



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

  
УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЭиАС  
В.Р. Храмшин  
04.02.2025 г.



  
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ**

Направление подготовки (специальность)  
22.04.02 Metallurgy

Направленность (профиль/специализация) программы  
Искусственный интеллект в металлургии

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт энергетики и автоматизированных систем
Кафедра	Автоматизированных систем управления
Курс	1
Семестр	2

Магнитогорск  
2025 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 22.04.02 Metallургия (приказ Минобрнауки России от 24.04.2018 г. № 308)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Автоматизированных систем управления  
29.01.2025, протокол № 6

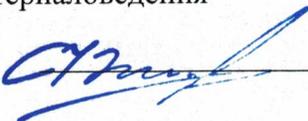
Зав. кафедрой  С.М. Андреев

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС  
04.02.2025 г. протокол № 3

Председатель  В.Р. Храмшин

Согласовано:

Зав. кафедрой Литейных процессов и материаловедения

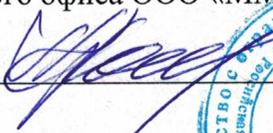
 Н.А. Феоктистов

Рабочая программа составлена:

зав. кафедрой АСУ, д-р техн. наук  С.М. Андреев

Рецензент:

Старший менеджер группы управления проектами производственной площадки проектного офиса ООО «ММК-Информсервис», канд. техн. наук

 А.В. Краснобаев



## Лист актуализации рабочей программы

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Автоматизированных систем управления

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ С.М. Андреев

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Автоматизированных систем управления

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ С.М. Андреев

## 1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины «Разработка цифровых двойников металлургических процессов» являются развитие профессиональных компетенций в области применения математического аппарата и вычислительных методов создания цифровых двойников металлургических технологий в области производства литых изделий, а также проведения вычислительных экспериментов и интеграции цифровых двойников в систему управления технологией.

## 2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Разработка цифровых двойников металлургических процессов входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Методология и методы научного исследования

Основы прочностного расчета в литейном производстве

Прикладная термодинамика и кинетика

Организация, математическое планирование и проведение эксперимента

Искусственный интеллект и машинное обучение

Основы программирования на языке Python

Современные методы исследования материалов и процессов

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Разработка цифровых двойников металлургических процессов» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-9	Способен руководить проектами по созданию систем искусственного интеллекта с применением новых методов и алгоритмов машинного обучения со стороны заказчика
ПК-9.1	Руководит работой по применению искусственного интеллекта со стороны заказчика Знает: возможности современных инструментальных средств и систем программирования для решения задач машинного обучения; Умеет: проводить сравнительный анализ и осуществлять выбор инструментальных средств для решения задач машинного обучения; Имеет практический опыт: участия в проектах по изучению опыта использования искусственного интеллекта с применением новых методов и алгоритмов машинного обучения в металлургии
ПК-10	Способен руководить проектами со стороны заказчика по созданию, поддержке и использованию системы искусственного интеллекта на основе нейросетевых моделей и методов
ПК-10.1	Руководит работами по оценке и выбору моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения поставленных задач со стороны заказчика Знает: функциональность современных инструментальных средств и систем программирования в области создания моделей искусственных нейронных сетей, в том числе сетей-трансформеров и сетей с автоматически генерируемой архитектурой

	<p>Умеет: проводить оценку и выбор моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения задач машинного обучения</p> <p>Умеет: умеет применять современные инструментальные методы и средства обучения моделей искусственных нейронных сетей</p>
ПК-10.2	<p>Руководит созданием систем искусственного интеллекта на основе моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств со стороны заказчика</p> <p>Знает: принципы построения систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей, методы и подходы к планированию и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта;</p> <p>Умеет: руководить выполнением коллективной проектной деятельности для создания, поддержки и использования систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей;</p> <p>Имеет практический опыт: участия в проектах по изучению опыта использования искусственного интеллекта с применением нейросетевых моделей и методов в металлургии; участия в проектах по изучению опыта использования искусственного интеллекта с применением нейросетевых моделей и методов в металлургии; по оценке и выбору моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения поставленных задач</p>

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 академических часов, в том числе:

