

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)

Передовая инженерная школа атомного машиностроения  
и систем высокой плотности энергии (ПИШ)

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор ПИШ:  
\_\_\_\_\_ А.В. Тумасов

“19” июня 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ОД.3 «Цифровое проектирование и эксплуатация элементов**  
**цифровых двойников»**  
для подготовки магистров

Направление подготовки: 18.04.01 Химическая технология

Направленность: Техника и технологии водородной энергетики

Форма обучения: Очная

Год начала подготовки: 2024

Выпускающая кафедра: ТЭПиХОВ

Кафедра-разработчик: ТЭПиХОВ

Объем дисциплины: 252/7  
часов/з.е

Промежуточная аттестация: экзамен (1 семестр), зачет с оценкой (2 семестр)

Разработчик: Титов Е.Ю. к.т.н.

Нижний Новгород 2024 год

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 07 августа 2020 г. № 910 на основании учебного плана принятого УМС НГТУ, протокол от 23.04.2024 № 14

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры «Технология электрохимических производств и химии органических веществ»

*Протокол заседания от «20» мая 2024 г. №8*

Зав. кафедрой к.т.н., доцент, Ивашкин Е.Г. \_\_\_\_\_

Рабочая программа рекомендована к утверждению ученым советом института физико-химических технологий и материаловедения

*Протокол заседания от «21» мая 2024 г. №6*

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № 18.04.01-в-16.

Начальник МО \_\_\_\_\_ Н.Р. Булгакова

Заведующая отделом комплектования НТБ

Н.И. Кабанина

*(подпись)*

## Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	3
<b>1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
1.1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	4
1.2. ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....	4
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>7</b>
4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕМЕСТРАМ .....	7
4.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ .....	8
<b>5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>15</b>
<b>6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>16</b>
6.1. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, ПЕЧАТНЫЕ ИЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНОГО ФОНДА .....	16
6.2. СПРАВОЧНО-БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	17
6.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯТИЯМ .....	17
<b>7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>17</b>
7.1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....	18
7.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ.....	18
<b>8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ .....</b>	<b>19</b>
<b>9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>19</b>
<b>10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ. .....</b>	<b>21</b>
10.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	21
10.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЙ ЛЕКЦИОННОГО ТИПА .....	22
10.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ НА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТАХ .....	22
10.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ .....	22
10.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ.....	23
<b>11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>23</b>
11.1. ТИПОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ .....	23
11.2. ТИПОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ В ФОРМЕ ЗАЧЕТА .....	23

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**1.1. Целью освоения дисциплины** являются формирование компетенций необходимых для разработки, внедрения и эксплуатации цифровых двойников технологического оборудования и процессов с целью оптимизации работы химических производств.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):**

- изучение концепции цифровых двойников;
- разработка цифровых моделей технологических процессов и имитационное моделирование химических процессов с использованием специализированного программного обеспечения;
- изучение методов сбора, обработки и анализа данных;
- оценка экономических и экологических эффектов цифровизации в химической технологии.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Учебная дисциплина «Цифровое проектирование и эксплуатация элементов цифровых двойников» в перечень обязательных дисциплин образовательной программы по направлению подготовки 18.04.01 «Химическая технология» направленности (профиля) «Техника и технологии водородной энергетики».

Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП, по данной программе подготовки.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Моделирование нефтехимических процессов», «Общая химическая технология», «Химическая технология природных энергоносителей», «Оборудование нефтехимических производств», «Реакторы нефтехимических производств» в объеме курса бакалавриата.

Полученные знания необходимы для изучения предметов по программе магистратуры «Технологическая практика», «Преддипломная практика», «Научно-исследовательская работа»; подготовке к процедуре защиты и защите выпускной квалификационной работы.

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**3.1. Процесс изучения дисциплины (модуля)** направлен на формирование элементов следующих общепрофессиональных компетенций в соответствии с ОП ВО по специальности: 18.04.01 «Химическая технология».

