



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ:

Декан химико-технологического факультета

Погребенков В. М.

" ____ " _____ 2009 г.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИКО– ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ**

Рабочая программа для специальности 240802- Основные процессы химических производств и химическая кибернетика

Факультет - химико-технологический (ХТФ)

Кафедра — химической технологии топлива и химической кибернетики

Курс - четвертый

Семестр - седьмой

Учебный план набора 2008 года

Распределение учебного времени

Семестр –седьмой

Лекции - 40 часов

Лабораторные работы - 40 часов

Всего аудиторных занятий - 80 часов

Самостоятельная (внеаудиторная) работа-112 часов

Общая трудоемкость в семестре 192 часа

Экзамен в седьмом семестре



Предисловие

1. Рабочая программа составлена на основе ГОС ВПО по направлению 240800 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» утвержденного 27 марта 2000г., №220 ТЕХ/ДС, ОС ТПУ по специальности 240802- «Основные процессы химических производств и химическая кибернетика».

РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА на заседании кафедры химической технологии топлива от 31 августа 2009 года, протокол N 7 .

2. Разработчик доцент каф. ХТТ Н.В. Ушева

3. Зав. обеспечивающей кафедрой ХТТ проф. _____ Кравцов А.В.

4. Рабочая программа согласована с факультетом ; соответствует действующему учебному плану.

Зав. выпускающей кафедрой ХТТ проф. _____ Кравцов А.В.

Аннотация

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИКО–ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (ММ ХТП)

240100 (б) – 240802 (с)

Каф. ХТТ ХТФ

Доцент, к.х.н. Ушева Наталья Викторовна

Тел.(3822) 415443, E-mail: usheva@tpu.ru

Цель: Подготовка специалистов, владеющих системой теоретических знаний и умений и навыков в области математического моделирования на основе формирования системного мышления, представления о физико-химической сущности химико-технологических процессов, понимания принципов математического моделирования и их применения в практической деятельности. Формирование у обучающихся знаний и умений в области разработки математических моделей в химической технологии и моделирования химико-технологических процессов (ХТП).

Содержание: основные концепции, принципы построения и исследования математических моделей ХТП. Математические модели типовых процессов химической технологии. Модели массообменных процессов. Моделирование гомогенных и гетерогенных химических реакций и реакторов. Методы идентификации параметров математических моделей. Моделирование реальных ХТП с использованием компьютерных технологий.

Курс 4 (7 сем. – экзамен)

Всего 192 ч., в т.ч. Лк – 40ч., Лб – 40ч.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели преподавания дисциплины

Дисциплина «Математическое моделирование химико - технологических процессов» является базовой специальной дисциплиной и логическим продолжением дисциплин общепрофессионального цикла.

Целью преподавания дисциплины является:

- развить у студентов навыки разработки математических моделей типовых процессов химической технологии с учетом динамических свойств;
- развить навыки применения численных методов для исследования математических моделей химико-технологических процессов;
- закрепить знания в области применения средств вычислительной техники при моделировании химико-технологических процессов.
- получить опыт практического моделирования химико– технологических процессов.

В результате изучения дисциплины «Математическое моделирование химико – технологических процессов» студент должен **иметь представление:**

Федеральные требования:

О роли математического моделирования при разработке и эксплуатации современных крупнотоннажных промышленных предприятий, принципах и методах построения математических моделей основных процессов химической технологии.

Региональные и университетские требования:

Об использовании компьютерных моделирующих систем для исследования и оперативного анализа типовых объектов химической технологии, о моделировании нефтехимических процессов.

Должен знать и уметь использовать:

Федеральные требования:

- Методы разработки математических моделей типовых процессов химической технологии с учетом динамических свойств;
- Математические методы разработки и исследования эффективных процессов и аппаратов химической технологии;
- Методы разработки программных продуктов для инженерного оформления технологических процессов.

