

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

_____ А.А.Сакович

«___» _____ 2016 г.

Регистрационный № УД– /уч.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности

1-36 07 01 Машины и аппараты химических производств и предприятий
строительных материалов

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта первой степени высшего образования ОСВО 1–36 07 01–2013 специальности «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов», утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь № 88 от 30.08.2013 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

В. С. Францкевич – доцент кафедры машин и аппаратов химических и силикатных производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Е. В. Перминов –заведующий кафедрой товароведения непродовольственных товаров Белорусского государственного экономического университета, кандидат технических наук, доцент;

А. М. Волк– доцент кафедры высшей математики учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой машин и аппаратов химических и силикатных производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 4 от __.12.2016 г.);

Методической комиссией факультета химической технологии и техники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № __ от __.12.2016 г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Актуальность изучения дисциплины

Широкое применение современных средств вычислительной техники для решения различных технологических задач и задач управления производственными процессами требует от инженера-механика любого профиля соответствующего образования и умения на должном инженерном уровне применять ЭВМ и проводить оценку целесообразности использования компьютеров.

Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины:

ознакомление студентов с возможностями моделирования, оптимизации и управления производственными процессами;

привитие навыков корректной постановки инженерных задач для решения на ЭВМ, реализации вычислительных алгоритмов и получение физически обоснованных результатов расчета;

обучение методологии проведения расчетных исследований технологических процессов на ЭВМ и использование последних для решения задач проектирования и оптимизации производства.

Основные задачи изучения дисциплины состоят в получении студентами основных научно-практических знаний в области математического моделирования объектов химической техники, изучении численных и аналитических методов решения уравнений математических моделей и умения использовать и применять на практике необходимые методы оптимизации.

Эти цели и задачи достигаются:

– на лекциях, где излагаются теоретические вопросы, раскрывающие целесообразность использования физического и математического моделирования процессов и оборудования. Изучаются основные этапы моделирования, виды моделей, методы их реализации. Рассматриваются модели типовых процессов химических производств и изучаются современные методы оптимизации технологических процессов.

– на лабораторных занятиях, на которых студенты закрепляют теоретические знания путём получения навыков по корректной постановке технологических задач для решения на ЭВМ, реализации вычислительных алгоритмов и получение физически обоснованных результатов расчета по моделированию и оптимизации технологических процессов.

Требования к освоению учебной дисциплины

В результате изучения дисциплины студент должен **знать**:

– основные понятия, цели и задачи математического моделирования;
– основные типы математических моделей химико-технологических объектов;

– современные методы оптимизации задач химической технологии.

Студент обязан

уметь:

– использовать аналитические методы составления моделей технологических процессов;

– выполнять алгоритмизацию задачи и ее реализацию на ПК и освоить основные численные и аналитические методы решения всех типов уравнений математических моделей;

– использовать основные методы оптимизации для поиска оптимальных условий ведения химико-технологических процессов;

владеть:

– навыками математического моделирования и оптимизации технологических процессов.

Изучение дисциплины «Моделирование и оптимизация технологических процессов» способствует развитию у студентов следующих компетенций:

академических:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

профессиональных:

ПК-1. Разрабатывать (выявлять) и внедрять перспективные технологии и оборудование в различных производственных процессах.

ПК-2. Анализировать и объективно оценивать достижения науки и техники в области процессов, машин и аппаратов, перспективы и направления развития.

ПК-10. Владеть современными программными средствами моделирования, расчета и компьютерного проектирования изделий и технологических процессов.

ПК-11. Оценивать предлагаемые технических решения по конструкции изделий путем изготовления и испытаний моделей и макетов.

ПК-20. Разрабатывать новые образцы технологического оборудования с использованием современных информационных и компьютерных технологий.

Форма получения высшего образования – очная (8 семестр).

Учебным планом для
изучения данной дисциплины предусмотрено 80 часов из которых 48
аудиторных: 32 часа лекций, 16 лабораторных занятий. Зачет в 8 семестре.

Изучение дисциплины «Моделирование и оптимизация технологических процессов» основано на знании студентами материалов следующих дисциплин: «Высшая математика», «Физика», «Общая химическая технология», «Вычислительная математика», «Машины и аппараты химических производств», «Машины и оборудование предприятий строительных материалов».

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Разделы, темы

Введение

Назначение, задачи и цели дисциплины, её место и роль в подготовке инженеров-механиков.

Раздел 1. Моделирование технологических процессов и оборудования

1.1. Введение в моделирование

История развития, состояние и задачи моделирования химико-технологических процессов. Основные понятия и принципы моделирования. Физическое и математическое моделирование. Этапы моделирования. Моделирование как основа оптимизации технологических процессов.