ПК-5. Способен разрабатывать критерии оценки техники и технологии водородной энергетики; производить необходимый технологический расчет производственных установок; выбирать и обосновывать оптимальные решения в процессе производства и получения водорода

### 3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП

Таблица 1 – Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
		Текущего контроля	Промежуточной аттестации			
ПК-5. Способен разрабатывать критерии оценки техники и технологии водородной энергетики; производить необходимый технологический расчет производственных установок; выбирать и обосновывать оптимальные решения в процессе производства и получения водорода	ИПК-5.1 Разрабатывает критерии оценки техники и технологии водородной энергетики  ИПК-5.2 Производит необходимые технологические расчёты производственных установок	<b>Знать:</b> специализированные сайты размещения научно-технической информации и сайты, связанные с профессиональной деятельностью; подходы к моделированию и проектированию сложных электрохимических систем; принципы управления химико-технологическими процессами; основные типы и возможности системного и прикладного программного обеспечения, методы планирования эксперимента и оптимизации параметров технологических процессов.	<b>Уметь:</b> ставить задачу и разрабатывать алгоритм ее решения; использовать современные информационные технологии для обработки научной информации; выбрать наиболее эффективный способ решения задачи; строить и использовать модели для описания и прогнозирования различных процессов химической технологии; работать с пакетами прикладных программ для расчета химико-технологических систем.	<b>Владеть:</b> навыками релевантного и сложного поиска информации в глобальной сети, навыками самостоятельного приобретения знаний и использования их в практической деятельности; принципами моделирования и управления химико-технологическими процессами; навыками структурного и эмпирического программирования, программными средствами моделирования систем; навыками расчета оптимальных параметров технологического процесса при помощи математических моделей.	Вопросы для устного собеседования: билеты	Вопросы для устного собеседования: билеты

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 7 зач. ед. 252 часа, распределение часов по видам работ и семестрам представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Трудоёмкость		
	Всего час.	В т.ч. по семестрам	
		1 сем	2 сем
<b>Формат изучения дисциплины</b>	очная		
<b>Общая трудоёмкость</b> дисциплины по учебному плану	<b>252</b>	<b>161</b>	<b>91</b>
<b>1. Контактная работа:</b>	<b>108</b>	<b>71</b>	<b>37</b>
1.1. Аудиторная работа, в том числе:	102	68	34
занятия лекционного типа (Л)	17	17	
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практ. занятия и др.)			
лабораторные работы (ЛР)	85	51	34
Контроль (КСР)	6	3	3
<b>1.2. Внеаудиторная, в том числе</b>			
курсовая работа (проект) (КР/КП) (консультация, защита)			
текущий контроль, консультации по дисциплине			
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)			
<b>2. Самостоятельная работа (СРС)</b>	<b>108</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
реферат/эссе (подготовка)			
расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)			
контрольная работа			
курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)			
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям и т.д.)			
Подготовка к экзамену (контроль)	<b>36</b>	<b>36</b>	

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4 – Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)						
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа студентов (час)									
<b>1 семестр</b>														
ПК-5. ИПК-5.1 ИПК-5.2	<b>Раздел 1. Введение в цифровое проектирование и цифровые двойники</b>								Презентация					
	<b>Тема 1.1. Основные концепции цифрового проектирования.</b>				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4]									
	<b>Тема 1.2. Определение, классификация и архитектура цифровых двойников.</b>				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4]									
	<b>Лабораторное занятие 1 по темам 1.1 и 1.2.</b>				6,0	5,0	Подготовка к лабораторным занятиям [6.1.3], [6.2.1], [6.2.2]							
	<b>Тема 1.3. Роль цифровых двойников в химической технологии.</b>				1,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4]								
	<b>Тема 1.4. Обзор современных программных решений</b>				1,0									
	<b>Тема 1.5. Основы математического моделирования химико-технологических процессов.</b>				1,0									