- контактная работа – 30,1 академических часов;
- аудиторная – 30 академических часов;
- внеаудиторная – 0,1 академических часов;
- самостоятельная работа – 113,9 академических часов;
- в форме практической подготовки – 0 академических часов;

Форма аттестации - зачет с оценкой

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в академических часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Основы разработки динамических моделей технологических процессов								
1.1 Типы математических моделей процессов и систем. Динамические модели.	2			2	6	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-9.1, ПК-10.1, ПК-10.2
1.2 Методы численного решения дифференциальных уравнений динамических систем				4	8	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-9.1, ПК-10.1, ПК-10.2
1.3 Методика проектирования математической модели динамической системы. Пакеты прикладных программ реализации динамических моделей.				4	12	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-9.1, ПК-10.1, ПК-10.2
1.4 Математическое описание элементов цифрового двойника				4	18	Изучение литературы. Подготовка к	Устный опрос по результатам практической	ПК-9.1, ПК-10.1, ПК-10.2

						выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	работы	
Итого по разделу				14	44			
2. Типы и структура цифрового двойника технологического процесса								
2.1 Структура, элементы структуры цифрового двойника технологического процесса. Пакеты прикладных программ для разработки цифровых двойников.	2			4	18	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-9.1, ПК-10.1, ПК-10.2
2.2 Цифровые двойники непрерывных процессов. Статические модели цифровых двойников.				4	18	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-9.1, ПК-10.1, ПК-10.2
2.3 Методика разработки цифрового двойника непрерывного процесса				4	12	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-9.1, ПК-10.1, ПК-10.2
2.4 Использование методов искусственного интеллекта при разработке цифровых двойников. Интеграция моделей методов ИИ в цифровой двойник процесса.				4	8	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-9.1, ПК-10.1, ПК-10.2
Итого по разделу				16	69,9			
Итого за семестр				30	100		зао	
Итого по дисциплине				30	113,9		зачет с оценкой	

## **5 Образовательные технологии**

Традиционные образовательные технологии – практические работы.

Технологии проблемного обучения – проблемные лекции является результатом усвоения полученной информации посредством постановки проблемного вопроса и поиска путей его решения; практические занятия с использованием проблемного обучения, которое заключается в стимулировании студентов к самостоятельной «добыче» знаний, необходимых для решения конкретной проблемы. Практическое занятие на основе кейс-метода – обучение в контексте моделируемой ситуации, воспроизводящей реальные условия научной, производственной, общественной деятельности. Обучающиеся должны проанализировать ситуацию, разобраться в сути проблем, предложить возможные решения и выбрать лучшее из них.

Технологии проектного обучения – организация образовательного процесса в соответствии с алгоритмом поэтапного решения проблемной задачи или выполнения учебного задания. Студенты в составе группы выполняют исследовательский проект, в котором производят научные исследования по заданной теме в рамках изучаемых в дисциплине. Результаты исследования представляют в форме устного доклада.

Информационно-коммуникационные образовательные технологии – в ходе проведения лекционных занятий предусматривается использование электронного демонстрационного материала (лекции-визуализации), использование Интернет ресурсов для промежуточных аттестаций и проверки остаточных знаний

Лекционный материал закрепляется в ходе практических работ, на которых выполняются групповые или индивидуальные задания по пройденной теме.

Самостоятельная работа стимулирует студентов к самостоятельной проработке в процессе подготовки к устному опросу, тестированию и итоговой аттестации.

В ходе проведения лекционных занятий предусматривается:

- использование электронного демонстрационного материала по современной измерительной технике;
- использование электронных учебников по отдельным темам занятий;
- активные и интерактивные формы обучения: вариативный опрос, дискуссии, устный опрос, тестовый опрос, индивидуальный доклад по результатам выполнения практической работы и т. д.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) Основная литература:**

1. Андрейчиков, А. В. Интеллектуальные цифровые технологии концептуального проектирования инженерных решений : учебник / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 511 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование: Магистратура). — DOI 10.12737/textbook\_5cde57b7228885.60898513. - ISBN 978-5-16-014884-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/1964976> (дата обращения: 28.03.2025). – Режим доступа: по подписке.