1.2. Физическое моделирование

Подобные явления, геометрическое и физическое подобие. Теория подобия как аппарат моделирования. Критерии подобия, критериальные уравнения. Метод анализа размерностей. Метод аналогии. Использование физического моделирования для исследования объектов и масштабного перехода от моделей к промышленным аппаратам.

1.3. Математическое моделирование

Особенности использования математического моделирования в исследовании технологических процессов. Типы математических моделей, аналитические и экспериментально-статистические модели. Составление и алгоритмизация математических моделей. Адекватность математических моделей. Структура потоков в аппаратах как основа для составления математических моделей. Модели структуры потоков.

Типы дифференциальных уравнений, используемые для описания технологических процессов, методы их составления и решения. Методы регрессионного и корреляционного анализа. Виды регрессий, уравнения регрессий. Критерии значимости коэффициентов уравнений

регрессии, коэффициенты корреляции. Переход от уравнений регрессии к натуральному масштабу.

1.4. Моделирование типовых технологических процессов и оборудования

Механические процессы. Модели кинетики измельчения и механической классификации. Модель распределения продуктов измельчения по размерам, уравнение кривой распределения. Дифференциальные уравнения движения измельчающих тел и материала в помольных агрегатах.

Гидромеханические процессы. Моделирование процессов перемешивания, осаждения, фильтрования, центрифугирования. Двухфазные течения и их моделирование. Моделирование движения твердых частиц в осевом и закрученном потоках.

Тепломассообменные процессы. Математические модели процессов переноса, учет гидродинамики потоков. Моделирование теплообменных аппаратов. Модели и алгоритмы расчета массообменных аппаратов.

Реакторы. Модели реакторов идеального вытеснения и идеального смешения. Модель каскада реакторов. Эффективность реакторов.

Раздел 2. Оптимизация технологических процессов и оборудования

2.1. Общая постановка задач оптимизации

Формулировка задачи оптимизации. Критерии оптимизации. Оптимизационные факторы и ограничения. Целевая функция. Характеристика методов оптимизации.

2.2. Методы исследования функции классического анализа

Экстремум функции одной переменной, глобальный и локальный экстремум. Экстремумы функций многих переменных. Примеры использования аналитических методов для оптимизации процессов и аппаратов.

2.3. Линейное программирование

Постановка задачи линейного программирования, ее графическое отображение. Преобразование ограничений. Ограничения типа равенств и неравенств. Симплексный метод решения задач линейного программирования, алгоритм симплексного метода.

2.4. Нелинейное программирование

Основные понятия. Целевая функция. Геометрическая интерпретация целевой функции и ограничений. Градиентные методы. Метод релаксации, градиента, наискорейшего спуска. Оптимум при известном аналитическом

выражении градиента. Безградиентные методы. Метод локализации экстремума функции одной переменной. Оптимизация с использованием чисел Фибоначчи, метод «золотого сечения». Методы сканирования и последовательного изменения переменных. Метод случайных направлений. Сравнение различных методов.

2.5. Экспериментально-статистическая оптимизация

Планирование экспериментов. Полный факторный эксперимент, дробные реплики. Оптимизация методом крутого восхождения по поверхности отклика. Исследование поверхности отклика. Симплексный метод планирования эксперимента.

2.6. Динамическое программирование

Многостадийные процессы. Принцип оптимальности. Комбинаторные модели, решение комбинаторных задач. Математическая формулировка принципа оптимальности для дискретных процессов. Вычислительные аспекты динамического программирования. Оптимальное распределение реакционных объемов в каскаде реакторов.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

Номер темы занятий	Название раздела, тема занятий, перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных занятий		Материалы, которые обеспечивают занятия	Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7
1	МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ	18				
1.1	<u>Введение в моделирование.</u> 1. История развития, состояние и задачи моделирования химико-технологических процессов. 2. Основные понятия и принципы моделирования. 3. Физическое и математическое моделирование. 4. Этапы моделирования. 5. Моделирование как основа оптимизации технологических процессов.	2		Плакаты, видеоматериалы для мультимедийных проекторов	[1-6]	Зачет, экспресс-тест
1.2	<u>Физическое моделирование.</u> 1. Подобные явления, геометрическое и физическое подобие. 2. Теория подобия как аппарат моделирования. 3. Критерии подобия, критериальные уравнения. 4. Метод анализа размерностей. 5. Метод аналогии.	2			[1-6]	Зачет, экспресс-тест

