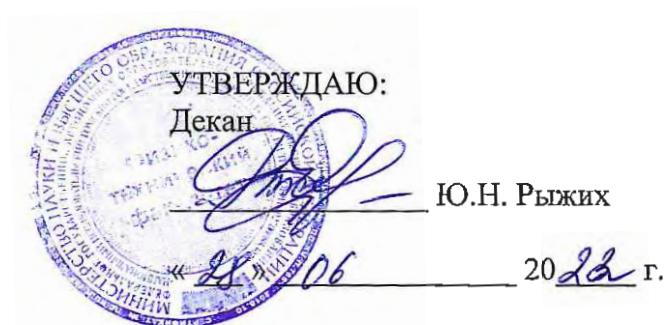


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет



Рабочая программа дисциплины

Химико-технологические системы

по направлению подготовки

15.03.06 Мехатроника и робототехника

Направленность (профиль) подготовки :

Промышленная и специальная робототехника

Форма обучения

Очная

Квалификация

Бакалавр

Год приема

2022

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.08.01

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Г.Р. Шрагер

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2022

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-4 – Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности;
- ПК-1 – Способность составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 4.1 Знать современные информационные технологии и программные средства для моделирования технологических процессов.

ИОПК 4.2 Уметь применять современные информационные технологии при моделировании технологических процессов.

ИОПК 4.3 Иметь навыки использования информационных технологий при моделировании технологических процессов.

ИПК 1.1 Знать основные законы, описывающие функционирование проектируемых объектов.

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 части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

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

Восьмой семестр, зачет

5. Входные требования для освоения дисциплины

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

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

-лекции: 26 ч.

-практические занятия: 28 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), 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 единицы 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:

- ведение конспектов лекций;
- активное участие в обсуждении тем лекционных занятий, ответы на вопросы;
- устный опрос при проверке рефератов, защита курсового проекта.

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

Контрольные вопросы:

1. Основные принципы математического и физического моделирования.
2. Сущность метода анализа размерностей.
3. Основные критерии подобия при анализе ХТС.

4. Критериальные уравнения и способ их получения.
5. Способы изображения схем ХТС.
6. Основные типы технологических связей.
7. Основные элементы математической модели ХТП.
8. Типы химических реакторов.
9. Температурный режим реакторов.
10. Основные понятия химической кинетики.
11. Уравнения неизотермических реакторов идеального смешения.
12. Понятие устойчивости динамических систем, метод Ляпунова.
13. Типы и устойчивость положения равновесия систем второго порядка.
14. Устойчивость химических реакторов.
15. Структура АСУ ХТП.

Темы рефератов:

1. Взаимосвязь физического и математического моделирования ХТС.
2. Получение критериев подобия для конкретного ХТП алгебраическим методом Рэлея и методом обезразмеривания дифференциальных уравнений.
3. Методы математического моделирования ХТП и ХТС.
4. Основные понятия химической кинетики применительно к химическим реакторам.
5. Математические модели реакторов идеального смешения.
6. Математические модели реакторов идеального вытеснения.
7. Метод диаграмм Семенова для анализа стационарных состояний химических реакторов.
8. Устойчивость экзотермических и эндотермических реакторов идеального смешения.
9. Классификация АСУ ХТП по объему априорной и рабочей информации.
10. Анализ АСУ ХТП на примере классической схемы жидкостного ракетного двигателя.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в восьмом семестре проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Первая часть содержит два теоретических вопроса, проверяющие ИОПК-4.1, ИПК-1.1. Ответы на вопросы первой части даются в развернутой форме.

Вторая часть содержит один вопрос, проверяющий ИОПК-4.2, ИОПК-4.3 и оформленный в виде практической задачи. Ответ на вопрос второй части предполагает решение задачи и краткую интерпретацию полученных результатов.

Примерный перечень теоретических вопросов:

1. Основные принципы математического моделирования
2. Основные понятия теории подобия и анализа размерностей.
3. Фазовое пространство и фазовая траектория.
4. Основные принципы физического моделирования.
5. Закон Аррениуса.
6. Основные и вспомогательные операторы при описании ХТС.
7. Метод Рэлея получения критериев подобия.
8. Реактор идеального смешения.
9. Динамические погрешности.

10. Метод анализа дифференциальных уравнений для получения критериев подобия.
11. Реактор идеального вытеснения.
12. Основные гидродинамические модели.
13. Диффузионные модели реакторов.
14. Основные уравнения гидродинамики.
15. π -теорема.
16. Операторное описание схем ХТС.
17. Критерии подобия тепловых процессов.
18. Критерии подобия гидродинамических процессов.
19. Математические модели ХТС.
20. Основные механизмы теплопередачи.
21. Основные типы идеализированных реакторов.
22. Условия Рауса–Гурвица для динамических систем второго и третьего порядка.
23. Классификация химических реакций.
24. Уравнения изотермических реакторов.
25. Уравнения неизотермических реакторов.
26. Гидравлический подход при описании движения сплошных сред.
27. Понятие устойчивости динамических систем.
28. Условия ламинарно-турбулентного перехода.
29. Первый метод Ляпунова.
30. Простые и сложные химические реакции.
31. Классификация положений равновесия динамических систем второго порядка.
32. Энергетические и химические реакторы
33. Основные понятия химической кинетики.
34. Уравнения Навье–Стокса.