2. Сулейманов, М. Д. Цифровая экономика : учебник / М. Д. Сулейманов. — Сочи : РосНОУ, 2020. — 356 с. — ISBN 978-5-89789-149-8. — Текст : электронный //

Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/162182> (дата обращения: 15.02.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**б) Дополнительная литература:**

1. Инженерные прикладные программы : учебное пособие / составители Е. В. Хардина, С. С. Вострикова. — Ижевск : Ижевская ГСХА, 2020. — 64 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/158599> (дата обращения: 15.02.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Хижняков, Ю. Н. Нечеткое, нейронное и гибридное управление : учебное пособие / Ю. Н. Хижняков. — Пермь : ПНИПУ, 2013. — 303 с. — ISBN 978-5-398-01107-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/160818> (дата обращения: 15.02.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Гуриков, С. Р. Основы алгоритмизации и программирования на Python : учебное пособие / С.Р. Гуриков. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2021. — 343 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-00091-553-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1217737> (дата обращения: 15.02.2025). – Режим доступа: по подписке.

**в) Методические указания:**

1. Жуков, Р. А. Язык программирования Python: практикум : учебное пособие / Р.А. Жуков. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 216 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI 10.12737/textbook\_5cb5ca35aaa7f5.89424805. - ISBN 978-5-16-016971-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1689648> (дата обращения: 15.02.2025). – Режим доступа: по подписке.

2. Андреев, С.М. Методы математического моделирования промышленных и мехатронных систем управления: практикум [Текст]: учебное пособие / С.М. Андреев, В.Р. Гасияров. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. 105 с. ISBN 978-5-9967-1739-2

3. Андреев, С. М. Моделирование объектов и систем управления : учебное пособие / С. М. Андреев ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3337.pdf&show=dcatalogues/1/1138496/3337.pdf&view=true> (дата обращения: 14.02.2025). - Макрообъект. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-9967-1028-7. - Сведения доступны также на CD-ROM.

**г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

### Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
7Zip	свободно	бессрочно
Виртуальный стенд системы автоматического управления технологическим параметром	свидетельство №2013612340	бессрочно
Scilab Computation Engine	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Anaconda Python	свободно	бессрочно
LibreOffice	свободно	бессрочно
Tex Live	свободно	бессрочно
Texmaker	свободно	бессрочно
MS Visual Studio Code	свободно распространяемое ПО	бессрочно
MAXIMA	свободно	бессрочно
Браузер Mozilla Firefox	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Calculate Linux Desktop Xfce	свободно распространяемое ПО	бессрочно
FAR Manager	свободно	бессрочно
Ред ОС	Сертификат №01-04\22 от 06.05.2022	06.05.2025
MS Windows 10 Pro	К-79-21 от 22.11.2021	бессрочно
Lazarus	свободно	бессрочно

### Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Российская Государственная библиотека. Каталоги	<a href="https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/">https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И.	<a href="https://host.megaprolib.net/MP0109/Web">https://host.megaprolib.net/MP0109/Web</a>

## **9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа

(Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации). ауд. 450

Помещения для самостоятельной работы обучающихся (Персональные компьютеры с пакетом MS Office, LibreOffice, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета)

Учебные аудитории для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточных консультаций (Доска, мультимедийный проектор, экран) ауд. 450

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования (Стеллажи для хранения учебно-методической документации) ауд. 445

Учебная аудитория для проведения практических занятий: компьютерный класс (Персональные компьютеры с пакетом MS Office, LibreOffice, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета) ауд. 448

**6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся.**

По дисциплине «Разработка цифровых двойников металлургических процессов» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Аудиторная самостоятельная работа студентов на практических занятиях происходит под контролем преподавателя в ходе выполнения практических работ, при решении задач и выполнении упражнений, которые для студентов определяет преподаватель.

Внеаудиторная самостоятельная работа осуществляется в виде проработки материала практических занятий, выполнения домашних заданий и при консультациях с преподавателем.