	6. Использование физического моделирования для исследования объектов и масштабного перехода от моделей к промышленным аппаратам.					
1.3	<u>Общая характеристика математического моделирования.</u> 1. Особенности использования математического моделирования в исследовании технологических процессов. 2. Типы математических моделей, аналитические и экспериментально-статистические модели. 3. Составление и алгоритмизация математических моделей. 4. Адекватность математических моделей.	2			[1-6]	Зачет, экспресс-тест
1.4	<u>Экспериментально-статистическое моделирование.</u> 1. Метод наименьших квадратов. 2. Корреляционный анализ в химической технике. 3. регрессионный анализ.	2	2		[1-6]	Зачет, экспресс-тест
1.5	<u>Аналитические модели.</u> 1. Алгебраические модели. 2. Интегральные модели. 3. Дифференциальные модели.	2			[1-6]	Зачет, экспресс-тест
1.6	<u>Моделирование механических процессов.</u> 1. Модели кинетики измельчения и механической классификации. 2. Дифференциальные уравнения движения измельчающих тел и материала в помольных агрегатах.	2	2		[1-6]	Зачет, экспресс-тест

1.7	<u>Моделирование гидромеханических процессов.</u> 1. Моделирование процессов перемешивания, осаждения, фильтрования, центрифугирования. 2. Двухфазные течения и их моделирование. 3. Моделирование движения твердых частиц в осевом и закрученном потоках.	2	2		[1-6]	Зачет, экспресс-тест
1.8	<u>Моделирование тепломассообменных процессов.</u> 1. Математические модели процессов переноса, учет гидродинамики потоков. 2. Моделирование теплообменных аппаратов. 3. Модели и алгоритмы расчета массообменных аппаратов.	2	2		[1-6, 11]	Зачет, экспресс-тест
1.9	<u>Моделирование химических реакторов.</u> 1. Модели реакторов идеального вытеснения и идеального смешения. 2. Модель каскада реакторов. 3. Эффективность реакторов.	2			[1-6, 11]	Зачет, экспресс-тест
2	Оптимизация технологических процессов и оборудования	14				
2.1	<u>Общая постановка задач оптимизации.</u> 1. Формулировка задачи оптимизации. 2. Критерии оптимизации. 3. Оптимизационные факторы и ограничения. 4. Целевая функция. 5. Характеристика методов оптимизации.	2			[4, 8, 10]	Зачет, экспресс-тест
2.2	<u>Методы исследования функции классического анализа.</u> 1. Экстремум функции одной переменной,			Плакаты	[4, 8, 10]	Зачет, экспресс-тест

	<p>глобальный и локальный экстремум. 2. Экстремумы функций многих переменных. 3. Примеры использования аналитических методов для оптимизации процессов и аппаратов.</p>	2	2			
2.3	<p><u>Линейное программирование в химической технике.</u> 1. Постановка задачи линейного программирования, ее графическое отображение. 2. Преобразование ограничений. 3. Симплексный метод решения задач линейного программирования, алгоритм симплексного метода. 4. Использование линейного программирования для оптимизации технических объектов.</p>	2	2	Плакаты, видеоматериалы для мультимедийных проекторов	[4, 8, 10, 13]	Зачет, экспресс-тест
2.4	<p><u>Нелинейное программирование градиентными и безградиентными методами одной переменной.</u> 1. Метод релаксации. 2. Метод градиента. 3. Метод наискорейшего спуска. 4. Безградиентный метод локализации экстремума 5. Метод золотого сечения. 6. Метод поиска экстремума с использованием чисел Фибоначчи.</p>	2	2		[4, 8, 10, 13]	Зачет, экспресс-тест
2.5	<p><u>Нелинейное программирование безградиентными методами n-переменных.</u> 1. Метод прямого поиска (Гаусса-Зейделя). 2. Метод Хука-Дживса. 3. Метод сканирования.</p>	2			[4, 8, 10, 13]	Зачет, экспресс-тест

	4. Метод случайного поиска.					
2.6	<u>Экспериментально-статистическая оптимизация.</u> 1. Планирование экспериментов. 2. Полный факторный эксперимент, дробные реплики. 3. Оптимизация методом крутого восхождения по поверхности отклика. 4. Исследование поверхности отклика. 5. Симплексный метод планирования эксперимента.	2	2		[4, 8]	Зачет, экспресс-тест
2.7	<u>Динамическое программирование.</u> 1. Многостадийные процессы. 2. Принцип оптимальности. 3. Комбинаторные модели, решение комбинаторных задач. 4. Вычислительные аспекты динамического программирования. 5. Оптимальное распределение реакционных объемов в каскаде реакторов.	2			[4, 8]	Зачет, экспресс-тест

