\gamma=45^\circ$ .
14. Рассчитать критический радиус, соответствующий переходу от режима квазиидеального вытеснения к факельному режиму при протекании: а) низкомолекулярной реакции второго порядка с константой скорости 10 л/моль·с, наименьшая концентрация одного из реагентов составляет 0,25 моль/л, коэффициент



турбулентной диффузии  $D_T = 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ ; б) полимеризации изобутилена с константой гибели активных центров  $k_T = 20 \text{ с}^{-1}$ .

15. Условия формирования стационарного и нестационарного теплового режима работы химического реактора (верхняя и нижняя точки стационарного режима).
16. Распределение времен пребывания в аппаратах химической технологии (идеального смешения, идеального вытеснения, турбулентный реактор).
17. Количественные характеристики степени отклонения структуры потоков в аппаратах химической технологии от идеального смешения и идеального вытеснения.
18. Области использования трубчатых турбулентных аппаратов. Их преимущества по сравнению с традиционными реакторами.
19. Формирование макрорежимов при протекании быстрых химических реакций на примере полимеризации изобутилена.
20. Условия нарушения автомодельного режима течения высоковязких сред в трубчатых турбулентных аппаратах диффузор-конфузорной конструкции, методы восстановления автомодельного режима.
21. Факельный режим при протекании быстрых химических реакций.
22. Методы регулирования теплового режима при протекании быстрых химических реакций.
23. Влияние радиуса реактора на характер протекания быстрой полимеризации и качество получаемых продуктов.
24. Возможные области использования турбулентных реакторов разной модификации. Обоснуйте ответ.
25. Кривые отклика на ввод инертного индикатора в аппаратах химической технологии.
26. Сепарирующий эффект в турбулентных реакторах диффузор-конфузорной конструкции.
27. Сравните турбулентные реакторы цилиндрической и диффузор-конфузорной конструкции.
28. Ячеечная и диффузионные модели при расчетах режимов работы реакторов химической технологии.
29. Влияние вязкости на режим работы трубчатых турбулентных аппаратов.
30. Расчет длины зоны охлаждения в турбулентных реакторах при протекании быстрых химических реакций.
31. Зависимость выбора типа и конструкции реактора в зависимости от кинетических параметров полимеризационных процессов (на примере олигомеризации пиперилена).

32. Зонная модель ведения быстрого химического процесса.

### Комплект тестов (рубежный контроль)

Описание тестирования: Проводится тестирование на степень владения материалом. В каждом задании – один правильный ответ

Критерии оценки (в баллах):

- 0 баллов выставляется студенту, если количество правильных ответов 0 %;
- 10 балла выставляется студенту, если количество правильных ответов 30 %;
- 15 баллов выставляется студенту если количество правильных ответов 40 %;
- 20 баллов выставляется студенту, если количество правильных ответов 60 %;
- 25 баллов выставляется студенту, если количество правильных ответов 80 - 100%;

Что такое кваизотремический режим?

- а) Режим с одинаковой температурой стенки реактора
- б) Режим, при котором скорость тепловыделения равна скорости теплоотвода
- в) Режим, при котором за счет интенсивного продольного перемешивания весь реакционный объем находится при одинаковой температуре.

Адабатические подъем температуры прямо пропорционален:

- а) Выходу продукта
- б) Теплоте емкости реакционной смеси
- в) Плотности реакционной смеси

Что не является одной из модификаций трубчатых турбулентных аппаратов:

- а) Аппарат диффузор-конфузорной конструкции
- б) Аппарат цилиндрической конструкции
- в) Аппарат типа «труба в трубе»

В соответствии с классификацией реакторов химической технологии различают:

- а) реактор идеального вытеснения
- б) реактор идеального смешения
- в) реактор идеального процесса

Режим квазиидеального вытеснения в турбулентных потоках формируется при условии:

- а) радиус реактора меньше критической величины
- б) радиус реакторы больше критической величины
- в) радиус реактора равен критической величине.

Выберите ложное утверждение:

- а) Быстрые химические реакции протекают в диффузионной области
- б) Быстрые химические реакции лимитируются тепло-массопереносом
- в) Скорость быстрых химических реакций описывается только законами формальной кинетики.