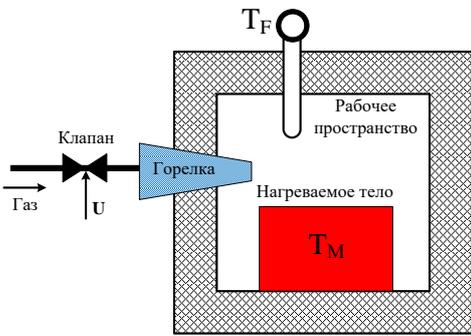
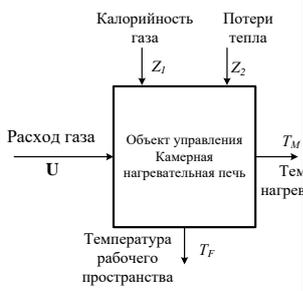
Тема практической работы	Вопросы для устного опроса
Операторы и функции языка Python	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Перечислите операторы языка Python</li> <li>2. Вычислите выражение <math>a+b^2</math>, используя ввод значений с терминала</li> <li>3. Что такое конкатенация строк? Приведите пример конкатенации.</li> </ol>
Циклы и ветвления	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Получите в форме таблицы решение уравнения <math>y = ax^2 + bx + c</math></li> <li>2. Какие виды циклов используются. Приведите блок-схемы всех видов циклов.</li> <li>3. Что такое ветвление в программе? Какие виды ветвления используются? Приведите примеры ветвлений.</li> <li>4. Что такое рекурсия? Приведите пример рекурсивного алгоритма.</li> </ol>
Обработка данных	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как получить данные из внешнего источника?</li> <li>2. Как выполнить сортировку данных? Приведите блок-схему алгоритма сортировки.</li> <li>3. Как провести определения статистических параметров данных? Приведите примеры статистической обработки.</li> </ol>
Использование библиотек	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как загрузить библиотеку для использования её функций?</li> <li>2. Какие библиотеки используются для статистической обработки, математических вычислений и визуализации данных?</li> <li>3. Используя библиотечные функции определите коэффициенты регрессионного уравнения</li> <li>4. Решите систему линейных уравнений используя функции библиотеки numpy.</li> </ol>
Визуализация данных	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какие формы визуализации данных можно получить через библиотеку?</li> <li>2. Как на графиках с экспериментальными данными указать величину среднеквадратичного отклонения? Приведите пример.</li> <li>3. По заданному набору данных постройте гистограмму распределения плотности вероятности. Добавьте на</li> </ol>

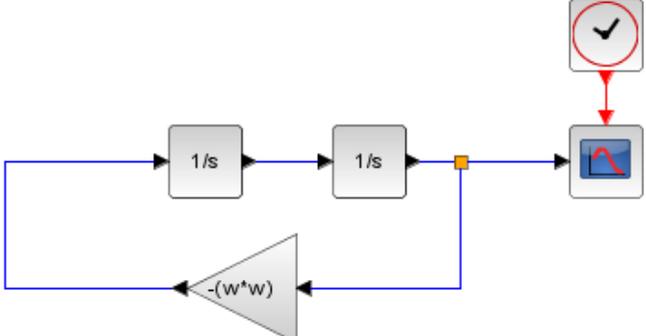
Тема практической работы	Вопросы для устного опроса
	диаграмму обозначения столбцов
Методы машинного обучения и обработки данных	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Перечислите основные виды выделяются в машинном обучении. Поясните каждый вид машинного обучения и приведите пример.</li> <li>2. Какие ключевые задачи выделяют в методах машинного обучения?</li> <li>3. Какие библиотеки реализуют машинное обучение?</li> <li>4. Приведите примеры задач, решаемых классическими методами машинного обучения. Приведите пример программы выполняющей классификацию данных</li> </ol>
Постановка эксперимента и статистический анализ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что такое активный и пассивный эксперимент?</li> <li>2. Как сформировать матрицу планирования эксперимента первого порядка? Приведите пример</li> <li>3. Про заданным данным проведенного эксперимента определите уравнения статистической зависимости. Приведите пример программы реализации определения статистической модели процесса.</li> <li>4. Какие основные критерии адекватности используются для оценки адекватности полученной статистической модели. Приведите примеры оценки адекватности для коэффициентов уравнения и самой модели</li> </ol>
Методы искусственного интеллекта	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Перечислите классификацию методов искусственного интеллекта.</li> <li>2. В каких областях могут использоваться различные классы интеллектуальных систем?</li> <li>3. Какие виды обучения и для каких классов систем используются методы искусственного интеллекта?</li> </ol>
Реализация искусственной нейронной сети	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что такое персептрон? Какие элементы входят в персептрон?</li> <li>2. Что такое активационная функция? Приведите основные варианты активационных функций</li> <li>3. Какую функцию выполняют «веса» нейрона?</li> <li>4. Что такое скрытый слой персептрона?</li> <li>5. Для каких целей используется обучающая выборка? Как необходимо формировать обучающую выборку?</li> <li>6. Как формировать динамические элементы с использованием искусственной нейронной сети?</li> <li>7. Какой способ используется для обучения нейронной сети? В чем заключается основная идея этого способа?</li> <li>8. Запишите в общем виде выражение для расчета ошибки в скрытых слоях ИНС</li> </ol>
Модели статических систем	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что такое статическая характеристика системы?</li> <li>2. Приведите классификацию статических характеристик систем?</li> <li>3. Запишите уравнение статической характеристики в общем виде в форме полинома n-ой степени</li> <li>4. Какие методы используются для определения коэффициентов полинома статической характеристики по экспериментальным данным?</li> </ol>

