Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 05.08.2026 14:58:53
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет химической технологии и биотехнологии

УТВЕРЖДАЮ
Декан
_____ / А.С. Соколов /
«26» февраля 2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Моделирование технологических процессов и систем управления»

Направление подготовки
15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Профиль «Автоматизация технологических производств»

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Москва, 2026

Разработчик(и):

Доцент, к.т.н кафедры «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М.Б. Генералова»

 /Д.В. Зубов /

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М.Б. Генералова»,

 /А.С.Кирсанов/

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4
3. Структура и содержание дисциплины 4
3.1. Виды учебной работы и трудоемкость 4
3.2. Тематический план изучения дисциплины 6
3.3. Содержание дисциплины 7
3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 7
3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ) 7
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 7
4.1. Нормативные документы и ГОСТы 7
4.2. Основная литература 7
4.3. Дополнительная литература 7
4.4. Электронные образовательные ресурсы 8
4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 8
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 8
5. Материально-техническое обеспечение 8
6. Методические рекомендации 8
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 8
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 8
7. Фонд оценочных средств 9
7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения 9
7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения 9
7.3. Оценочные средства 9

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Обучение по дисциплине «Моделирование технологических процессов и систем управления» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1. Применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности	ИОПК-1.1. Понимает теоретические основы естественнонаучных и технических дисциплин, основные законы функционирования объектов профессиональной деятельности; ИОПК-1.2. Применяет на практике математические методы для анализа и моделирования различных аспектов функционирования объектов профессиональной деятельности; ИОПК-1.3. Владеет навыками анализа и синтеза автоматизированных систем и их элементов с учетом их специфики.
ОПК-11. Способен проводить научные эксперименты с использованием современного исследовательского оборудования и приборов, оценивать результаты исследований	ИОПК-11.1. Понимает основные принципы проведения экспериментальных исследований и использования основных приемов обработки и представления полученных данных; ИОПК-11.2. Выбирает эффективную методику экспериментальных исследований; ИОПК-11.3. Проводит экспериментальные исследования, обработку и представление полученных данных с использованием современного исследовательского оборудования.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры	
			5	6
1	**Аудиторные занятия**	**144**	72	72

	В том числе:			
1.1	Лекции	72	36	36
1.2	Семинарские/практические занятия	72	36	36
1.3	Лабораторные занятия			
2	**Самостоятельная работа**	**144**	72	72
	В том числе:			
2.1	Подготовка к практическим и лабораторным	144	72	72
3	**Промежуточная аттестация**			
	Зачет/диф.зачет/экзамен		**зачёт**	**экзамен**
	Итого	**288**	144	144

3.2 Тематический план изучения дисциплины

№ п/п	Разделы/ темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1.1	Основы математического моделирования		8	8			16
1.2	Построение аналитических моделей типовых технологических процессов		12	12			24
1.3	Построение безразмерных моделей типовых технологических процессов		8	8			16
1.4	Построение и оптимизация аналитических моделей с использованием программных средств		8	8			16
1.5	Структурная и параметрическая идентификация математических моделей		8	8			16
1.6	Построение аналитических и экспериментально-аналитических моделей процессов с использованием программных средств		8	8			16
1.7	Построение моделей систем управления		12	12			24
1.8	Построение экспериментальных моделей процессов и систем управления		8	8			16
	Итого		**72**	**72**			**144**

3.3 Содержание дисциплины

Тема 1. Основы математического моделирования

Требования, предъявляемые к математическим моделям. Этапы построения моделей. Аналитические, экспериментальные, экспериментально-аналитические модели, их особенности, преимущества и недостатки. Идентификация модели. Параметрическая идентификация. Проверка адекватности модели. Модели статики и динамики. Методика составления балансовых уравнений для объекта с сосредоточенными и распределенными координатами. Построение модели гидродинамической модели, содержащей элементы идеального смешения и идеального вытеснения с байпасом и циркуляцией. Диффузионная и ячеечная модели.

Тема 2. Построение моделей типовых химико-технологических процессов.