Критерий Боденштейна это:

- а) Критерий теплового подобия
- б) Критерий химического подобия
- в) Критерий гидродинамического подобия

Критерий Рейнольдса это:

- а) Критерий теплового подобия
- б) Критерий химического подобия
- в) Критерий гидродинамического подобия

Укажите верное для быстрых химических реакций утверждение:

- а) Выход продукта растет с увеличением скорости движения реагентов
- б) Выход продукта снижается с увеличением скорости движения реагентов
- в) Выход продукта не зависит от скорости движения реагентов

Наибольшая эффективность турбулентного перемешивания реакционной смеси характеризуются трубчатые аппараты:

- а) С соосным вводом реагентов
- б) С радиальным вводом реагентов
- в) С коническим расширением в начале аппарата

В автомодельном режиме движения реакционной смеси по отношению к вязкости характеристики турбулентного перемешивания:

- а) Не зависят от вязкости
- б) Зависят от вязкости
- в) Равны вязкости

Выберите несуществующий термин:

- а) Время турбулентного перемешивания
- б) Время микросмешения
- в) Время наносмешения

Трубчатый турбулентный аппарат кожухотрубчатой конструкции используется для:

- а) Снижения адиабатического разогрева в местах ввода реагентов
- б) Снижения протяженности зоны охлаждения
- в) Интенсификации турбулентного перемешивания по всему объему реактора

Трубчатый турбулентный аппарат диффузор-конфузорной конструкции используется для:

- а) Снижения адиабатического разогрева в местах ввода реагентов
- б) Снижения протяженности зоны охлаждения
- в) Интенсификации турбулентного перемешивания по всему объему реактора

Трубчатый турбулентный аппарат зонной конструкции используется для:

- а) Снижения адиабатического разогрева в местах ввода реагентов
- б) Снижения протяженности зоны охлаждения
- в) Интенсификации турбулентного перемешивания по всему объему реактора

Степень отклонения от идеализированных моделей смешения и вытеснения можно оценить с использованием:

- а) Распределения по временам пребывания реагентов в зоне реакции
- б) Распределения температуры в зоне реакции

в) Распределения концентрации исходных реагентов в реакторе

Сепарирующий эффект при высоких скоростях движения многофазной реакционной смеси формируется в трубчатых турбулентных реакторах:

- а) Диффузор-конфузорной конструкции
- б) Цилиндрической конструкции
- в) Кожухотрубчатой конструкции

Температура в реакторе при протекании быстрого химического процесса в условиях внутреннего теплообмена:

- а) Равна температуре хладагента
- б) Равна температуре кипения компонентов реакционной смеси
- в) Равна температуре исходной реакционной смеси.

## **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **а) Основная литература**

1. Закгейм А.Ю. Общая химическая технология: введение в моделирование химико-технологических процессов ( Электронный ресурс ): учеб.пособие/ Закгейм А.Ю. – М.:Логос, 2012 -304 с.
2. Захаров В.П. Макрокинетика быстропротекающих процессов в жидкой фазе. Курс лекций. Уфа: РИЦБашГУ, 2008. – 56 с

#### **б) дополнительная литература**

3. Захаров В.П., Берлин А.А., Монаков Ю.Б., Дебердеев Р.Я. Физико-химические основы протекания быстрых жидкофазных процессов. М.: Наука. 2008. 348 с.
4. Minsker K.S., Berlin A.I., Zakharov V.P., Zaikov G.E. Fastliquid-phase processes in turbulent flows. Brill Ac. Publ. VSP. Netherlands. 2004. 180p.
5. Айнштейн В.Г. и др. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии, в 2-х кн. М.: Логос. 2003, 912 с.
6. Монаков Ю.Б., Берлин Ал.Ал., Захаров В.П. Быстрые жидкофазные химические процессы в турбулентном режиме. Известия вузов. Химия и химическая технология. - 2005. -Т. 48. -№9. -С. 3-17.
7. Мингалеев В.З., Захаров В.П., Тайбулатов П.А., Монаков Ю.Б. О влиянии гидродинамического воздействия на микроструктуру сополимеров бутадиена с изопреном // Доклады АН. 2011. Т. 440. № 4. С. 488–490.
8. Захаров В.П., Минскер К.С., Шевляков Ф.Б., Берлин Ал.Ал., Алексанян Г.Г., Рытов Б.Л., Коноплев А.А. Интенсификация газожидкостных процессов в трубчатых турбулентных аппаратах // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77. № 11. С. 1840-1843.

