

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный
технический университет»

Кафедра «Технология переработки нефти и газа»
(наименование)

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор ФГБОУ ВПО «КнаГТУ»
Макурин И. В.
(подпись) (Фамилия И.О.)
«15» октября 2014 года



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА


Дисциплины (курса) «Химические реакторы»
(наименование)

основной образовательной программы подготовки бакалавров по направле-
нию 240100 «Химическая технология»
(шифр, наименование)

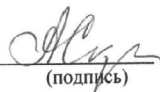
Форма обучения	очная
Технология обучения	традиционная
Трудоемкость дисциплины	<u>2</u> зачетных единицы

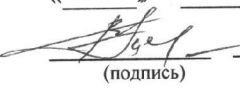
Комсомольск-на-Амуре 2014

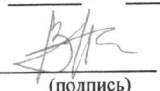
Рабочая программа разработана, обсуждена и одобрена на заседании кафедры
« Технология переработки нефти и газа »

Заведующий кафедрой  (наименование кафедры)
(подпись) В. В. Петров
(И.О. Фамилия)
« » 20 года

СОГЛАСОВАНО:

Начальник учебно-методического управления  А. А. Скрипилев
(подпись) (И.О. Фамилия)
« » 20 года

Декан ФЭХТ факультета (института)
(наименование)  В. В. Телеш
(подпись) (И.О. Фамилия)
« » 20 года

Заведующий выпускающей кафедрой
« Технология переработки нефти и газа »
(наименование)  В. В. Петров
(подпись) (И.О. Фамилия)
« » 20 года

Рабочая программа рассмотрена, одобрена и рекомендована к использованию методической комиссией ФЭХТ факультета

Председатель методической комиссии  О. Г. Шакирова
(подпись) (И.О. Фамилия)
« 20 » 12 2013 года

Автор рабочей программы
старший преподаватель
(ученая степень, звание или должность)  А. В. Моисеев
(подпись) (И.О. Фамилия)
« 20 » 12 2013 года

ВВЕДЕНИЕ

Рабочая учебная программа дисциплины «Математические методы в инженерных расчетах» удовлетворяет требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 240100 «Химическая технология» (квалификация «бакалавр»).

Дисциплина «Химические реакторы» является компонентом базовой части профессионального цикла ФГОС ВПО 240100 «Химическая технология» и ООП «Химическая технология» профиль подготовки «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов».

Рабочая учебная программа дисциплины «Химические реакторы» относится к основной образовательной программе.

Дисциплина «Химические реакторы» реализуется в традиционной форме с элементами интерактивных технологий. По дисциплине предполагается чтение лекций с применением мультимедийных технологий, выполнение заданий компьютерного практикума для анализа термодинамики и кинетики химических процессов, выполнение расчетно-графического задания.

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1.1. Предмет, цели, задачи, принципы построения и реализации дисциплины

Предметом дисциплины «Химические реакторы» являются основы термодинамического и кинетического анализа химических процессов, а также основы анализа процессов в химических реакторах различных типов.

Цель дисциплины «Химические реакторы» - познакомиться с основными моделями химических реакторов и методами их расчета; освоить методику расчета и выбора химического реактора; познакомиться с основными процессами и реакторами химической и нефтехимической технологии.

Задачи дисциплины «Химические реакторы»:

- ❖ рассмотреть состав и структуру (иерархию) химического производства;
- ❖ научиться рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта, оценивать технологическую эффективность производства;
- ❖ научиться производить выбор типа химического реактора и производить расчет технологических параметров для проведения в нем процесса в различных тепловых условиях.

Принципы построения и реализации дисциплины «Химические реакторы»:

- ❖ профессиональная направленность – изучаемые модели химических реакторов, а также типовые расчеты являются универсальными и применимыми к расчетам во многих областях химической технологии.
- ❖ принцип доступности – материал, преподносимый студентам, излагается на доступном уровне, а прикладные задачи не перегружены теоретическим материалом и имеют строго практическую направленность.