Модели теплообменников. Теплообменник идеального смешения с рубашкой идеального смешения. Теплообменник идеального вытеснения с рубашкой идеального вытеснения. Кожухотрубный теплообменник. Кожухотрубный секционированный теплообменник. Теплообменник ИС -ИВ. Модель регенеративного теплообменника. Модель адсорбционно-десорбционного процесса. Модель абсорбционно-десорбционного процесса. Модель ректификационной колонны. Модель сушки в псевдоожиженном слое. Модель химического реактора с мешалкой и рубашкой. Модель трубчатого химического реактора с рубашкой. Модель печи пиролиза.

Тема 3. Построение безразмерных моделей типовых технологических процессов.

Понятие о безразмерных комплексах и критериях подобия технологических процессов. Использование безразмерных комплексов в математическом моделировании.

Тема 4. Построение и оптимизация аналитических моделей с использованием программных средств.

Программные пакеты для моделирования и оптимизации технологических процессов – Engee, ChemCAD, Aspen Plus/Hysys, DeltaV, LabVIEW, Simcad, Comsol, Fluent, экосистема NanoCAD.

Тема 5. Структурная и параметрическая идентификация математических моделелй.

Регрессионный анализ, основные допущения. Определение параметров линейного уравнения регрессии методом наименьших квадратов. Определение параметров линейного уравнения регрессии с использованием статистических характеристик. Определение параметров линейного уравнения регрессии в матричной форме. Таблица дисперсионного анализа. Определение наличия регрессионной зависимости с использованием F - отношения. Методы последовательного уточнения структуры регрессионного уравнения: метод включений, метод исключений, метод пошаговой регрессии. Проверка значимости параметров. Множественный коэффициент корреляции. Понятие о частном коэффициенте корреляции. Определение его значимости.

Тема 6. Построение экспериментальных моделей с использованием программных средств.

Программные пакеты Statistica, Matlab. Работа в среде Matcad. Использование функций работы с матрицами, статистическими распределениями, дифференциальными уравнениями для моделирования. Коллаборативные среды. Основы Python.

Тема 7. Построение моделей систем управления.

Построение динамических моделей систем управления в системах Simulink/Engee/LabVIEW.

Тема 8. Построение экспериментальных моделей процессов и систем управления.

Алгоритмы определения безразмерных и параметров координат процесса, определение их по данным эксперимента. Составление планов эксперимента, адаптивные планы.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

Тема 1. Основы математического моделирования.

Построение структур идеализированных процессов. Анализ размерностей.

Тема 2. Построение моделей типовых химико-технологических процессов.

Построение аналитических моделей теплообменных процессов. Построение аналитических моделей теплообменных процессов. Построение аналитических моделей химических процессов. Построение аналитических моделей совмещённых процессов.

Тема 3. Построение безразмерных моделей типовых технологических процессов.

Построение безразмерных аналитических моделей теплообменных процессов. Построение безразмерных аналитических моделей теплообменных процессов. Построение безразмерных аналитических моделей химических процессов. Построение безразмерных аналитических моделей совмещённых процессов.

Тема 4. Построение и оптимизация аналитических моделей с использованием программных средств

Построение компьютерных моделей технологических процессов в среде – Engee.

Тема 5. Структурная и параметрическая идентификация математических моделелй

Определение параметров линейного уравнения регрессии методом наименьших квадратов. Определение параметров линейного уравнения регрессии с использованием статистических характеристик. Определение параметров линейного уравнения регрессии в матричной форме.

Тема 6. Построение экспериментальных моделей с использованием программных средств

Построение экспериментальных моделей в коллаборативных средах.

Тема 7. Построение моделей систем управления

Построение динамических моделей систем управления в системах Simulink/Engee/LabVIEW.

Тема 8. Построение экспериментальных моделей процессов и систем управления

Составление планов эксперимента и определение по его данным структуры и параметров модели..

3.4.2. Лабораторные занятия

3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

Не предусмотрено

4.2 Основная литература

1. Ахметов, Н.С. Компьютерное моделирование и оптимизация химико-технологических процессов. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2014. – 752 с. – URL: http://e.lanbook.com/book/50684.

4.3 Дополнительная литература

1. Косарев, Е.Л. Методы обработки экспериментальных данных

[Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2008. —208 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/59398.

2. Ананьев, В.А. Анализ экспериментальных данных: учебное пособие. Ч. 1 [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Кемерово : КемГУ, 2009. — 106 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/30104.