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)						
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия							
	Лабораторное занятие 2 по темам 1.3, 1.4 и 1.5.		11,0		5,0	Подготовка к лабораторным занятиям [6.1.3], [6.2.1]					
	Самостоятельная работа по освоению 1 раздела: реферат, эссе (тема)				8,0						
	расчёто-графическая работа (РГР)										
	контрольная работа										
	Итого по 1 разделу	5,0	17,0		18,0						
	Раздел 2. Разработка цифровых моделей технологического оборудования										
ПК-5. ИПК-5.1 ИПК-5.2	Тема 2.1. Методы численного моделирования и решения инженерных задач.	2,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4]					
	Тема 2.2. Имитационные модели и виртуальные тестовые среды.	2,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4]					
	Тема 2.3. Использование CAD/CAE систем в проектировании.	1,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4]					
	Тема 2.4. Разработка простой имитационной модели технологического процесса.	1,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4]					
	Лабораторное занятие 3 по темам 2.1-2.4		17,0		13,0	Подготовка к лабораторным занятиям [6.1.3], [6.2.5], [6.2.6]					

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)						
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия							
	<b>Самостоятельная работа по освоению 2 раздела:</b>				5,0	Подготовка к лабораторным занятиям [6.3.2]					
	реферат, эссе (тема)										
	расчёто-графическая работа (РГР)										
	контрольная работа										
	<b>Итого по 2 разделу</b>	<b>6,00</b>	<b>17,0</b>		<b>18,0</b>						
ПК-5. ИПК-5.1 ИПК-5.2	<b>Раздел 3. Датчики, сбор и анализ данных в цифровых двойниках</b>										
	Тема 3.1. Основные принципы работы промышленных датчиков и сенсоров IoT.	2,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4]					
	Тема 3.2. Методы сбора, обработки и передачи данных.	2,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4]					
	Тема 3.3. SCADA, DCS и MES системы: автоматизация управления производственными процессами.	2,0				Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4]					
	<b>Лабораторное занятие 4</b> по темам 3.1 - 3.3.		17,0		13,0	Подготовка к лабораторным занятиям [6.1.3], [6.2.1], [6.2.2]					
	<b>Самостоятельная работа по освоению 3 раздела:</b>				5,0						
	реферат, эссе (тема)										

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)						
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия							
	расчёто-графическая работа (РГР)										
	контрольная работа										
	Итого по 3 разделу	6,0	17,0		18,0						
	ИТОГО 2 семестр	17,0	51		54,0						
	<b>2 семестр</b>										
ПК-5. ИПК-5.1 ИПК-5.2	Раздел 1. Интеграция цифровых двойников с системами управления производством						Презентация	Конспект лекций			
	Лабораторное занятие 1 по теме «Настройка простых SCADA-моделей для управления процессом»		5,0		5,0	Подготовка к лабораторным занятиям [6.1.3], [6.2.1], [6.2.2]					
	Лабораторное занятие 2 по теме «Работа с реальными и виртуальными сенсорами в моделях технологического оборудования»		6,0		5,0	Подготовка к лабораторным занятиям [6.1.3], [6.2.1]					
	Самостоятельная работа по освоению 1 раздела:				8,0						
	реферат, эссе (тема)										
	расчёто-графическая работа (РГР)										

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)					Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа				Самостоятельная работа студентов (час)						
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия								
	контрольная работа											
	Итого по 1 разделу		11,0		18,0							
	Раздел 2. Эксплуатация, обслуживание и верификация цифровых двойников											
ПК-5. ИПК-5.1 ИПК-5.2	Лабораторное занятие 3 по теме «Разработка модели оптимизации энергопотребления с использованием цифровых инструментов»		11,	11,0	15	Подготовка к практическим занятиям [6.1.3], [6.2.5], [6.2.6]						
	Самостоятельная работа по освоению 2 раздела:				3,0	Подготовка к практическим занятиям [6.3.2]						
	реферат, эссе (тема)											
	расчёто-графическая работа (РГР)											
	контрольная работа											
	Итого по 2 разделу		11,0		18,0							
ПК-5. ИПК-5.1 ИПК-5.2	Раздел 3. Основы технологического расчета аппаратуры и оборудования											
	Лабораторное занятие 4 по теме «Оценка эффективности внедрения цифрового двойника на примере конкретного		12,0		13,0	Подготовка к практическим занятиям [6.1.3], [6.2.1], [6.2.2]						