1.2. Роль и место дисциплины в структуре реализуемой образовательной программы

Дисциплина «Химические реакторы» занимает промежуточную позицию между курсами «Процессы и аппараты химической технологии», «Органическая химия», «Моделирование химико-технологических процессов», «Расчеты основных процессов и аппаратов нефтегазопереработки» и охватывает основные закономерности протекания химических процессов в рамках химико-технологических систем, где наряду с химическими имеют место физические и физико-химические превращения. Знание основных закономерностей явлений, протекающих в химических реакторах, определяет успешность освоения дисциплин «Теоретические основы химической технологии топлив-

ва и углеродных материалов», «Моделирование химико-технологических процессов» и других специальных дисциплин.

Знания, умения, навыки, формирующиеся в ходе изучения дисциплины «Химические реакторы»:

- ❖ иметь представление о химическом производстве как иерархической структуре;
- ❖ уметь оценивать эффективность химического производства в целом и его составных элементов в отдельности;
- ❖ уметь проводить термодинамический и кинетический расчеты химических процессов, а также делать обоснованные выводы, на основе которых возможно принятие технологических решений по производству химической продукции;
- ❖ уметь исследовать химический процесс с различных позиций, охватывающих все многообразие влияющих на него факторов;
- ❖ знать об основных приемах производства продукции неорганической и органической отраслей химической промышленности.

Компетенции, в формировании которых участвует дисциплина «Химические реакторы»:

- ❖ ОК-1 – культура мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей её достижения;
- ❖ ПК-1 – способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- ❖ ПК-2 – использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы;
- ❖ ПК-8 – составлять математические модели типовых профессиональных задач, находить способы их решений и интерпретировать профессиональный (физический) смысл полученного математического результата;
- ❖ ПК-9 – применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программ деловой сферы деятельности; использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования;
- ❖ ПК-11 – обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов; выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения.

К дисциплинам, обеспечивающим изучение дисциплины «Химические реакторы», относятся:

- ❖ «Высшая математика» - формирует систему общематематических знаний (основы матричного счисления, аналитической геометрии, векторной математики, дифференциального и интегрального счисления, теории рядов, теории вероятности и математической статистики и др.);
- ❖ «Физика» - формирует навык интерпретации физических явлений, прогнозирования поведения физических систем, решения физических задач и проч.;
- ❖ «Общая химическая технология» - создает область применения математических методов для решения задач различного характера;
- ❖ «Процессы и аппараты химической технологии» - описывает основные закономерности физико-химических процессов и основные математические модели таких процессов;
- ❖ «Физическая химия» - описывает основные положения химической термодинамики и кинетики.

1.3. Характеристика трудоемкости дисциплины и ее отдельных компонентов

Информация о трудоемкости дисциплины представлена в таблице 1.

Наименования показателей	Семестры	Значения трудоемкости						
		Всего			в том числе:			
		зет	часы		аудиторные занятия, часы		самостоятельная работа в часах	промежуточная аттестация (экзамен) в часах
			всего	в неделю	всего	в неделю		
1.Трудоемкость дисциплины в целом (по рабочему учебному плану программы)	--	2	72	--	36	--	36	--
2.Трудоемкость дисциплины в каждом из семестров (по рабочему учебному плану программы)	5	2	72	4	36	2	2	--
3.Трудоемкость по видам аудиторных занятий:								
- лекции	5	--	--	--	18	1	--	--
- практические занятия	5	--	--	--	18	1	--	--
4.Промежуточная аттестация (число начисляемых зет):								
4.1.Зачеты (дифференцированные зачеты, итоговые оценки)	5	2	--	--	--	--	--	--

2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Структура и содержание дисциплины «Химические реакторы» представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Структура и содержание дисциплины (курса)

№	Наименования разделов (модулей)	Содержание разделов (модулей)	Трудоемкости разделов (модулей), академические часы	Основные результаты изучения разделов (модулей)	
				Знания, умения, навыки	Компетенции
1	Химическое производство	Классификация химических производств по типу производимой продукции. Структура и состав химического производства. Общие принципы организации химического производства. Иерархическая структура химического производства. Показатели эффективности химического производства.	2	Ориентироваться в классификации химических производств (в особенности в области неорганических и органических производств). Идентифицировать уровни иерархии химических производств. Уметь оценивать эффективность химического производства по общепринятым показателям.	ОК-1, ПК-1, ПК-11
2	Общие закономерности химических процессов	Характеристика химического процесса с точки зрения термодинамики и кинетики химических реакций. Общие понятия термодинамического и кинетического анализа.	2	Знать об основных выводах, получаемых из термодинамического и кинетического анализа.	ОК-1, ПК-1, ПК-11
3	Термодинамический анализ химических реакций	Вычисление теплового эффекта химической реакции. Вычисление изменения энергии Гиббса и константы равновесия. Вычисление равновесной степени превращения.	6	Знать основные методы вычисления теплового эффекта реакции, изменения энтропии, изменения энергии Гиббса, константы равновесия, равновесной степени превращения.	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-9