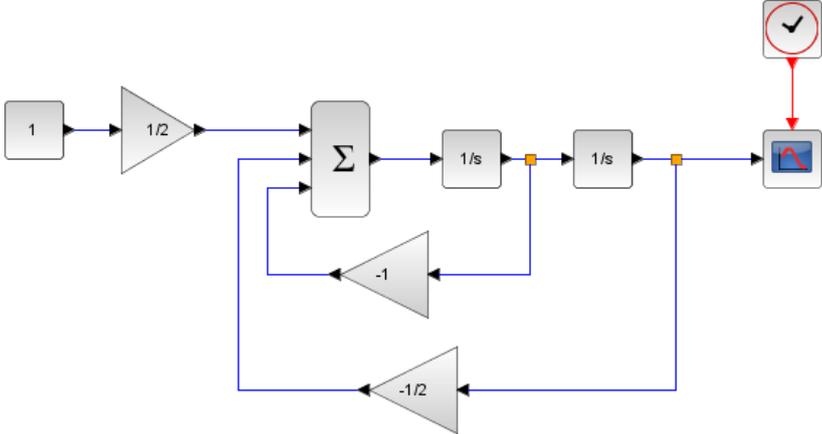
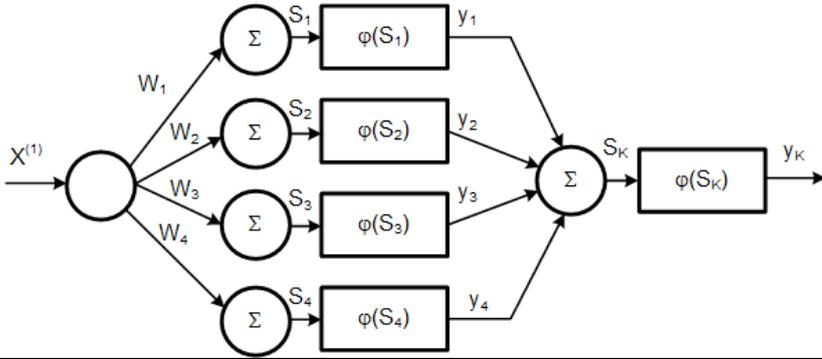
Тема практической работы	Вопросы для устного опроса
	5. Запишите функционал метода наименьших квадратов. 6. Приведите блок-схему поискового алгоритма определения коэффициентов полинома регрессионного уравнения. 7. Что такое линия регрессии? 8. Запишите формулы для определения коэффициентов регрессионного уравнения методом Крамера.
Решение дифференциальных уравнений в системе визуального моделирования	1. Общая структура решения дифференциального уравнения в форме структурной схемы 2. Как задать начальные значения интеграторов? 3. Какие визуальные звенья используются для моделирования динамических систем? 4. Как выбирается численный метод интегрирования? 5. Как задается время интегрирования? 6. Как задать масштаб графика функции?
Численные методы решения дифференциальных уравнений динамических систем	1. Что такое дифференциальное уравнение? 2. По каким признакам производится классификация дифференциальных уравнений? 3. Что такое обыкновенное дифференциальное уравнение? Запишите пример? 4. Какое дифференциальное уравнение называется уравнением в частных производных? 5. В чем отличие линейных дифференциальных уравнений от не-линейных? Приведите примеры дифференциальных уравнений этих видов. 6. Что такое однородные дифференциальные уравнения? Приведите пример линейного однородного дифференциального уравнения. 7. Какой вид дифференциальных уравнений называется нормальным? Приведите пример такой записи. 8. Запишите в общем виде систему уравнений первого порядка разрешенных относительно производных. Как запишется такая система в векторной форме? 9. Приведите пример записи дифференциального уравнения n-ого порядка разрешенное относительно старшей производной в форме системы уравнений первого порядка. 10. В какой форме получают решения дифференциальных уравнений при использовании численных методов? 11. Какое преимущество численных методов? /В чем состоит недостаток использования численных методов при получении решения дифференциального уравнения? 12. Что называют узлами сетки при построении численной схемы решения дифференциальных уравнений?
Математические модели систем в форме «вход-выход» с использованием передаточных функций типовых элементов	1. Запишите передаточные функции типовых элементов 2. Запишите выражения для частотных характеристик типовых звеньев 3. Запишите выражения для временных характеристик типовых звеньев. 4. Запишите алгоритм получения численного расчета временных характеристик 5. Сравните временные характеристики типовых звеньев,