4.4 Электронные образовательные ресурсы

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Engee, Fluent, NanoCAD

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Интернет-ресурсы включают доступ к электронным библиотекам университета (http://elib.mgup ; http://lib.mami.ru/lib/content/elektronyy-katalog), к электронным каталогам вузовских библиотек и крупнейших библиотек Москвы (*http://window.edu.ru*).

5. Материально-техническое обеспечение

Лекции с применением мультимедийного оборудования проводятся в аудиториях 4409 или 4410. Практические и семинарские занятия проводятся в аудитории 4403 оснащенной необходимым количеством персональных компьютеров для выполнения расчетных работ. Лабораторные работы проводятся в аудитории 4403, оснащённой лабораторными и научно-исследовательскими установками.

6. Методические рекомендации

а. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Основным требованием к преподаванию дисциплины является творческий, проблемно-диалоговый подход, позволяющий повысить интерес студентов к содержанию учебного материала.

Основная форма изучения и закрепления знаний по этой дисциплине – лекционная и практическая. Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное

извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Основу учебных занятий по дисциплине составляют лекции. В процессе обучения студентов используются различные виды учебных занятий (аудиторных и внеаудиторных): лекции, семинарские занятия, консультации и т.д. На первом занятии по данной учебной дисциплине необходимо ознакомить студентов с порядком ее изучения, раскрыть место и роль дисциплины в системе наук, ее практическое значение, довести до студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

При подготовке к лекционным занятиям по курсу «Моделирование технологических процессов и систем управления» необходимо продумать план его проведения, содержание вступительной, основной и заключительной части лекции, ознакомиться с возможными изменениями в нормативно-технической документации, новинками учебной и методической литературы, публикациями периодической печати по теме лекционного занятия, определить средства материально-технического обеспечения лекционного занятия и порядок их использования в ходе чтения лекции. Уточнить план проведения практического занятия по теме лекции.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только чётко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов.

Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категорийный аппарат.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие

выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе.

Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

Цель практических занятий обеспечить контроль усвоения учебного материала студентами, расширение и углубление знаний, полученных ими на лекциях и в ходе самостоятельной работы. Повышение эффективности практических занятий достигается посредством создания творческой обстановки, располагающей студентов к высказыванию собственных взглядов и суждений по обсуждаемым вопросам, желанию у студентов поработать у доски при решении задач.

После каждого лекционного и практического занятия сделать соответствующую запись в журналах учета посещаемости занятий студентами, выяснить у старост учебных групп причины отсутствия студентов на занятиях. Проводить групповые и индивидуальные консультации студентов по вопросам, возникающим у студентов в ходе их подготовки к текущей и промежуточной аттестации по учебной дисциплине, рекомендовать в помощь учебные и другие материалы, а также справочную литературу.

Изучение дисциплины завершается экзаменом.

Преподаватель, принимающий экзамен, лично несет ответственность за правильность выставления оценки.

b. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа является одним из видов получения образования обучающимися и направлена на:

изучение теоретического материала, подготовку к лекционным и семинарским (практическим) занятиям

выполнение контрольных заданий

подготовка к тестированию с использованием общеобразовательного портала.

Самостоятельная работа студентов представляет собой важнейшее звено учебного процесса, без правильной организации которого обучающийся не может быть высококвалифицированным выпускником.

Студент должен помнить, что проводить самостоятельные занятия следует регулярно. Очень важно приложить максимум усилий, воли, чтобы заставить себя работать с полной нагрузкой с первого дня.

Не следует откладывать работу также из-за нерабочего настроения

или отсутствия вдохновения. Настроение нужно создавать самому. Понимание необходимости выполнения работы, знание цели, осмысление перспективы благоприятно влияют на настроение.

Каждый студент должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

Важно полнее учесть обстоятельства своей работы, уяснить, что является главным на данном этапе, какую последовательность работы выбрать, чтобы выполнить ее лучше и с наименьшими затратами времени и энергии.

Для плодотворной работы немаловажное значение имеет обстановка, организация рабочего места. Нужно добиться, чтобы место работы по возможности было постоянным. Работа на привычном месте делает ее более плодотворной. Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать перерыв на 10-15 минут. Выходные дни лучше посвятить активному отдыху, занятиям спортом, прогулками на свежем воздухе и т.д. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.