#### **Перечень методических указаний для самостоятельной работы студентов**

1. Курс лекций «Макрокинетика быстропротекающих процессов в жидкой фазе». Уфа: РИЦБашГУ, 2008. – 56 с
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Общая химическая технология, ч.1»: «Массообменные процессы: абсорбция»
3. Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Общая химическая технология»: «Вода в химической промышленности» (2005 г.).

4. Методические указания по курсу «Общая химическая технология»: «Основная задача химической технологии» (2005 г.)
  5. Методические указания по курсу «Общая химическая технология»: «Сырьё в химической технологии» (2006 г.)
  6. Методические указания по курсу «Общая химическая технология, ч.1»: «Тепловые процессы» (2007 г.).
  7. Гидродинамика реальных жидкостей» (учебно-методическая разработка) Уфа: РИО БашГУ. 2007.
  8. Методические указания по курсу «Общая химическая технология, ч.1»: «Массообменные процессы: ректификация.» (2007 г.)
  9. Методические указания по курсу «Общая химическая технология, ч.1»: «Тепловые процессы» (2007 г.).
  10. Гидродинамика реальных жидкостей» (учебно-методическая разработка) Уфа: РИО БашГУ. 2007.
  11. Нефть. Основы первичной нефтепереработки (учебно-методическая разработка) Уфа: РИЦБашгу, 2009
- 1.

**5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины**

**5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины**

1. Электронная библиотечная система «ЭББашГУ» - <https://elib.bashedu.ru/>
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» - <https://biblioclub.ru/>
3. Электронная библиотечная система издательства «Лань» - <https://e.lanbook.com/>
4. Электронный каталог Библиотеки БашГУ - <http://www.bashlib.ru/catalogi/>
5. Универсальная Базы данных EastView (доступ к электронным научным журналам) - <https://dlib.eastview.com/browse>
6. Научная электронная библиотека - elibrary.ru (доступ к электронным научным журналам) - [https://elibrary.ru/projects/subscription/rus\\_titles\\_open.asp](https://elibrary.ru/projects/subscription/rus_titles_open.asp)
7. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Договор № 104 от 17.06.2013 г. Лицензиибессрочные
8. MicrosoftOfficeStandard 2013 Russian. Договор № 114 от 12.11.2014 г. Лицензии бессрочные
9. KasperskyEndpointSecurity для бизнеса - Стандартный. Договор №31806820398 от 17.09.2018 г. Срок действия лицензии до 25.09.2019
10. Linux OpenSUSE 12.3 (x84\_64) GNU General Public License

