

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

Ю.Н. Рыжих

Рабочая программа дисциплины

Химико-технологические системы

по направлению подготовки / специальности

16.03.01 Техническая физика

Направленность (профиль) подготовки/ специализация:

Компьютерное моделирование в инженерной теплофизике и аэрогидродинамике

Форма обучения

Очная

Квалификация

Инженер, инженер-разработчик

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Э.Р. Шрагер

Ю.Н. Рыжих

А.Ю. Крайнов

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-6 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, аргументировано защищать результаты выполненной работы.

ОПК-8 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ООПК-6.1 Знает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, способы обработки и представления данных, системы стандартизации и сертификации

ООПК-6.2 Умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования

ООПК-8.1 Знает методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации

ООПК-8.2 Умеет решать задачи обработки данных с помощью современных средств автоматизации

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить физико-математические основы химико-технологических систем (ХТС).

– Освоить типовые системы автоматического управления в химической промышленности.

– Научиться применять методы и средства диагностики и контроля основных технологических параметров.

– Научиться формулировать математические модели управления ХТС.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Компьютерное моделирование процессов в тепловых двигателях».

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Восьмой семестр, зачет с оценкой

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Технология автоматизированного машиностроения и приборостроения. Теория механизмов и машин. Также для освоения дисциплины требуются знания в определенных разделах математики, механики, термодинамики.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 10 ч.

-практические занятия: 24 ч.

в том числе практическая подготовка: 24 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Основные принципы физического и математического моделирования

Введение в курс. Цели и задачи курса. Роль экспериментальных исследований в создании и отработке ХТС. Понятие физической и математической модели. Понятие о физическом моделировании, его основные этапы, преимущества и недостатки. Понятие о математическом моделировании. Принципы и подходы к построению математической модели. Иерархия уровней математических моделей. Понятие о численных методах решения задач математической физики. Модели течения сплошных сред применительно к пневмо- и гидроприводам ХТС. Гидравлический подход. Течения идеального сжимаемого газа (уравнения Эйлера). Ламинарные вязкие течения (уравнения Навье–Стокса). Турбулентные течения (уравнения Рейнольдса). Приближение пограничного слоя (уравнения Прандтля). Подходы к моделированию многофазных течений и течений с химическими реакциями. Связь физического и математического моделирования.

Тема 2. Основы теории подобия и анализа размерностей

Основные правила моделирования. Третья теорема подобия (теорема Кирпичева–Гухмана). Понятие о критериях подобия, их роль в исследовании физических процессов. Подобие явлений и систем. Метод анализа размерностей. Основные и производные единиц измерений, система единиц измерений. Размерность физических величин, принцип ковариантности. П–теорема (теорема Бэкингема–Федермана). Определяющие и определяемые критерии подобия. Примеры использования критериев подобия при решении конкретных задач (колебания математического маятника, задача об атомном взрыве). Алгоритмы получения критериев подобия. Алгебраический метод Рэлея. Метод анализа дифференциальных уравнений. Понятие о критериальных уравнениях. Основные критерии подобия при исследовании систем.

Тема 3. Критерии подобия

Алгоритмы получения критериев подобия. Основные критерии подобия при моделировании химико-технологических систем.

Тема 4. Химико-технологические системы как объекты управления

Химическое производство как сложная система. Структура ХТС. Схемы химико-технологических процессов. Схема с открытой цепью. Циклическая схема. Комбинированные схемы. Способы изображения схем ХТС. Функциональная схема ХТС. Технологическая схема ХТС. Структурная схема ХТС. Операторная схема ХТС. Технологические связи. Последовательная технологическая связь. Последовательно-обводная технологическая связь. Параллельная технологическая связь. Обратная технологическая связь. Перекрестная технологическая связь. Математическое моделирование химико-технологических процессов. Элементы полной математической модели типового процесса. Операторы как основа построения математической модели типовых процессов.

Тема 5. Химические реакторы

Основные требования к реакторам. Производительность и интенсивность работы. Селективность процесса. Энергетические затраты. Математическая модель реактора. Уравнения материального баланса. Уравнение теплового баланса. Модели идеальных реакторов. Реактор идеального вытеснения (РИВ). Реактор идеального смешения (РИС).

Диффузионные модели. Ячеечная модель. Комбинированные модели. Температурный режим реактора.