4	Кинетический анализ химических реакций	Закон действующих масс и определение скорости химической реакции. Составление и решение дифференциальных уравнений для реакций различных типов.	6	Знать основные приемы составления дифференциальных уравнений для различных типов реакций и способы их интегрирования.	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-11
5	Основы теории процесса в химическом реакторе	Основы моделирования химических реакторов. Уровни химического процесса, протекающего в химическом реакторе	2	Знать основные уровни химического процесса. Общее уравнение материального баланса. Общее уравнение теплового баланса.	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-9
6	Реактор идеального смешения в изотермическом режиме. Каскад реакторов идеального смешения	Реактор идеального смешения непрерывного и периодического действия.	6	Уметь выводить проектное уравнение реактора идеального смешения (для реактора периодического и непрерывного действия). Уметь осуществлять расчет каскадов реакторов идеального смешения	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-9
7	Реактор идеального вытеснения в изотермическом режиме	Реактор идеального смешения непрерывного и периодического действия.	6	Уметь выводить проектное уравнения реактора идеального вытеснения. Уметь решать проектное уравнение для реакций с различными кинетическими схемами	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-9
8	Реакторы идеального смешения и вытеснения в неизотермическом (адиабатическом) режиме	Анализ уравнения теплового баланса идеального химического реактора для гомогенных процессов.	4	Уметь совместно решать уравнения материального и теплового баланса идеального реактора. Уметь выбирать начальные условия для устойчивой работы хи-	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-9

				мического реактора	
9	Причины отклонения реальных химических реакторов от идеальности	Диффузионная и ячеечная модель. Явления молекулярной и тейлоровской диффузии, наличие внутренних байпасов, застойных зон и др.	2	Уметь объяснять отклонения режима работы реального реактора от режима идеального реактора. Знать о мерах, приближающих работу реального реактора к идеальному.	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-9
Итого в 5-ом семестре:				--	--
			72	--	--
Трудоемкость промежуточной аттестации в семестре (семестрах):			--	--	--
В целом по дисциплине:			72	--	--

3. КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Лекции

Таблица 3 - Программа лекций

№	Тематика лекций	Трудоемкость (академические часы)		Ориентация материала лекции на формирование	
		Лекции в целом	в том числе с использованием активных методов обучения	Знаний, умений, навыков обучающихся	Компетенций выпускников
1	Химическое производство	2	0,5 Среди активных форм проведения занятия может быть индивидуальные доклады студентов по структуре и составу основных химических производств органической и неорганической подотраслей	Знать классификацию химических производств. Уметь идентифицировать уровни химического производства. Знать об основных принципах построения химического производства. Уметь оценивать эффективность химического производства.	ОК-1, ПК-1, ПК-11
2	Общие закономерности химических процессов	2	--	Знать об основных выводах, получаемых из термодинамического и кинетического анализа. Уметь правильно оперировать термодинамическими и кинетическими величинами.	ОК-1, ПК-1, ПК-11
3	Термодинамический анализ химических реакций	2	0,5 Среди активных форм проведения занятия может быть решение термодинамических задач в малых группах различными методами и сравнение результатов с их обсуждением.	Уметь вычислять тепловой эффект реакции, изменение энтропии, изменения энергии Гиббса различными способами. Уметь вывести уравнение	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-9