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа студентов (час)			
	производства»							
	Самостоятельная работа по освоению 3 раздела:				5,0			
	реферат, эссе (тема)							
	расчёто-графическая работа							
	(РГР)							
	контрольная работа							
	<b>Итого по 3 разделу</b>		12,0		<b>18,0</b>			
	<b>ИТОГО по дисциплине</b>	<b>17,0</b>	<b>85,0</b>		<b>108,0</b>			

## 5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Для осуществления текущего контроля знаний обучающихся сформулированы теоретические вопросы по темам лабораторных работ и примеры заданий для практических работ.

Также сформирован перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию в форме экзамена в 1 семестре и форме зачета с оценкой в 2 семестре.

Указанный комплект оценочных средств является неотъемлемой частью фонда оценочных средств и хранится на кафедре ТЭПи ХОВ.

При промежуточном контроле (экзамен) успеваемость студентов оценивается по четырехбалльной системе «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Таблица 4 – Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» 0-59% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» 60-74% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» 75-89% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» 90-100% от max рейтинговой оценки контроля
ПК-5. Способен разрабатывать критерии оценки техники и технологии водородной энергетики; производить необходимый технологический расчет производственных установок; выбирать и обосновывать оптимальные решения в процессе производства и получения водорода	ИПК-5.1 Разрабатывает критерии оценки техники и технологии водородной энергетики  ИПК-5.2 Производит необходимые технологические расчёты производственных установок	Не готов к осуществлению разработки мероприятий по разработке, внедрению и эксплуатации цифровых двойников технологического оборудования и процессов с целью оптимизации работы химических производств.	Слабо готов к осуществлению разработки мероприятий по разработке, внедрению и эксплуатации цифровых двойников технологического оборудования и процессов с целью оптимизации работы химических производств.	Хорошо готов к осуществлению разработки мероприятий по разработке, внедрению и эксплуатации цифровых двойников технологического оборудования и процессов с целью оптимизации работы химических производств.	Абсолютно готов к осуществлению разработки мероприятий по разработке, внедрению и эксплуатации цифровых двойников технологического оборудования и процессов с целью оптимизации работы химических производств.

Таблица 5 – Критерии оценивания

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку « <b>отлично</b> » заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку « <b>хорошо</b> » заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку « <b>удовлетворительно</b> » заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку « <b>неудовлетворительно</b> » заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда, электронные издания.

№ п/п	Автор(ы)	Заглавие	Издательство, год издания	Назначение, вид издания, гриф	Кол-во экз. в библиотеке
6.1.1.	Абрамова Л.И., Наволокина Р.А., Данов С.М.	Материальные расчёты технологических процессов переработки природных энергоносителей. Химические процессы	Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева Н. Новгород. 2015. - 204 с.	Учебное пособие	7
6.1.2.	Кабалдин Ю.Г., Шатагин Д.А., Аносов М.С., Желонкин М.В.	Искусственный интеллект, интернет вещей, облачные	Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева Н. Новгород.	Учебное пособие	1