Тема 6. Математические модели реакторов идеального смешения

Основные понятия химической кинетики. Уравнения изотермических реакторов идеального смешения. Изотермические РИС непрерывного действия. Реакция типа $2X \rightarrow Y$. Обратимая реакция типа $2X \rightleftharpoons Y$. Реакция типа $X + Y \rightarrow M$. Уравнения неизотермических реакторов идеального смешения. Реакторы периодического действия. Реакторы полунепрерывного действия. Реакторы непрерывного действия. Реакция типа $nX \rightarrow Y$. Реакция типа $X + Y \rightarrow M$. Упрощенные математические модели реакторов.

Тема 7. Устойчивость динамических систем

Основные понятия об устойчивости динамических систем. Качественные методы исследования дифференциальных уравнений. Фазовое пространство. Первый метод Ляпунова (устойчивость в малом). Положения равновесия динамических систем. Изоклины и интегральные кривые. Типы и устойчивость положения равновесия систем второго порядка (узел, фокус, седло, центр).

Тема 8. Стационарные состояния и устойчивость химических реакторов

Основные способы исследования стационарных состояний реакторов. Метод главных изоклин. Метод тепловых диаграмм. Бифуркационная диаграмма. Число стационарных состояний реактора. Индексы Пуанкаре. Принцип нечетности.

Тема 9. Устойчивость изотермических реакторов

Реакция типа $X \rightarrow Y$. Реакция типа $2X \rightarrow Y$. Обратимая реакция типа $2X \rightleftharpoons Y$. Реакция типа $X + Y \rightarrow M$. Устойчивость неизотермических реакторов идеального смешения. Реактор периодического действия. Реакторы полупериодического действия. Реактор непрерывного действия. Реакция нулевого порядка. Эндотермические реакции. Устойчивость химико-технологических систем в целом.

Тема 10. Автоматизированные системы управления химико-технологическими процессами

Структура автоматизированной системы управления. Классификация автоматизированных систем управления. Входная информация АСУ ХТП. Основные классы АСУ ХТП. Обыкновенные автоматизированные системы управления. Разомкнутые схемы АСУ. Замкнутые схемы АСУ. Стабилизирующая замкнутая АСУ. Замкнутая система с программным регулированием. Следящая замкнутая АСУ. Самонастраивающиеся автоматизированные системы управления. Системы экстремального управления. Системы с самонастраивающимися корректирующими контурами. Самонастраивающиеся АСУ с автоматическим поиском оптимальных режимов работы. Игровые автоматизированные системы управления.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится по результатам следующих контролируемых мероприятий:

- активное участие в обсуждении тем лекционных занятий, ответы на вопросы (устный опрос);
- решение практических задач.

Текущий контроль по дисциплине фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой в восьмом семестре проводится в письменной форме. Билет содержит два теоретических вопроса. Продолжительность зачета 1 час.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduor/>.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «iDo» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=24715>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) План практических занятий по дисциплине.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Архипов В.А. Химико-технологические системы. Моделирование и управление: Учебн. пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. – 175 с.
2. Архипов В.А. Основы теории инженерно-физического эксперимента: учебное пособие / В.А. Архипов, А.П. Березиков. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2008. – 206 с.
3. Амелькин В.В. Дифференциальные уравнения в приложениях. – М.: Наука, 1987. – 160 с.

б) дополнительная литература:

1. Красноперов Л.Н. Химическая кинетика. Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 1988. – 92 с.
2. Кутателадзе С.С. Анализ подобия и физические модели. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1986. – 290 с.
3. Общая химическая технология. Учеб. для химико-техн. спец. вузов. В 2-х т. Т. 1: Теоретические основы химической технологии / И.П. Мухленов, А.Я. Авербух, Е.С. Тумаркина и др.; Под. ред. И.П. Мухленова. – М.: Высшая школа, 1984. – 256 с.
4. Общая химическая технология. Учеб. для химико-техн. спец. вузов. В 2-х т. Т. 2: Важнейшие химические производства / И.П. Мухленов, А.Я. Авербух, Д.А. Кузнецов и др.; Под. ред. И.П. Мухленова. – М.: Высшая школа, 1984. – 263 с.
5. Романков П.Г. Гидромеханические процессы химической технологии / П.Г. Романков, М.И. Курочкина. – Л.: Химия, 1982. – 288 с.
6. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1977. – 440 с.
7. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: Наука, 1987. – 502 с.
8. Архипов В.А., Бондарчук С.С. Оптические методы диагностики гетерогенной плазмы продуктов сгорания: Учебн. пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012. – 265 с.
9. Архипов В.А. Физико-химические основы процессов тепломассообмена: Учебн. пособие. – Томск: Изд-во Том. политехнического ун-та, 2015. – 199 с.
10. Архипов В.А., Васенин И.М., Ткаченко А.С., Усанина А.С. О нестационарном всплывании пузырька в вязкой жидкости при малых числах Рейнольдса. – Изв. РАН. Механика жидкости и газа. – 2015, №1. – С.86-94.