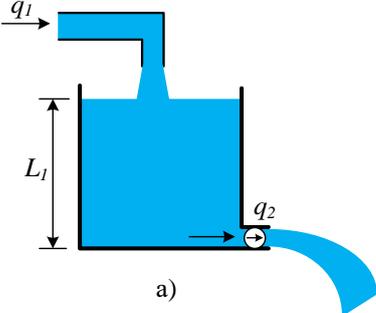
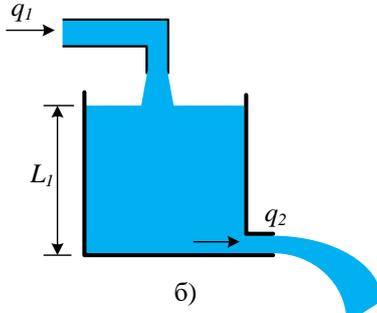
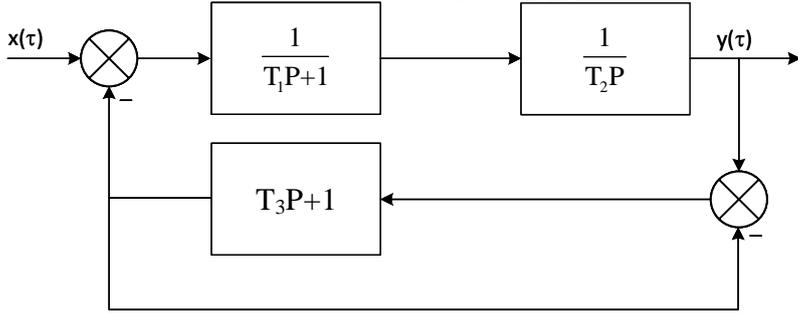
Тема практической работы	Вопросы для устного опроса
	<p>полученных аналитически с характеристиками, полученными численным способом.</p> <p>6. Как сформировать схемы в пакете визуального моделирования для получения временных характеристик?</p> <p>7. Какие формы построение динамических элементов используются в среде SciLab?</p>
<p>Модельно-ориентированная разработка элементов цифровых двойников в системах визуального моделирования</p>	<p>1. Как реализовать ПИ-регулятор в SciLab/XCOS с ограничением на величину, формируемую интегрирующей частью? Приведите пример структурной схемы.</p> <p>2. Как реализовать в SciLab/XCOS исполнительный механизм с ограничением на диапазон хода вала? Приведите пример структурной схемы.</p> <p>3. Как формируется нелинейная статическая характеристика в SciLab/XCOS.</p> <p>4. Приведите схему реализации ШИМ для управления исполнительным механизмом постоянной скорости. Какое назначение этого элемента в конуре?</p> <p>5. Приведите структуру контура с объектом с самовыравниванием</p> <p>6. Приведите структуру контура с объектом без самовыравнивания</p> <p>7. Как моделируются технические средства входящие в состав в контуре регулирования?</p>
<p>Математическое моделирование цифрового двойника процесса нагрева теплотехнически массивного тела</p>	<p>1. Какие процессы являются процессами с распределенными параметрами?</p> <p>2. Какой класс дифференциальных уравнений описывает поведение объектов с распределенными параметрами?</p> <p>3. Что такое сеточная функция? Для каких целей используются сеточные функции?</p> <p>4. Чем отличается явная схемы численного решения уравнения модели с распределенными параметрами от неявной?</p> <p>5. Чем определяется точность решения численным методом для моделей объектов с распределенными параметрами?</p>
<p>Цифровые двойники дискретных процессов</p>	<p>1. Какой класс математических моделей используется для построения цифровых двойников дискретных процессов?</p> <p>2. Как производится запись и реализация переключающей функции?</p> <p>3. Как производится формирование и передача сигналов цифровой тени процесса?</p>
<p>Технологические контроллеры</p>	<p>1. Какую функцию выполняют технологические контроллеры в сборе данных с реального процесса?</p> <p>2. Приведите структурную схему процесса с цифровым двойником и технологическим контроллером?</p> <p>3. Как передаются данные цифровой тени в технологический контроллер? Какие технические средства для этого используются?</p>