		технологии и цифровые двойники в современном механообрабатывающем производстве	2023. - 170 с.		
6.1.3.	Колесов К.И., Лимаренко В.И., Клятецкий С.А., Леонтьев Н.Я., Юрлов Ф.Ф.	Цифровая экономика	Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева Н. Новгород. 2020. - 130 с.	Учебное пособие	2
6.1.4.	Кабалдин Ю.Г., Шатагин Д.А., Колчин П.В.	Управление киберфизическим и механообрабатывающими системами в цифровом производстве на основе искусственного интеллекта и облачных технологий	Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева Н. Новгород. 2019. - 196 с.	Монография	7
6.1.5.	Ульянов В.М., Сидягин А.А., Диков В.А.	Технологические расчеты машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств. Примеры и задачи.	Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева Н. Новгород. 2015. - 632 с.	Учебное пособие	14

## 6.2. Справочно-библиографическая литература

№ п/п	Автор(ы)	Заглавие	Издательство, год издания	Назначение, вид издания, гриф	Кол-во экз. в библиотеке
6.2.1.	Герасимова И.А., Смирнова О.М., Фалеев А.Н., Филатова М.Н., Юдина М.Е.	Проблемы и риски инженерного образования в XXI веке	РГУ нефти и газа им.И.М.Губкина, Ин-т философии РАН, - М. : Унив.кн., 2017. - 309 с	Монография	1
6.2.2.	Белоусов В.В.	Теория процессов и аппаратов очистки газов	М.: Изд. Дом МИСиС, 2008.	Учебно-метод. пособие	2

## 6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

Методические указания к практическим работам по курсу «Цифровое проектирование и эксплуатация элементов цифровых двойников» для магистрантов направления 18.04.01 –«Химическая технология» магистерская программа «Техника и технологии водородной энергетики» находятся на кафедре ТЭПиХОВ.

## 7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

### **7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Электронный ресурс библиотеки НГТУ (<https://e.lanbook.ru/>)Лань : электронно-библиотечная система. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.tolgas.ru/>. - Загл. с экрана.
3. Электронно-библиотечная система Znaniум.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.
4. Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/>. - Загл с экрана.
5. Polpred.com. Обзор СМИ. Полнотекстовая, многоотраслевая база данных (БД) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://polpred.com/>. – Загл. с экрана.
6. Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.
7. Университетская информационная система Россия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uisrussia.msu.ru/>. – Загл. с экрана.

### **7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Таблица 6 – Перечень электронных библиотечных систем

№	Наименование ЭБС	Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС
1	Консультант студента	<a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>
2	Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
3	Юрайт	<a href="https://biblio-online.ru/">https://biblio-online.ru/</a>
4	TNT-ebook	<a href="https://www.tnt-ebook.ru/">https://www.tnt-ebook.ru/</a>

В таблице 7 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Таблица 7 – Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	База данных стандартов и регламентов РОССТАНДАРТ	<a href="https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts">https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts</a>

2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	<a href="https://cyberpedia.su/21x47c0.html">https://cyberpedia.su/21x47c0.html</a>
---	---	---

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 8 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации»<https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

Таблица 8 – Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «iОрайт»	версия для слабовидящих

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

№	Наименование аудиторий и помещений кафедры	Оснащенность аудиторий и помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	1160 Компьютерный класс (для проведения занятий лабораторного и практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, для самостоятельной работы студентов, курсового проектирования, выполнения курсовых работ); 603155, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул.	1. Доска магнитно-маркерная; 2. Рабочее место преподавателя; 3. Рабочее место студента - 12 чел. 4 Персональные компьютеры, Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU @ 3.30 GHz 4,00 ГБ ОЗУ /HDD 500, в составе локальной вычислительной сети, с подключением к интернету. (10 шт.) 5. Персональные компьютеры, Intel(R) Pentium(R) CPU G2030 @ 3.00 GHz 4,00 ГБ ОЗУ /HDD 1000, в составе локальной вычислительной сети, с подключением к интернету. (3	1. Windows SL 8.1 (подписка Dr. Spark Prem. 700087777); (13 шт) 2. Adobe Acrobat Reader X (Freeware); 3. Ms Office St 2013 (Ms Open License № 62381369) (13 шт); 4. Ms Access 2007(Dr. Spark Prem. 700087777) (13 шт); 5. AutoCAD 2019 (Сетевая серв.lic5 (НГТУ)) (13 шт); 6. Dr.Web (Обще институт. подписка) (15 шт); 7. ZView (Freeware); 8. AnyLogic (Free PLE ); 9. Deductor Academic