Примеры задач:

1. Методом Рэлея получить систему критериев подобия процесса измерения температуры среды термопарой.
2. Определить скорость осаждения сферических частиц диаметром 15.1 мм из материала плотностью 7753 кг/м^3 при температуре 21°C в глицерине.
3. Определить эквивалентные диаметры продолговатых частиц каменного угля и плоских частиц сланца ($\rho_{\text{сл}}=2200 \text{ кг/м}^3$), осаждающихся с одинаковой скоростью $u_{\text{ос}}=0.1 \text{ м/с}$ в воде при 20°C .
4. Каково должно быть расстояние между горизонтальными полками пылесадительной камеры (рис. 2.2), чтобы успевали осаждаться частицы колчеданной пыли диаметром $8 \cdot 10^{-6}$ мм из потока печного газа, расход которого составляет $0.6 \text{ м}^3/\text{с}$ (при нормальных условиях), температура 427°C , вязкость $0.034 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ и плотность 0.5 кг/м^3 . Плотность колчедана 4000 кг/м^3 . Размеры рабочего объема камеры: длина 4.1 м, ширина 2.8 м и общая высота 4.2 м.
5. Рассчитать концентрацию исходного вещества на выходе из i -го реактора и суммарную степень превращения для батареи из 5 реакторов. На входе в 1-ый реактор $C_0=1$, а степень превращения в каждом реакторе одинакова и равна $x_i=0.6$.
6. Нарисовать с помощью технологических связей операторную схему проточного воздушного реактивного двигателя.
7. Определить константы формальной кинетики при лучистом зажигании образца:

Результаты измерения времени задержки зажигания t_{ign} (мс) исследованных образцов ВЭМ в зависимости от плотности теплового потока q (Вт/см^2), осредненные по трем дублирующим экспериментам, приведены в таблице.

Таблица. Времена задержки зажигания исследованных образцов ВЭМ

q , Вт/см ²	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
59.8	137	165	119	110	122	143	137	108	105

8. Безразмерные уравнения материального и теплового баланса для реактора имеет вид:

$$\frac{dx}{d\tau} = -x \exp\left(-\frac{1}{y}\right) + \lambda(x_0 - x)$$

$$\frac{dy}{d\tau} = x \exp\left(-\frac{1}{y}\right) + \mu(y_0 - y)$$

Определить количество стационарных состояний реактора.

9. Безразмерные уравнения материального и теплового баланса для реактора имеет вид:

$$\frac{dx}{d\tau} = -x^2 + y + \lambda(x_0 - x)$$

$$\frac{dy}{d\tau} = x^2 - y + \lambda(y_0 - y)$$

Определить тип положения равновесия и исследовать его устойчивость.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «незачтено».

Критерии оценки знаний студентов:

- Оценка «зачтено» - студент знает программный материал, грамотно и по существу его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения.

- Оценка «не зачтено» - студент не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки.

11. Учебно-методическое обеспечение

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

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

в) План практических занятий по дисциплине.

Тема первого практического занятия: Получение критериев подобия методом анализа размерностей для гидродинамических процессов в ХТС.

Тема второго практического занятия: Получение критериев подобия методом анализа размерностей для тепловых процессов в ХТС.

Тема третьего практического занятия: Гидромеханика неоднородных систем.

Тема четвертого практического занятия: Операторное описание схем ХТС.

Тема пятого практического занятия: Определение констант формальной кинетики.

Тема шестого практического занятия: Исследование устойчивости химических реакторов.

Тема седьмого практического занятия: Исследование устойчивости химических реакторов.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов:

Самостоятельная работа предполагает: работу с теоретическими материалами, повторение пройденного материала по конспектам лекций, ознакомление с рекомендованным списком источников и литературы, подготовка рефератов и докладов (устных выступлений, сообщений, презентаций) по предложенным темам. Успешное освоение программы курса предполагает прочтение ряда оригинальных работ с теоретическими материалами.

Изучение дисциплины следует начинать с проработки тематического плана лекций, уделяя особое внимание структуре и содержанию темы и основным понятиям. По каждому разделу дисциплины предлагаются упражнения и практические занятия. Перед выполнением заданий изучите теорию вопроса, предполагаемого к исследованию. Используйте дополнительную периодическую литературу, специальные журналы, доступные информационные сайты.

Текущая самостоятельная работа студентов направленная на углубление и закрепление знаний, а также развитие практических умений заключается в:

- работе студентов с лекционным материалом;
- подготовке к зачету.

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 всплытии 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. Евсевлев 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:

– Для материально-технического обеспечения дисциплины используется авторский комплект презентаций в формате PowerPoint, который содержит демонстрационные материалы по основным разделам дисциплины. 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.iqlib.ru> – Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знания.
- <http://www.naukaran.ru>; <http://www.maik.ru> – Журнал «Теоретические основы химической технологии».

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 On-eNote, 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 Юрайт – <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 семинарского 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.
- Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате.

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