Региональные и университетские требования:

- Методы построения математических моделей, основанных на физико-химических закономерностях химико-технологических процессов.
- Методы построения и исследования кинетики гомогенных и гетерогенных химических реакций.
- Методы моделирования химических реакторов различных типов.
- Модульный принцип разработки математического описания химико-технологических процессов.
- Современные офисные системы и графические оболочки.

Иметь опыт:

- решения конкретных задач по моделированию химико–технологических процессов;
- практических расчетов при исследовании реальных процессов и аппаратов, химических реакторов;
- работы на современных компьютерах;

- практического использования современных программных средств, офисных и программных оболочек.

1.2. Задачи изложения и изучения дисциплины

Для достижения целей при совместной и индивидуальной познавательной деятельности студентов в овладении теоретическими знаниями и практическими умениями используется набор методического материала: лекции, контрольные задания для проверки знаний студентов, методические указания к лабораторным работам, компьютерные моделирующие системы и другие методические разработки кафедры.

Важной частью дисциплины является лабораторный практикум, при прохождении которого студентами приобретаются практические навыки построения и исследования математических моделей химико-технологических процессов, идентификации параметров химических реакций, моделирования химических реакторов. Для закрепления теоретических знаний, полученных на лекциях, в дисциплине предусмотрено выполнение индивидуальных заданий и самостоятельных работ.

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

Семестр – седьмой (лекции 40 часов)

2.1. Наименование тем

2.1.1. Введение - 2 часа

Роль кибернетики в химической технологии. Математическое моделирование как современный метод анализа и синтеза химико-технологических процессов (ХТП). Роль отечественных учёных в развитии методологии системного анализа. Математическое моделирование – перспективное направление совершенствования химико-технологических процессов Основные понятия и определения.

2.1.2. Методологические основы построения математических моделей процессов химической технологии - 4 часа

Системы и процессы. Системный анализ. Роль моделей и моделирования в познании. Метод физического моделирования, области применения. Математическое моделирование. Сущность и цели математического моделирования объектов химической технологии. Два подхода к составлению математических моделей процесса : детерминированный и стохастический, их возможность и сфера использования. Алгоритмизация математических моделей. Проверка адекватности моделей. Оценка адекватности моделей с помощью статистических критериев.

2.1.3. Кинетические модели гомогенных химических реакций - 2 часа

Краткие сведения из химической кинетики, скорость химической реакции, закон действующих масс. Стехиометрический анализ, механизмы реакций. Экспериментальные методы исследования кинетики химических реакций в проточных реакторах идеального вытеснения и идеального перемешивания. Кинетические модели гомогенных химических реакций. Методы численной реализации.

2.1.4. Типовые математические модели структуры потоков в аппаратах - 4 часа

Уравнения баланса вещества, энергии, импульса. Структура потоков - гидродинамическая основа математических моделей. Процессы переноса вещества и тепла, основные законы диффузии и массопередачи. Модель идеального перемешивания, идеального вытеснения, диффузионные модели, комбинированные гидродинамические модели. Адекватность моделей структуры потоков. Экспериментально-аналитические методы определения кривых отклика, кривые отклика типовых процессов. Методы решения уравнений.

2.1.5. Модели тепловых процессов - 4 часа

Основные уравнения тепловых процессов. Модели теплообменных аппаратов, модели идеального вытеснения и идеального перемешивания. Исследование процессов аналитическими и численными методами. Исследование стационарного режима работы

теплообменного аппарата при постоянной температуре греющего пара. Моделирование процесса нагрева в трубчатой печи. Моделирование процессов сушки.

2.1.6. Моделирование гомогенных химических реакторов – 4 часа

Структурный анализ процессов, протекающих в реакторе, выделение микро- и макроуровней. Описание протекания химического процесса в реакторе идеального смешения, идеального вытеснения. Математические модели реакторов с учётом явлений диффузии. Уравнения теплового баланса гомогенных химических реакторов. Сравнение различных типов химических реакторов. Моделирование процесса пиролиза лёгкого углеводородного сырья.