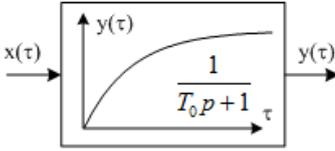
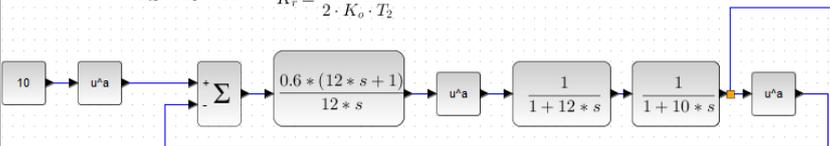
7. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
<b>ПК-9: Способен руководить проектами по созданию систем искусственного интеллекта с применением новых методов и алгоритмов машинного обучения со стороны заказчика</b>		
ПК-9.1:	<p>ПК-9.1:</p> <p>Руководит работой по применению искусственного интеллекта со стороны заказчика</p> <p>Знает: возможности современных инструментальных средств и систем программирования для решения задач машинного обучения</p>	<p><b>Перечень теоретических вопросов:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как производится постановка эксперимента для оценки качества металлургической продукции по нескольким параметрам?</li> <li>2. Приведите структуры системы контроля и управления процессом, включающего цифровой двойник технологического процесса. Поясните функции каждого элемента структуры.</li> <li>3. Как и с помощью каких средств производится формирование управляющих воздействий на технологический процесс для его корректировки?</li> </ol> <p><b>Примеры практических заданий:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Приведите блок схему алгоритма и его программную реализацию для обработки данных технологического процесса с целью получения коэффициентов регрессионного уравнения.</li> <li>2. Сформируйте математическую модель контура управления параметром производственного процесса. Выполните реализацию математической модели в системе структурного моделирования SciLab/XCos и SimIntech/</li> <li>3. Выполните синтез математической модели цифрового двойника процесса нагрева тонкого тела в нагревательной печи, осуществляющего в соответствии со следующей структурой технологического агрегата</li> </ol> <div style="text-align: center;">   </div>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
<b>ПК-10: Способен руководить проектами со стороны заказчика по созданию, поддержке и использованию системы искусственного интеллекта на основе нейросетевых моделей и методов</b>		
ПК-10.1	<p>ПК-10.1:  Руководит работами по оценке и выбору моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения поставленных задач со стороны заказчика. Знает: функциональность современных инструментов</p>	<p><b>Перечень теоретических вопросов</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Приведите структуру динамической модели. Какие элементы входят в цифровую динамическую модель технологии на примере металлургического производства?</li> <li>2. Какие параметры математической модели для непрерывной технологии могут быть получены в результате эксперимента?</li> <li>3. Что такое типовые воздействия? Как типовые воздействия используются для определения динамических параметров процесса?</li> <li>4. Какими типовыми динамическими звеньями может быть описана динамика металлургического (производственного) процесса при разработке цифрового двойника?</li> <li>5. Как получить статические характеристики процесса и провести их цифровую симуляцию?</li> </ol> <p><b>Примеры практических заданий</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определите, для какого дифференциального уравнения динамической модели полученная структурная схема в SciLab</li> </ol>  <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Составьте структурную схему для реализации математической модели, описываемой дифференциальным уравнением</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p><math display="block">\frac{dy}{d\tau} = K_H (x - K_C y)</math></p> <p>3. Реализуйте систему разностных уравнений для описания математической модели, представленной структурной схемой</p>  <p>4. Для заданной структуры искусственной нейронной сети запишите математическое выражение связи между входом X и выходом Y в форме Y(X)</p> 
ПК-10.2:	Руководит созданием систем искусственного интеллекта на основе моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств со стороны заказчика Знает: принципы построения систем	<p><b>Перечень теоретических вопросов</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Приведите цифровые модели контуров регулирования с замкнутым и разомкнутым контуром самонастройки.</li> <li>2. Перечислите способы математического описания технологических систем управления и их элементов.</li> <li>3. Цифровые модели замкнутых систем регулирования. Принципы использования цифрового двойника в замкнутом контуре регулирования.</li> <li>4. Цифровые модели двухконтурных систем управления процессом. Принцип работы двухконтурных систем и формирование цифровой тени в этих системах.</li> <li>5. Модели типа «вход-выход», структура модели,</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	искусственного	<p>определение и запись передаточных функций модели. Использование модели «вход-выход» при проектировании цифровых двойников технологического процесса.</p> <p>6. Структура цифрового двойника построенного на основе ИНС.</p> <p><b>Практические задания</b></p> <p>1. Рассмотрите поведение системы и составьте модель цифрового двойника процесса наполнения бака в виде линейного дифференциального уравнения для двух вариантов процесса.. Произвести численное решение полученного дифференциального уравнения.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>2. Для заданной структурной схемы цифрового двойника некоего динамического процесса приведите математическое описание его поведения в операторной форме</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>3. Для заданной модели системы в матричной управляемой форме получите модель в операторной форме и запишите систему разностных уравнений для формирования цифрового двойника системы</p> $A_{ky} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -40 & -38 & -11 \end{bmatrix}, B_{ky} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, C_{ky} = [3 \quad 4 \quad 1]$