**6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p><b>1. учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа:</b> аудитория № 405 (химфак корпус), аудитория № 311 (химфак корпус), аудитория № 310 (химфак корпус), аудитория № 305 (химфак корпус).</p> <p><b>2. учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций:</b> аудитория № 405 (химфак корпус), аудитория № 311 (химфак корпус), аудитория № 310 (химфак корпус), аудитория № 305 (химфак корпус).</p> <p><b>3. учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации:</b> аудитория № 405 (химфак корпус), аудитория № 311 (химфак корпус), аудитория № 310 (химфак корпус), аудитория № 305 (химфак корпус).</p> <p><b>4. помещения для самостоятельной работы:</b> читальный зал № 1 (главный корпус), читальный зал № 2 (физмат корпус-учебное), читальный зал № 5 (гуманитарный корпус), читальный зал № 6 (учебный</p>	<p align="center"><b>Аудитория № 405</b> Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, доска, ноутбук, мультимедиа-проектор MitsubishiXD3200U, экран с электроприводом 300*400смSpectraClassic.</p> <p align="center"><b>Аудитория № 311</b> Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, доска, ноутбук, проектор MitsubishiXD600U, экран с электроприводом Projecta 183*240смMattewhite.</p> <p align="center"><b>Аудитория № 310</b> Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, доска, ноутбук, мультимедиа-проектор MitsubishiEW230ST, экран настенный ClassicNorma 244*183.</p> <p align="center"><b>Аудитория № 305</b> Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, доска, ноутбук, мультимедиа-проектор MitsubishiEW230ST, экран настенный ClassicNorma 244*183.</p> <p align="center"><b>Читальный зал № 1</b> Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 3 шт., неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 76.</p> <p align="center"><b>Читальный зал №2</b> Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок), подключенных к сети Интернет, – 8 шт., неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50.</p> <p align="center"><b>Читальный зал № 5</b> Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 3 шт, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 27.</p> <p align="center"><b>Читальный зал № 6</b> Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 6 шт, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 30.</p> <p align="center"><b>Читальный зал № 7</b> Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 5 шт, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 18.</p> <p align="center"><b>Лаборатория №115.</b> Анализатор влажности весовой, весы аналитические двухдиапазонные, ИБП CyberPowerPR1500ELCD, ИБП CyberPowerPR2200ELCD, ИК-Фурье спектрометр «IRAffinity-1S» фирмы Shimadzu в комплекте с управляющей станцией (компьютер), термоаналитический комплекс для проведения измерений в режиме дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии</p>	<p>1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Договор № 10/17.06.2013 г. Лицензии бессрочные</p> <p>2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Договор № 114 от 12.11.2014 г. Лицензии бессрочные</p>

<p>корпус), читальный зал № 7 (гуманитарный корпус), лаборатория № 115 (химфак корпус), лаборатория № 206 (химфак корпус), лаборатория № 208 (химфак корпус).</p> <p><b>5. помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования:</b> лаборатория № 013 (химфак корпус).</p>	<p>(дифференциальный сканирующий калориметр модели DSC214polyma и термогравиметрический анализатор модели TG209F1Libra со встроенным Фурье-ИК спектрометром Pergeus) в комплекте с управляющей станцией (компьютер).</p> <p><b>Лаборатория № 206</b></p> <p>Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, мешалка магнитная EcoStir (1.5л, 300-2000об/мин, платформа diam. 120мм, без нагрева), мешалка магнитная ПЭ-6110 (до 1л, с подогрев. 120С), мешалка магнитная ПЭ-6110 (до 1л, с подогрев. 120С), мешалка магнитная ПЭ-6110 (до 1л, с подогрев. 120С), мешалка магнитная с подогревом ПЭ-6110М, мешалка магнитная с подогревом ПЭ-6110М, микроскоп, многофункциональное устройство Kyocera FS-1030MFP, ноутбук HP Pavilion, проектор BenQ MP612C, ноутбук HP 6820s T2370 17 WXGA, монитор 19" Samsung 931BWSFVTFT, системный блок Intel Core в комплекте, память Ntrans TS 4G, стул ИСО/черн/ (6шт.), ноутбук ASUS K52JE 15.6"/Intel Core i3 370 M/DVD-RW/CAM/WiFi/Win7 BASIC.</p> <p><b>Лаборатория № 208</b></p> <p>Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, набор химической посуды, аквадистиллятор ДЭ-4М, 220В, СПб, весы HTR-220CEVIBRA 220г, комп. в сос: Монит. 23" ViewSonic. проц. Soc-1155.3.3/5000/3m, клав. Genius, мышь Genius, модульный реометр в комплекте: модульный реометр Naake MARS III, программное обеспечение, система термостатирования для измерительных систем, стандартная высокотемпературная измерительная геометрия, стандартная малоинерционная измерительная геометрия, стандартная малоинерционная измерительная геометрия, полка металлическая цельносварная, 1200x250x900мм, колбонагреватель LOIPLH-250, стол лабораторный пристенный 1200*600*900/1800, стол лабораторный 1200*600*720, стол лабораторный 1300*600(900)*720, стол усиленный для приборов 1000*600*720, стол-мойка лабораторная с сушкой 800*600*900/1500, шкаф вытяжной лабораторный 1200*720*2200, шкаф для хранения реактивов и посуды 600*400*1800, штатив лабораторный Бунзена, штатив лабораторный Бунзена, жалюзи алюминиевые Б-100 0,60*1,30, жалюзи алюминиевые Б-100 0,68*1,35 (2 шт.), жалюзи алюминиевые Б-100 1,06*0,57, стул "Изо" (2 шт.)</p> <p><b>Лаборатория № 013</b></p> <p>Комплект мебели ВНР, весы GR-120 (120г*0,1мг) внутр. калибровка, с поверкой, центрифуга ОПН-8, многофункциональное устройство HP LaserJet M1536 DNFMFP (CE538A) 128mb, электроплитка</p>
--	---