Студент должен помнить, что в процессе обучения важнейшую роль играет самостоятельная работа с книгой. Научиться работать с книгой – важнейшая задача студента. Без этого навыка будет чрезвычайно трудно изучать программный материал, и много времени будет потрачено нерационально. Работа с книгой складывается из умения подобрать необходимые книги, разобраться в них, законспектировать, выбрать главное, усвоить и применить на практике.

7. Фонд оценочных средств

а. Методы контроля и оценивания результатов обучения

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю), методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине

«Моделирование технологических процессов и систем управления»

Вид работы	Форма отчетности и текущего контроля
	Оформленные отчеты (журнал) практических работ,
Практические работы	предусмотренных рабочей программой дисциплины с отметкой преподавателя «удовлетворительно/хорошо/отлично», если выполнены и оформлены все работы.
Лабораторные работы	Оформленные отчеты (журнал) практических работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины с отметкой преподавателя «удовлетворительно/хорошо/отлично», если выполнены и оформлены все работы. Правильно выполненные лабораторные работы с соблюдением техники безопасности.

b. Шкала и критерии оценивания результатов обучения

7.2.1 Шкала оценивания практической и лабораторной работы

Шкала оценивания	Описание
Неудовлетворительно	Не выполнены требования к написанию и защите практической работы: неправильно оформлена работа, неправильно подсчитаны значения, не сформулирован вывод.
Удовлетворительно	Выполнены не все требования к написанию и защите практической работы: неправильно оформлена работа, неправильно сформулирован вывод, но правильно подсчитаны значения.
Хорошо	Выполнены все требования, но с недочетами: незначительные ошибки в оформлении работы, неточности в формулировке выводов. Правильно подсчитаны значения.
Отлично	Выполнены все требования к написанию и защите практической работы: верно подсчитаны значения, сформулирован вывод, соблюдены требования к оформлению.

c. Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

7.3.1.1 Темы практических работ и лабораторных по дисциплине «Моделирование технологических процессов и систем управления»

Тематика практических работ изложена в пункте 3.4.

7.3.2. Промежуточная аттестация

7.3.2.1. Вопросы к экзамену по дисциплине «Моделирование технологических процессов и систем управления»

1. Требования, предъявляемые к математическим моделям. Этапы построения моделей. Особенности построения моделей при проведении активного и пассивного эксперимента.
2. Сравнительная характеристика основных методов построения моделей при проведении активного и пассивного эксперимента.
3. Методика составления балансовых уравнений для объекта с сосредоточенными и распределенными координатами.
4. Построение модели гидродинамической модели, содержащей элементы идеального смешения и идеального вытеснения с байпасом и циркуляцией.
5. Диффузионная и ячеечная модели. Примеры их использования.
6. Модель кожухотрубного теплообменника.
7. Модель секционированного кожухотрубного теплобменника.
8. Модель теплообменника с режимом идеального смешения для одного потока и режимом идеального вытеснения для другого.
9. Типовые задачи математического моделирования: получение статических характеристик, линеаризация уравнений модели. Имитационное моделирование.
10. Модель адсорбционно-десорбционного процесса.
11. Модель абсорбционно-десорбционного процесса.
12. Модель ректификационной колонны.
13. Модель сушки в псевдоожиженном слое.
14. Модель химического реактора с мешалкой и рубашкой.
15. Модель трубчатого химического реактора с рубашкой.
16. Программные пакеты для моделирования и оптимизации химико-технологических процессов.
17. Определение параметров линейного уравнения регрессии методом наименьших квадратов.
18. Определение параметров линейного уравнения регрессии (простой и множественной) с использованием статистических характеристик (с выводом).
19. Понятие о законах распределения "Хи-квадрат", Стьюдента и Фишера. Примеры их использования.
20. Понятие о статистических гипотезах и методах их проверки. Р- значение.
21. Определение параметров линейного уравнения регрессии в матричной форме.
22. Регрессионный анализ, основные допущения. Проверка значимости параметров и адекватности уравнения.
23. Таблица дисперсионного анализа. Определение наличия регрессионной зависимости с использованием F - отношения. Множественный коэффициент корреляции.
24. Понятие о частном коэффициенте корреляции. Определение его значимости. Пример использования.
25. Методы последовательного уточнения структуры регрессионного уравнения: метод включений, метод исключений, метод пошаговой регрессии.