№	Наименование аудиторий и помещений кафедры	Оснащенность аудиторий и помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
	Минина, дом 24, корп. 1	шт.) 6. Персональные компьютеры, Intel(R) Core(TM)2 CPU 6320 @ 1.86 GHz 1,00 ГБ ОЗУ /HDD 159,9, в составе локальной вычислительной сети, с подключением к интернету. (2 шт.); 7. Многофункциональный аппарат Xerox work center PE 220 8. Принтер HP LaserJet 1020	(бесплатная некоммерческая версия Deductor); 10. VirtualBox (Free); 11. Cell-Design (Demo); 12. Малая ЭС 2.0 (Free); 13. ADTester (Free); 14. DBSolveOptimum (Free); 15. MSOffice 2007 Standard Russian Academic OPEN No Level (Microsoft Open License Academic № 45990647 (бессрочная)) (1 шт.); 16. WinXP (Dream Spark Premium 700087777) (2 шт.); 17. ABBYY Fine Reader 9.0 Corporate Edition (AF90-3S1P03-102 бессрочная) (1 шт.); 18. Zoom (Free) (1 шт.).
4	1345 Мультимедийная аудитория (для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации) (кафедра «Технология электрохимических производств и химии органических веществ»), 603155, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Минина, дом 24, корп. 1	1. Доска меловая; 2. Экран настенный; 3. Рабочее место преподавателя; 4. Рабочее место студента - 28 чел. 5. Мультимедийный проектор Epson ER; 6. Персональный компьютер, Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU @ 3.30 GHz 4,00 ГБ ОЗУ /HDD 500.	1. Windows SL 8.1 (подписка Dr. Spark Prem, договор № 0509/KMP от 15.10.18); 2. Dr. Web (с/н ZNFC-CR5D-5U3U-JKG от 20.05.2024) Распространяемое по свободной лицензии: 3 Adobe Acrobat Reader X (Freeware); 4. P7 офис 5. Zoom (Free) (1 шт.)
5	1222 Лабораторный зал Учебная лаборатория (для проведения занятий лабораторного и практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации) (кафедра «Технология	1. Доска меловая; 2. Термостат; 3. Прибор для определения температуры плавления; 4. Рефрактометр ИРФ-454Б; 5. Весы лабораторные ShinkoDenshi AJ-420CE; AJ-220 CE; 6. Аппарат для разгонки нефти и нефтепродуктов - АРН-ЛАБ-11;	

№	Наименование аудиторий и помещений кафедры	Оснащенность аудиторий и помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
	электрохимических производств и химии органических веществ»), 603155, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Минина, дом 24, корп. 1	7. Аппарат испытательный для определения анилиновой точки нефтепродуктов АТ-ПХП; 8. Автоматический аппарат для определения температуры вспышки в закрытом тигле ТВ3-ЛАБ-12 (ЛОИР LP093А2); 9. Аппарат для определения смол выпариванием струёй воздуха ТОС-ЛАБ-02 (ЛОИР LP-381); 10. Ротационный испаритель RE-2000. 11 Прибор для определения температуры плавления; 12 Рефрактометр ИРФ-454Б; 13 Весы лабораторные ShinkoDenshi AJ-420CE; AJ-220 CE;	
6	1222-6 Научно-исследовательская лаборатория для проведения лабораторных работ по органическому синтезу (кафедра "Технология электрохимических производств и химии органических веществ")	Газовый хроматограф Кристал 5000.2 с персональным компьютером, Intel Pentium CPU G3240 с подключением к интернету Газовый хроматограф Konik HRGC5000B с персональным компьютером, Intel Pentium Dual-Core	1. Windows 10 Домашняя (поставлялся вместе с ГХ Кристалл 5000.2); 2. Хроматэк Навигатор 3. Windows XP, Prof, 2002; 4. Konik Plus

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии**

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся, написания реферата и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная.