Приложение № 1  
МИНОБРНАУКИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины **Кинетика и макрокинетика полимеризационных процессов**

форма обучения - очная

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	3/108
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	30,2
лекций	30
практических/ семинарских	-
лабораторных	-
контроль самостоятельной работы (КСР)	-
ФКР	<b>0,2</b>
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР) включая подготовку к экзамену/зачету	77,8



№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)					Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		Всего	ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Макрокинетика. Время химической реакции и смешения, Диффузионная и кинетическая области протекания химических реакций. Примеры быстрых жидкофазных нефтехимических реакций.		4			5	1	Диффузия и массоперенос при синтезе полимеров	Устный опрос
2.	Традиционные подходы к аппаратурному оформлению быстрых нефтехимических реакций.		2			5	1,2	Принципы создания технологических схем синтеза полимеров	Устный опрос
3.	Классификация реакторов химической технологии. Реактора идеального вытеснения и идеального смешения.		2			5	3,5	Типовые реактора синтеза полимеров	Устный опрос
4.	Производительность реактора. Расчет необходимого объема реактора смешения и вытеснения. Сравнение реактора идеального вытеснения и идеального смешения.		4			5	3	Расчет реакторов с использованием формальной кинетики.	Устный опрос
5.	Проблемы проведения		4			5	1-6	Взаимосвязь кинетических	Устный опрос

	быстрых химических реакций. Макрокинетический подход к изучению быстрых нефтехимических процессов.							параметров и процессов массопереноса.	
6.	Закономерности протекания быстрых нефтехимических реакций. Существование нескольких макроскопических режимов протекания быстрых химических реакций.	2				5	1,3	Застойные зоны в реакторах	Устный опрос
7.	Связь геометрических размеров реактора с кинетическими и гидродинамическими параметрами. Влияние линейной скорости движения потока на молекулярные характеристики и выход продуктов.	2				10	1,2,4	Гидродинамические режимы движения жидких сред	Устный опрос
8.	Турбулентное смешение однофазной реакционной смеси. Влияние способа ввода реагентов. Влияние геометрии канала. Автомодельный режим течения реакционной смеси.	2				10	1,2	Вязкость жидкостей	Устный опрос
9.	Турбулентное смешение двухфазной реакционной смеси.	2				10	1, 6	Термодинамика границы раздела фаз	Устный опрос
10.	Регулирование теплового режима при протекании	2				10	1,2	Тепловой эффект реакции	Устный опрос

	быстрых нефтехимических реакций в турбулентных потоках.								
11.	Четыре модификации трубчатых турбулентных аппаратов. Специфика работы.	4				7,8	1,2, 3	Внутренний теплообмен	Устный опрос
	<b>Всего часов:</b>	30				77,8			

Приложение № 2  
Рейтинг-план дисциплины

**Кинетика и макрокинетика полимеризационных процессов**

Направление подготовки 04.03.01 Химия

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
<b>Модуль 1</b>				
<b>Текущий контроль</b>				
Устный опрос	5	5		25
<b>Рубежный контроль</b>				
устный опрос	10	1		10
<b>Всего</b>				<b>35</b>
<b>Модуль 2</b>				
<b>Текущий контроль</b>				
Устный опрос	5	5		25
<b>Рубежный контроль</b>				
Устный опрос	10	1		10
<b>Всего</b>				<b>35</b>
<b>Поощрительные баллы</b>				
1. Студенческая олимпиада			0	5
2. Публикация статей			0	3
3. Участие в конференции			0	2
<b>Всего</b>				<b>10</b>
<b>Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)</b>				
1. Посещение лекционных занятий			0	-6
2.				
<b>Итоговый контроль</b>				
1. Экзамен			0	30