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Примерная тематика лабораторных занятий

Во время лабораторных занятий студенты изучают основные пакеты программ по моделированию и оптимизации технологических процессов. Знакомятся с современными методами моделирования и оптимизации на примерах конкретных технических объектов и процессов. Для данной дисциплины рекомендуется следующий перечень лабораторных работ:

1. Определение параметров экспериментально-статистической модели.
2. Моделирование механических процессов.
3. Моделирование гидродинамических процессов.
4. Моделирование и оптимизация тепломассообменных процессов.
5. Использование встроенных функций Excel для решения оптимизационных задач.
6. Решение задач оптимизации с использованием линейного и нелинейного программирования в среде MathCad.
7. Составление математической модели на примере дробного факторного эксперимента.

Диагностика компетенций студентов

Аттестация проводится в виде зачета по итогам 8 семестра. Текущая аттестация проводится в виде собеседований, письменных контрольных опросов, коллоквиумов, защиты лабораторных работ.

Рекомендации по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов осуществляется под контролем преподавателей, организовывается с учетом индивидуальных особенностей студентов, обеспечивается учебными материалами и учебно-методическими пособиями.

При изучении дисциплины используются следующие формы организации самостоятельной работы студентов:

- самостоятельное изучение теоретических вопросов с целью развития навыков работы с учебной и научной литературой;
- самостоятельная подготовка к лабораторным занятиям по заданным темам;
- выполнение индивидуальных заданий.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

№ п/п	Название литературного источника	Кол-во в библиотеке БГТУ
1	2	3
Основная		
1	Вайтехович, П. Е. Моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования / П. Е. Вайтехович, В. С. Францкевич. – Минск: БГТУ, 2014. – 268 с.	120
2	Кафаров, В. В. Математическое моделирование основных процессов химических производств / В. В. Кафаров, М. В. Глебов. – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с.	31
3	Закгейм, А. Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов / А. Ю. Закгейм. – М.: Химия, 1982. – 288 с.	21
4	Колесников, В. Л. Математические основы компьютерного моделирования химико-технологических систем: учеб. пособие / В. Л. Колесников. – Минск: БГТУ, 2003. – 312 с.	242
5	Бояринов, А. И. Методы оптимизации в химической технологии / А. И. Батунер, В. В. Кафаров. – М.: Химия, 1975. – 576 с.	22
6	Холоднов, В.А. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов. Практическое руководство / В.А. Холоднов. – СПб.: АПО НПО “Профессионал”, 2003. – 486 с.	3
7	Крылов, В.М. Теория и практика математического моделирования / В.М. Крылов, В.А. Холоднов. – СПб.: ГТИ(ТУ), 2007. – 178 с.	–
8	Францкевич, В.С. Моделирование и оптимизация технологических процессов: учеб.-метод. пособие к выполнению лабораторных работ по одноименной дисциплине для студентов очной формы обучения специальности 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» / В. С. Францкевич, Д.Н. Боровский. – Минск: БГТУ, 2016. – 101 с.	э/издание
Дополнительная		
9	Поршнев, С. В. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием пакета MathCAD / С. В. Поршнев. – М.: Новая планета, 2002. – 252 с.	–

1	2	3
10	Колесников, В. Л. Компьютерное моделирование и оптимизация химико-технологических систем: учеб.пособие / В. Л. Колесников, И. М. Жарский, П. П. Урбанович. – Минск: БГТУ, 2004. – 532 с.	401
11	Андрижиевский, А. А. Моделирование и оптимизация тепломассообменных процессов: учеб.пособие / А. А. Андрижиевский, А. Г. Трифонов. – Минск: БГТУ, 2005. – 320 с.	123
12	Банди, Б. Методы оптимизации. Вводный курс / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.	2
13	Банди, Б. Основы линейного программирования / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1989. – 174 с.	–

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержание учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решения, принятые кафедрой, разработавшей учебную программу (номер протокола)
Машины и аппараты химических производств	МиАХиСП		
Высшая математика	Высшей математики		
Процессы и аппараты химических производств	ПиАХП		

Зав. кафедрой МиАХиСП

П.Е. Вайтехович

Дополнения и изменения в рабочей программе
на 20__ / 20__ учебный год
В рабочую программу внесены следующие изменения:

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
МиАХиСП

«__» _____ 20__ г., протокол №

Зав. кафедрой

_____ П.Е. Вайтехович

Внесенные изменения утверждаю:

Декан факультета ХТиТ

_____ Ю.А. Климош

«__» _____ 20__ г.