2.1.7. Модели массообменных процессов - 6 часов

Равновесные и балансовые соотношения в процессах массопередачи. Гидродинамические основы процессов массопередачи. Механизм переноса вещества и законы диффузии, основы кинетики процесса массопередачи. Моделирование и расчет диффузионных аппаратов. Расчет процессов разделения в газовых сепараторах на основе методики однократного испарения. Физико-химические основы, принципы расчета и модели процессов ректификации, адсорбции, абсорбции.

2.1.8. Модели кинетики гетерогенных химических реакций - 4 часов

Основные понятия химической кинетики в гетерогенном катализе. Теория абсолютных скоростей реакций и ее место в катализе. Элементы теории сложных реакций. Понятия идеального и реального адсорбированного слоя. Методы построения кинетических моделей гетерогенных химических реакций: метод Лэнгмюра, метод стационарных концентраций, метод графов.

2.1.9. Методы идентификации кинетических параметров - 2 часа.

О единственности решения обратной кинетической задачи. Линеаризация скоростей реакций при поиске констант. Масштабирование кинетических констант. Теоретические методы оценки кинетических параметров. Интегральные методы. Дифференциальные методы. Методы наименьших квадратов.

2.1.10. Моделирование контактно-каталитических реакторов – 8 часов

Неподвижный слой катализатора, процессы переноса в слое. Конструкции химических реакторов с неподвижным слоем катализатора. Квазигомогенные модели каталитических химических процессов, модели идеального вытеснения, модели с учётом явлений переноса по радиусу контактной трубки, двухфазные гетерогенные модели. Моделирование промышленных каталитических процессов (на примере синтеза метанола).

Физико-химические основы процессов, протекающих в аппаратах с кипящим слоем катализатора. Аппаратурное оформление реакторов с кипящим слоем катализатора. Математические модели. Квазигомогенные модели, двухфазные модели.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ - СЕДЬМОЙ СЕМЕСТР (40 ЧАСОВ)

3.1. Моделирование кинетики гомогенных химических реакций (Исследование моделей с применением различных численных методов.) - 8 часов.

3.2. Исследование гидродинамики насадочного абсорбера - 6 часов.

3.3. Моделирование гомогенных химических реакторов (Сравнение реакторов идеального смешения и идеального вытеснения) - 8 часов.

3.4. Исследование процесса разделения многокомпонентной смеси в газовом сепараторе – 6 часов.

3.5. Математическое моделирование процесса ректификации - 6 часов.

3.6. Моделирование кинетики гетерогенных химических реакций. - 6 часов.

4. ПРОГРАММА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ-112 ЧАСОВ

4.1. Проработка теоретических разделов дисциплины – 40 часов

4.2. Подготовка к лабораторным занятиям – 20 часов

4.3. Подготовка к выполнению самостоятельных работ - 18 часов

4.4. Выполнение домашних индивидуальных заданий – 34 часа

4.4.1. Моделирование процессов выпаривания;

4.4.2. Моделирование процессов экстракции ;

4.4.3. Моделирование процессов кристаллизации.

Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов состоит в проработке лекционного материала, подготовке к лабораторным работам, контрольным работам и в выполнении индивидуальных домашних заданий.

Проработка лекционного материала контролируется предварительным опросом материала и выполнением самостоятельных работ по дисциплине. Подготовка к лабораторным работам контролируется проверкой и оценкой отчетов и “защитой “ результатов работ.

Эффективной формой самостоятельной работы является выполнение домашних заданий с элементами научных исследований.

5. ТЕКУЩИЙ И ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

При изучении дисциплины «Математическое моделирование химико – технологических процессов» используется рейтинговая система оценка знаний студентов. В течение семестра студент может набрать 1000 баллов.

Максимальная рейтинговая оценка (общий рейтинг ОР) дисциплины составляет 1000 баллов. В нее входят: 1) рейтинг лекций (РЛ) ; 2) рейтинг лабораторных работ (РЛР); 3) рейтинг рубежного контроля (РПК); 4) рейтинг домашнего задания (РДЗ); 5) рейтинг экзамена (РЭ).

Лекционный рейтинг –это оценка за участие в лекционном занятии. Оценка лекции-6 баллов. Посетив все лекционные занятия и участвуя в них , студенты имеют максимальный РЛ 120 баллов.