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>4. Приведите пример реализации регрессионной нейросетевой модели цифрового двойника, настраиваемой (обучаемой) по экспериментальным данным процесса.</p> <p>5. Сформируйте алгоритм численного моделирование процесса для цифрового двойника инерционного звена 1-ого порядка со структурной схемой</p>  <p>5. Для системы численные уравнений описывающих динамику цифрового двойника, заданных в рекуррентной форме разработайте алгоритм вычислений. Реализуйте алгоритм и получите решения в виде графика функции</p> $\begin{cases} y_{2(i+1)} = \frac{h}{2} \cdot (x_{i+1} - y_{1(i)} - 2y_{2(i)}) + y_{2(i)} \\ y_{1(i+1)} = h \cdot y_{2(i+1)} + y_{1(i)} \end{cases}$ <p>6. Выполните реализацию модели цифрового двойника в SciLab. Получите переходные процессы в нем.</p> $T_{iz} = T_1 = 12 \quad K_r = \frac{T_1}{2 \cdot K_o \cdot T_2}$ 

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Разработка цифровых двойников металлургических процессов» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета.

**Показатели и критерии оценивания зачета:**

Критерии оценки (в соответствии с формируемыми компетенциями и планируемыми результатами обучения):

–«зачтено» – студент должен знать способы и методики управления проектом на всем этапе его жизненного цикла; знать состав и порядок разработки методических и нормативных документов, технической документации в области автоматизации

**технологических процессов и производств, в том числе по жизненному циклу продукции и ее качеству;**

**—«не зачтено» – студент не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.**