				для расчета равновесной степени превращения.	
4	Кинетический анализ химических реакций	2	0,5 Среди активных форм проведения занятия может быть решение термодинамических задач в малых группах различными методами и сравнение результатов с их обсуждением.	Уметь составлять кинетические уравнения для простых и сложных реакций. Уметь решать такие уравнения и их системы аналитическими и численными методами	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-11
5	Основы теории процесса в химическом реакторе	2	--	Знать об основных уровнях химического реактора. Знать о методах моделирования химических реакторов	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-9
6	Реактор идеального смешения в изотермическом режиме. Каскад реакторов идеального смешения	2	0,5 Демонстрация возможностей прикладного программного продукта Maple 17 для решения задач моделирования химических реакторов	Уметь выводить проектное уравнение реактора идеального вытеснения для реакций различных типов. Уметь рассчитывать каскад реакторов идеального смешения графическим и аналитическим методами	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-9
7	Реактор идеального вытеснения в изотермическом режиме	2	0,5 Демонстрация возможностей прикладного программного продукта Maple 17 для решения задач моделирования химических реакторов	Уметь выводить проектное уравнение реактора идеального вытеснения. Уметь решать проектное уравнение для реакций с различными кинетическими схемами	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-9
8	Реакторы идеального смешения и вытеснения	2	--	Уметь совместно решать уравнения материального и теплового	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-9

	в неизотермическом (адиабатическом) режиме			баланса идеального реактора. Уметь выбирать начальные условия для устойчивой работы химического реактора	
9	Причины отклонения реальных химических реакторов от идеальности	2	--	Знать о причинах неидеальности химических реакторов. Знать о способах приближения режима работы химического реактора к идеальному	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-9
Итого в 5-ом семестре :		18	2,5	--	--
В целом по дисциплине		18	2,5	--	--

3.2. Практические занятия

Таблица 4 - Программа практических занятий

№	Тематика практических занятий	Трудоемкость (академические часы)		Основные планируемые результаты	
		Всего	в том числе с использованием активных методов обучения	Знания, умения, навыки	Компетенции
1	Расчеты материального баланса химического производства. Оценка эффективности химических производств (расчет потребности в сырье, расходных коэффициентов, фактического выхода и проч.)	2	0,5	Приобрести навык материальных расчетов и оценки эффективности химических производств	ОК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-9
2	Термодинамический анализ химических процессов	2	1,0	Научиться вычислять термодинамические параметры химических реакций с различной степенью	

				приближения
3	Кинетический анализ химических процессов	2	1,0	Научиться составлять кинетические уравнения для различных типов реакций и решать их
4	Реакторы идеального смешения в изотермическом режиме	2	0,5	Приобрести навык составления проектного уравнения для реакции с заданной схемой
5	Реакторы идеального вытеснения в изотермическом режиме	2	0,5	
6	Каскады реакторов идеального смешения	2	0,5	Приобрести навык графического и аналитического расчета каскада реакторов идеального смешения
7	Реакторы идеального смешения и вытеснения в адиабатическом режиме	2	0,5	Приобрести навык расчета реакторов в адиабатическом режиме
Итого в 5-ом семестре:		18	4,5	--
В целом по дисциплине:		18	4,5	--

3.3. Характеристика трудоемкости, структуры, содержания самостоятельной работы студентов и график ее выполнения

Структура самостоятельной работы студентов, реализуемой вне рамок аудиторных занятий, характеризуется следующим составом ее компонентов:

- ❖ подготовка к лекциям;
- ❖ выполнение индивидуальных заданий по темам практических занятий;
- ❖ подготовка, оформление и защита РГЗ;
- ❖ подготовка индивидуальных мини-докладов.

При изучении дисциплины «Химические реакторы» студенты выполняют одно семестровое РГЗ (расчетно-графическое задание). Целью выполнения РГЗ является самостоятельный расчет термодинамики и кинетики заданной химической реакции и определение параметров идеальных реакторов для ее осуществления.

Тематика подготавливаемых мини-докладов:

1. Основные химические производства (*неорганические*: производство аммиачной селитры, азотной кислоты, серной кислоты и проч.; *органические*: производство ароматических углеводородов, органический и нефтехимический синтез и проч.).
2. Базы данных по термодинамическим и кинетическим параметрам (NIST, F.A.C.T. и др.).

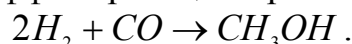
4. ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ

4.1. Технологии и методическое обеспечение контроля текущей успеваемости (учебных достижений) студентов

Текущий контроль учебной деятельности осуществляется в течение всего семестра в форме решения 20-минутных самостоятельных работ во время практических занятий по соответствующим темам.