Рейтинг лабораторных работ (РЛР)- это оценки за лабораторные работы. Максимальная оценка одной работы 50-80 баллов. Выполняя 6 лабораторных работ, студенты имеют максимальный РЛР 370 баллов.

Рейтинг домашнего задания (РДЗ)- это оценка трёх индивидуальных домашних заданий. Если задание решено правильно и сдано в срок, то оно оценивается в 50 баллов, следовательно, максимальный РДЗ равен 150 баллов.

В семестре студенты выполняют 3 рубежных контроля, максимальный РПК равен 140 баллов.

В конце семестра подсчитывается рейтинг семестра (РС), максимальное значение которого 800 баллов:

$$РС = РЛ + РЛР + РДЗ + РПК = 120 + 390 + 150 + 140 = 800 \text{ баллов.}$$

Студент допускается к сдаче экзамена, если он полностью выполнил учебный план и если его рейтинг (РС) не менее 450 баллов.

Максимальный рейтинг экзамена (РЭ) 200 баллов. Форма проведения экзамена – по билетам. Экзамен считается сданным, если его оценка не менее 100 баллов. Эта оценка суммируется с рейтингом семестра и подсчитывается общий рейтинг: $ОР = РС + РЭ$.

Общий рейтинг переводится в оценку по соотношению:

| | |
|-------------------|-------------------|
| 550 –700 баллов - | УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО |
| 701- 850 баллов | ХОРОШО |
| 851-1000 баллов | ОТЛИЧНО |

Если оценка экзамена менее 100 баллов, то экзамен считается не сданным, и студент теряет рейтинг семестра.

Рейтинг поощряет активных студентов **дополнительными баллами** за написание рефератов, досрочную сдачу домашнего задания, выполнение заданий повышенной сложности. Преподаватель имеет право выставлять студенту оценку «отлично» без экзамена, если рейтинг студента в семестре превышает 900 баллов.

Контролирующие материалы

В соответствии с рейтинговой системой при изучении курса «Математическое моделирование химико – технологических процессов» проводится рубежные контрольные работы. Рубежные контроли проводятся в часы лекционных занятий в письменной форме и включают задания по теоретическим разделам дисциплины с использованием практических заданий ; либо во время лабораторных работ в результате выполнения контрольных заданий на компьютере и собеседования. Билеты рубежных контрольных работ составлены лектором Ушевой Н.В.

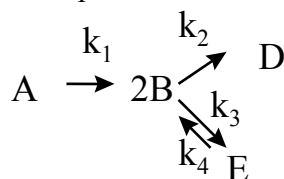
Итоговый контроль изучения дисциплины - экзамен проводится в период экзаменационной сессии в седьмом семестре. Экзамен проводится в устном виде по билетам. Ушевой Н.В. составлены экзаменационные билеты по дисциплине, в которые включены теоретические вопросы и задачи.

Примеры контролирующих материалов:

Экзаменационный билет № 3

по дисциплине **Математическое моделирование ХТП**, факультет ХТ, курс 4

1. Основные понятия. Методы математического моделирования модель, система, анализ ХТС, синтез ХТС.
2. Моделирование кинетики гетерогенных химических реакций. Метод стационарных концентраций.
3. Квазигомогенные модели реакторов с неподвижным слоем катализатора:
Составить математическую модель расчета политропического реактора с учетом продольной диффузии, в котором протекают химические реакции:

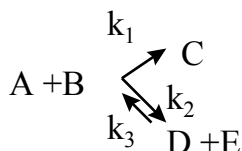


Составил _____ Утверждаю: Зав. кафедрой _____

Экзаменационный билет № 4

по дисциплине **Математическое моделирование ХТП**, факультет ХТ, курс 4

1. Метод математического моделирования. Основные понятия и определения.
2. Моделирование процесса абсорбции. Ячеечная модель.
3. Квазигомогенные модели реакторов с неподвижным слоем катализатора:
Составить математическую модель расчета адиабатического реактора с учетом радиальной диффузии, в котором протекают химические реакции:



Составил _____ Утверждаю: Зав. кафедрой _____

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

по дисциплине "Математическое моделирование ХТП"

1. Общие теоретические положения метода математического моделирования.