При преподавании дисциплины «Цифровое проектирование и эксплуатация элементов цифровых двойников», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Для студентов создан краткий опорный электронный вариант лекционного материала курса. Электронный конспект находится на кафедре «ТЭП и ХОВ» и может быть получен студентом в случае пропусков занятий по уважительным причинам или вынужденного перевода занятий в дистанционную форму.

На лекциях, практических и лабораторных занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-

ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на лабораторных занятиях, практических занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч с студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, Skype, Zoom.

Инициируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Промежуточная аттестация и оценка знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенций проводится в форме зачета с оценкой.

**Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

**Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий

**Результат обучения считается несформированным**, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует допороговому уровню.

## **10.2. Методические указания для занятий лекционного типа**

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 3). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям и выполнения заданий самостоятельной работы, а также промежуточной аттестации по дисциплине.

## **10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах**

Подготовку к каждой лабораторной работе студент должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Каждая выполненная работа с оформленным отчетом и подлежит защите у преподавателя.

При оценивании лабораторных работ учитывается следующее:

- качество выполнения экспериментально-практической части работы и степень соответствия результатов работы заданным требованиям;
- качество оформления отчета по работе;
- качество устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

#### **10.4. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях**

Практические занятия отсутствуют.

#### **10.5. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся**

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (указано в разделе 9). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

Развернутые методические указания по всем видам работы студента находятся на кафедре «ТЭПиХОВ».

### **11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для текущего контроля знаний студентов по дисциплине проводится **комплексная оценка знаний**, включающая

- проведение контрольных работ;
- теоретический опрос и защита отчетов по лабораторным работам;
- экзамен;

#### **11.1. Типовые вопросы для лабораторных работ**

Контрольные вопросы для лабораторных работ приведены в учебно-методических пособиях по проведению лабораторных работ.

#### **11.2. Типовые вопросы для промежуточной аттестации в форме экзамена**

1. Определение и классификация цифровых двойников. Основные функции цифрового двойника в химическом производстве.
2. Архитектура цифрового двойника: ключевые компоненты и их функции. Современные платформы для создания цифровых двойников.

3. Основы математического моделирования химико-технологических процессов. Примеры успешного применения цифровых двойников в химической технологии.
4. Методы численного решения задач химической технологии. Имитационные модели и их применение в цифровых двойниках.
5. Использование CAD/CAE-систем для проектирования оборудования. Особенности моделирования реакторов в цифровых двойниках.
6. Создание цифровых моделей теплообменников и колонного оборудования.
7. Основные типы промышленных датчиков и сенсоров, используемых в цифровых двойниках. Технологии сбора, обработки и передачи данных в цифровом проектировании.
8. Методы анализа больших данных (Big Data) в управлении химическими процессами. Роль искусственного интеллекта в прогнозировании работы технологического оборудования.
9. Принципы работы и настройки цифровых сенсоров для технологических процессов. Применение машинного обучения для предиктивной диагностики химического оборудования.
10. Принципы работы и настройки цифровых сенсоров для технологических процессов.
11. Основные функции SCADA, DCS и MES в управлении химическими производствами. Взаимодействие цифровых двойников с ERP-системами и их роль в управлении предприятием.
12. Интеграция цифровых двойников с киберфизическими системами и промышленным IoT.
13. Основные принципы организации облачного хранения данных в цифровых двойниках. Примеры автоматизации химических процессов с использованием цифровых двойников.
14. Методы верификации и валидации цифровых двойников. Подходы к тестированию цифровых моделей технологических процессов.
15. Влияние цифровых двойников на безопасность химического производства. Методы диагностики состояния оборудования на основе цифровых моделей.