Примеры задач, предлагаемых для самостоятельного решения:

1. Вычислить тепловой эффект реакции при 298 К

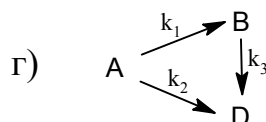
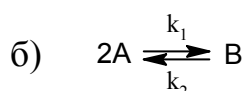
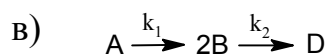
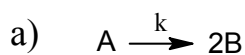


Определить изменение энтропии реакции и изменение энергии Гиббса при той же температуре.

2. Вычислить равновесную степень превращения реагента, если $\Delta G^\circ = -1190$ Дж при 298 К и $C_{A0} = 2,6$ моль/л, для реакции, имеющей схему $A \leftrightarrow 2B$.

3. Разложение пероксибензойной кислоты в среде бензола является реакцией первого порядка. При температуре 352 К константа скорости равна $2,6 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. За какое время распадётся 90 % кислоты, если ее начальная концентрация равна 0,1 моль/дм³?

4. Составить дифференциальные кинетические уравнения для реакций:



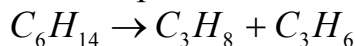
5. Определить объем реактора идеального смешения, в котором протекает реакция $A \rightarrow R$. Расход сырья $G_V = 4,0$ м³/ч, степень превращения $x_A = 0,85$, константа скорости $k = 0,4 \text{ с}^{-1}$.

6. Процесс описывается реакцией первого порядка типа $A \rightarrow 2R$ с константой скорости $k = 0,0024 \text{ с}^{-1}$. Исходная концентрация вещества А – 1,6 моль/л. Расход вещества А – 3,6 м³/ч. Заданная степень превращения по ве-

ществу А равна 0,86. Определить объем РИВ. Чему равна концентрация реагента на выходе из реактора?

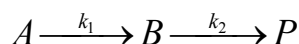
Кроме того, студенты решают домашние задачи по соответствующим темам практических занятий. Примеры таких задач приведены ниже:

1. Провести термодинамический расчет химической реакции



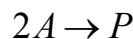
в интервале температур 298 – 1000 К и давлениях 0,1; 2; 10 МПа, используя данные о стандартных изменениях энтальпии, энтропии, теплоемкости и критические параметры веществ. Сделать вывод о характере протекания реакции в диапазоне изменения указанных параметров.

2. Для последовательной реакции



изобразить кинетические кривые, определить время наступления максимальной концентрации промежуточного вещества и её значение, определить состав реакционной смеси через время τ . $k_1 = 0,25 \text{ с}^{-1}$; $k_2 = 0,34 \text{ с}^{-1}$; $C_{A0} = 2,0$ моль/л, $\tau = 27 \text{ с}$.

3. Для реакции



найти зависимости $C_A(\tau)$, $C_P(\tau)$, $x_A(\tau)$, $V(x_A)$ и определить максимально возможную степень превращения реагентов при условии, что реакция протекает в РИС и РИВ. $C_{A0} = 2,5$; $k = 1,3$.

4.2. Технологии и методическое обеспечение промежуточной аттестации»

Промежуточная аттестация по дисциплине предусматривается в виде зачета, который получает студент, выполнивший в полном объеме программу практических занятий, выполнивший домашние задания, успешно написавший самостоятельные работы, выполнивший и защитивший расчетно-графическое задание.

4.3. Технологии, методическое обеспечение и условия отложенного контроля знаний, умений, навыков обучающихся и компетенций выпускников, сформированных в результате изучения дисциплины

В качестве технологии отложенного контроля знаний, умений, навыков обучающихся, сформированных в результате изучения дисциплины «Химические реакторы» используется выполнение расчетно-графических заданий и курсовых проектов (работ) по специальным дисциплинам, таким, как «Общая химическая технология», «Расчеты основных процессов и аппаратов нефтегазопереработки», «Оборудование нефтегазоперерабатывающих заводов» и др..

Вышеперечисленные учебные дисциплины содержат такие прикладные задачи, которые студент должен научиться решать с помощью знаний, приобретенных в результате изучения дисциплины «Химические реакторы».

5. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСА

5.1. Список основной учебной, учебно-методической, нормативной и другой литературы и документации

1. Колпакова, Н. А. Сборник задач по химической кинетике / Н. А. Колпакова, С. В. Романенко, В. А. Колпаков. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 280 с.
2. Духанин, Г. П. Термодинамические расчеты химических реакций / Г. П. Духанин, В. А. Козловцев. – Волгоград : ВолГТУ, 2010 – 96 с.
3. Игнатенков, В. И. Примеры и задачи по общей химической технологии / В. И. Игнатенков, В. С. Бесков. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2005. – 198 с.
4. Эмануэль, Н. М. Курс химической кинетики / Н. М. Эмануэль, Д. Г. Кнорре / М. : Высшая школа, 1984. – 463 с.
5. Самойлов, Н. А. Моделирование в химической технологии и расчет реакторов / Н. А. Самойлов. – Уфа : ООО «Монография», 2005. – 224 с.
6. Бесков, В. С. Общая химическая технология / В. С. Бесков. - М. : ИКЦ «Академкнига», 2005. – 452 с.
7. Бесков, В. С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии / В. С. Бесков, В. С. Сафронов. – М. : Химия, 1999. – 472 с.
8. Кутепов, А. М. Общая химическая технология / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарева, М. Г. Беренгартен. – М. : Высшая школа, 1990. – 520 с.
9. Ахмаров, Ф. И. Расчет моделей химических и биотехнологических реакторов / Ф. И. Ахмаров, Л. С. Черненко. – Киров : Изд-во ВятГТУ, 2005. – 16 с.
10. Расчеты химико-технологических процессов / Под. ред. И. П. Мухленова. – Л. : Химия, 1982. – 248 с.
11. Казанская, А. С. Расчеты химических равновесий. Сборник примеров и задач / А. С. Казанская, В. А. Скобло. – М. : Высшая школа, 1974. – 288 с.
12. Бутов, Г. М. Расчеты химических реакторов / Г. М. Бутов, Г. Р. Гаджиев, К. Р. Саад. – Волгоград : ВолГТУ, 2007. – 54 с.
13. Вэйлас, С. Химическая кинетика. Расчеты промышленных реакторов / С. Вэйлас. – Л. : Химия, 1964. – 433 с.
14. Карапетьянц, М. Х. Химическая термодинамика / М. Х. Карапетьянц. – ГНТИХЛ, 1949. – 548 с.
15. Крамерс, Х. Химические реакторы. Расчет и управление / Х. Крамерс, К. Вестертерп. – М. : Химия, 1967. – 264 с.
16. Смирнов, Н. Н. Химические реакторы в примерах и задачах / Н. Н. Смирнов, А. И. Волжинский. – Л. : Химия, 1986. – 224 с.

5.2. Перечень программных продуктов, используемых при изучении дисциплины (курса, модуля)

Mathsoft MathCAD (версия 13 наиболее желательна).

Microsoft Excel 2003 (и поздние версии).

Microsoft Word 2003 (и поздние версии).

Maplesoft MAPLE 15 (и поздние версии)/

ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное)

Пример расчетно-графического задания

1. Термодинамический анализ реакции
 - 1.1. Расчет теплового эффекта реакции.
 - 1.2. Расчет энергии Гиббса и константы равновесия.
 - 1.3. Расчет равновесной степени превращения.
2. Расчет идеальных моделей реакторов
 - 2.1. Расчет объема реактора идеального смешения непрерывного действия (РИС-Н) в изотермическом режиме.
 - 2.2. Расчет объема реактора идеального вытеснения (РИВ-Н) в изотермическом режиме.
 - 2.3. Расчет числа секций в каскаде реакторов идеального смешения (РИС-К).
 - 2.4. Расчет адиабатического режима в РИС-Н и РИВ-Н.

Схема реакции: $A \leftrightarrow 2B$.

Кинетические параметры: $A_{01} = 2,2 \cdot 10^6$; $E_1 = 72,00$; $A_{02} = 15,27$;
 $C_{A0} = 5$ кмоль/м³; $G_V = 2,7$ м³/ч; $\rho_0 = 2620$ кг/м³; $c_p = 859$ Дж/(кг·К); $V_c =$
 $= \frac{1}{25} V_{\text{РИС-Н}}$.