- 1.1 Дать определение методов математического и физического моделирования?
- 1.2 Назовите области применения методов математического и физического моделирования?
- 1.3 Что такое системный подход при разработке математического описания объекта?
- 1.4 Назовите основные критерии выбора численного метода?
- 1.5 Что такое адекватность математической модели?
- 1.6 Как оценивается адекватность при разработке математической модели?
- 1.7 Нужны ли экспериментальные исследования при наличии метода математического моделирования?
- 1.8 Практическое применение метода математического моделирования в химической технологии?

2. Моделирование кинетики гомогенных химических реакций

- 2.1. Какие основные концепции формальной кинетики Вам известны?
- 2.2. Что такое скорость химической реакции? Как определяется.
- 2.3 Температурная зависимость скорости химической реакции?
- 2.4. Какой закон лежит в основе формальной кинетики? Его формулировка. Какие связи устанавливают кинетические уравнения?
- 2.5. Какие численные методы используются для решения кинетических уравнений?
- 2.6. Формулировка прямой и обратной кинетической задачи?
- 2.7. Сформулируйте сущность дифференциальных и интегральных методов оценки кинетических параметров?
- 2.8. Какие экспериментальные данные необходимы для оценки кинетических констант и энергий активации?

3. Моделирование гидродинамики потоков.

- 3.1. Назовите типовые математические модели структуры потоков в аппаратах?
- 3.2. Что такое кривая отклика?
- 3.3. Модель идеального вытеснения?
- 3.4. Модель идеального вытеснения?
- 3.5. Диффузионная модель?
- 3.6. Ячеечная модель?
- 3.7. Алгоритм расчета гидродинамики потоков?
- 3.8. Алгоритм расчета смесителя?
- 3.9. Раскройте суть преобразований Лапласа?

4. Моделирование тепловых процессов

- 4.1. Назовите основные тепловые процессы в химической технологии?
- 4.2. Какие гидродинамические модели структуры потоков применяются при моделировании теплообменных аппаратов?
- 4.3. Назовите параметры математической модели теплообменных аппаратов и их размерности?
- 4.4. Сформулируйте принципы составления уравнений тепловых балансов.
- 4.5. В чем отличие математической модели трубчатой печи от модели теплообменного аппарата?
- 4.6. Сформулируйте на основе каких законов разрабатываются математические модели тепловых процессов?
- 4.7. Сформулируйте принципы построения математической модели процесса выпаривания?

5. Моделирование массообменных процессов

- 5.1. Назовите основные массообменные процессы, применяющиеся в химической технологии?
- 5.2. Какие фундаментальные законы лежат в основе описания массообменных процессов?
- 5.3. Что такое фазовое равновесие? Какие методы расчета констант фазового равновесия вы знаете?
- 5.4. В чем заключается различие процессов сепарации и ректификации?
- 5.5. Какие алгоритмы расчета процесса ректификации вам известны?
- 5.6. Какие численные методы применяются при расчете массообменных процессов?
- 5.7. Назовите основные параметры массообменных процессов и их размерности?
- 5.8. Какими математическими моделями описывается процесс экстракции?

6. Моделирование кинетики гетерогенных химических реакторов

- 6.1. Какова физическая природа многостадийного протекания гетерогенной химической реакции?
- 6.2. Сформулируйте особенности применения закона действующих поверхностей и его отличие от закона действующих масс?
- 6.3. Назовите основные методы и принципы построения кинетических моделей гетерогенных химических реакций.
- 6.4. Какие методы базируются на принципе стационарности?
- 6.5. Что такое маршрут реакции, стехиометрическое число, многомаршрутная реакция?
- 6.6. Какие методы применяются при построении кинетических моделей многомаршрутных реакций?
- 6.7. Приведите примеры промышленных каталитических процессов.