11. Бондарчук С.С., Архипов В.А., Усанина А.С., Шрагер Г.Р. Влияние вязкости жидкости на динамику растекания капли. // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т. 88, №1. – С.43 – 53.
12. Архипов В.А., Усанина А.С. Движение частиц дисперсной фазы в дисперсионной среде: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2014. – 252 с.
13. Архипов В.А., Палеев Д.Ю., Патраков Ю.Ф., Усанина А.С. Определение смачиваемости угольной пыли. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014, № 3. – С. 170–179.
14. Евсеев М.Я., Жарова И.К., Жуков А.С., Змановский С.В., Козлов Е.А., Архипов В.А., Коноваленко А.И. Влияние режимных параметров и конструкции эжекционной форсунки на характеристики высокодисперсного порошка алюминия. Часть 1. Влияние режимных параметров форсунки. // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2014, №4. – С. 8-12.
15. Архипов В.А., Золоторев Н.Н., Коротких А.Г., Кузнецов В.Т., Матвиенко О.Г., Сорокин И.В. Зажигание вращающихся образцов высокоэнергетических материалов лазерным излучением // Физика горения и взрыва. 2021. Т. 57, № 1. С. 90-98.
16. Архипов В.А., Сорокин И.В., Селихова Е.А., Архипов В.А. Зажигание и горение смесевых твердых топлив на основе двойного окислителя и борсодержащих добавок // Химическая физика. 2020. Т. 39, № 2. С. 32-40.
17. Бабкин А.И. Основы теории автоматического управления ракетными двигательными установками / А.И. Бабкин, С.И. Белов, Н.Б. Рутовский, Е.В. Соловьев. – М.: Машиностроение, 1986. – 456 с.
18. Баренблатт Г.И. Подобие, автомодельность, промежуточная асимптотика. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. –255 с.
19. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1972. – 992 с.
20. Вольтер Б.В. Устойчивость режимов работы химических реакторов / Б.В. Вольтер, И.Е. Сальников. – М.: Химия, 1981. – 200 с.
21. Гликман Б.Ф. Автоматическое регулирование жидкостных ракетных двигателей. – М.: Машиностроение, 1974. – 396 с.
22. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. – М.: Машиностроение, 1973. – 606 с.
23. Кафаров В.В. Анализ и синтез химико-технологических систем. Учебник для вузов / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин. – М.: Химия, 1991. – 432 с.
24. Кафаров В.В. Принципы математического моделирования химико-технологических систем / В.В. Кафаров, В.Т. Перов, В.П. Мешалкин. – М.: Химия, 1974. – 344 с.
25. Кафаров В.В. Устойчивость химических реакторов. «Процессы и аппараты химической технологии». (Итоги науки и техники) / В.В. Кафаров, В.А. Четкин. – Т. 8, 1980. – С. 77 – 151.
26. Архипов В.А., Усанина А.С., Движение аэрозольных частиц в потоке: Учебн. пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2013. – 92 с.
27. Архипов В.А., Усанина А.С., Движение частиц дисперсной фазы в несущей среде: Учебн. пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2014. – 252 с.
28. Архипов В.А. Физико-химические основы процессов тепломассообмена: Учебн. пособие. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2015. – 199 с.
29. Архипов В.А., Васенин И.М., Усанина А.С., Шрагер Г.Р. Динамическое взаимодействие частиц дисперсной фазы в гетерогенных потоках. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2019. – 328 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– Используются Интернет-ресурсы по работе с программой T-Flex Техно-про, АРМ WinMachine (www.apm.ru). Использование авторских программных продуктов и

комплекта презентаций, программных продуктов научно-технических центров России не предполагает особых требований к программно-аппаратной платформе: операционная система Windows 2000, XP, Vista.

– <http://www.naukaran.ru>; <https://journals.rcsi.science/0040-3571/announcement/view/391> – Журнал «Теоретические основы химической технологии».

– Общероссийская Сеть КонсультантПлюс Справочная правовая система. <http://www.consultant.ru>

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юпайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий практического типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Архипов Владимир Афанасьевич, д.ф.-м.н., профессор, Физико-технический факультет Томского государственного университета, профессор кафедры прикладной газовой динамики и горения

Усанина Анна Сергеевна, к.ф.-м.н., доцент, Физико-технический факультет Томского государственного университета, доцент кафедры динамики полета