7. Моделирование гетерогенных каталитических химических процессов

- 7.1. Приведите примеры промышленных гетерогенных каталитических процессов.
- 7.2. В каких типах химических реакторов осуществляется гетерогенные каталитические процессы.
- 7.3. Назовите основные типы моделей применяющихся для описания гетерогенных каталитических процессов?
- 7.4. В каких случаях целесообразно разрабатывать двухфазные модели химических реакторов?
- 7.5. Какова иерархическая структура математического описания гетерогенного химического реактора?
- 7.6. Что такое квазигомогенная модель?
- 7.7. Назовите основные составляющие математических моделей гетерогенных химических реакторов?
- 7.8. Какую дополнительную информацию о процессе можно получить применяя двухфазные модели в отличие от квазигомогенных моделей?
- 7.9. Какие численные методы можно применять для исследования математических моделей гетерогенных химических реакторов?

8. Моделирование гомогенных химических реакторов

- 8.1. Какие конструкции гомогенных реакторов применяются в химической технологии?
- 8.2. Приведите примеры гомогенных химических процессов?
- 8.3. Какие гидродинамические модели потоков наиболее широко применяются при моделировании химических реакторов?
- 8.4. В чем состоит сущность иерархического построения математической модели химического реактора?
- 8.5. Назовите практическое применение результатов математического моделирования химических реакторов?

8.6. Какими системами уравнений описываются математические модели гомогенных химических реакторов?

8.9. Какие численные методы применяются для исследования математических моделей гомогенных химических реакторов.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В каталоге НТБ ТПУ имеется 6 наименований учебников и учебных пособий, которые могут быть использованы для изучения дисциплины «Математическое моделирование химико– технологических процессов». Кроме того, на кафедре ХТТ имеется комплексное методическое обеспечение (КМО) дисциплины, которое включает:

1. Рабочую программу дисциплины , рейтинг-план и памятку.

2. Конспект лекций.

3. Задания для самостоятельной аудиторной работы.

4. Задания для рубежных, зачетных, итоговых контролей.

5. Индивидуальные домашние задания.

6. Учебное пособие «Математическое моделирование химико – технологических процессов».

7. Методические указания к лабораторным работам.

6.1. ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ

6.1.2. Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А. Моделирующая система расчета массообменных процессов первичной подготовки нефти и газа. -Томск, ПЭВМ-2006г.

6.1.5. Ушева Н.В. , Мойзес О.Е., Кузьменко Моделирующая система расчета процессов сепарации нефти и газа. - Томск, ПЭВМ. - 2005 г.

6.1.1. Ушева Н.В., Барамыгина Н.А. Моделирующая система расчета процессов стабилизации газового конденсата.- Томск, ПЭВМ.-2004г.

6.1.3. Ушева Н.В., Мойзес О.Е. Моделирующая система расчета процессов гидрирования оксида углерода. - Томск, ПЭВМ. - 2004 г.

6.1.4. Ушева Н.В. Моделирующая система расчета процесса циклизации лёгких алканов. - Томск , ПЭВМ. - 2007 г.

6.2. ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

6.2.1. Основная литература

6.2.1.1. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. М. :Высшая школа,1991.-400с.

6.2.1.2. . Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: Учебное пособие для вузов.-М.:ИКЦ «Академкнига», 2006.-416 с.

6.2.1.3.Кравцов А.В., Ушева Н.В., Кузьменко Е.А., Фёдоров А.Ф. Математическое моделирование химико-технологических процессов. Лабораторный практикум. Часть 1. Томск., 2006.- 135 с.

6.2.2. Дополнительная литература:

6.2.2.1.Турчак Л.И. Основы численных методов. - М.:Наука,1987.-120с.

6.2.2.2.Кравцов А.В., Новиков А.А., Коваль П.И. Компьютерный анализ технологических процессов. Новосибирск.: Наука,1998.-212с.

6.2.2.3 Бесков В.С. Общая химическая технология: Учебное пособие для вузов.- М.: ИКЦ «Академкнига», 2006.-446 с.