



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

13.02.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В МЕТАЛЛУРГИИ

Направление подготовки (специальность)
22.03.02 Metallurgy

Направленность (профиль/специализация) программы
Управление металлургическими предприятиями и технологическими процессами

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт энергетики и автоматизированных систем
Кафедра	Автоматизированных систем управления
Курс	3, 4
Семестр	5, 6, 7

Магнитогорск
2024 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 22.03.02 Metallurgy (приказ Минобрнауки России от 02.06.2020 г. № 702)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
Автоматизированных систем управления
07.02.2024, протокол № 6

Зав. кафедрой  С.М. Андреев

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС
13.02.2024 г. протокол № 4

Председатель  В.Р. Храмшин

Согласовано:

Зав. кафедрой Metallurgy and chemical technologies

 А.С. Харченко

Рабочая программа составлена:

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

Рецензент:

Начальник отдела промышленных киберфизических систем и решений

ЗАО «КонсОМ СКС»  Е.А. Хренов



Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 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 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

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 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 в металлургии» являются развитие профессиональных компетенций в области применения математического аппарата и вычислительных методов создания цифровых двойников пиротехнологий, 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 в металлургии» входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

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

Информатика и информационные технологии

Основы металлургического производства

Математика

Математический анализ

Компьютерные методы проектирования элементов металлургических печей

Основы алгоритмизации и создание цифровых моделей

Металлургическая теплотехника

Компьютерные методы проектирования металлургических цехов

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Методы контроля доменного процесса

Управление технологическими процессами производства чугуна в доменных печах

Моделирование процессов и объектов в металлургии

Цифровизация процессов производства черных металлов

Основы цифровизации в производстве прокатной продукции

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

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

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-4	Способен выполнять задачи по оценке сырья и металлургической продукции, корректировать и контролировать производственный процесс
ПК-4.1	Оценивает сырье и металлургическую продукцию, корректирует и контролирует производственный процесс с обоснованием принятых технологических и технических мер
ПК-5	Способен проводить анализ технологий в металлургическом производстве с обоснованием эффективности принятых мер по управлению технологическими параметрами
ПК-5.1	Проводит цифровой анализ технологий в металлургическом производстве, используя прикладные программы
ПК-6	Способен осуществлять управление технологическим процессом по получению металлургической продукции
ПК-6.1	Осуществляет управление технологическим процессом по получению металлургической продукции

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц 324 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 174,75 акад. часов;
- аудиторная – 171 акад. часов;
- внеаудиторная – 3,75 акад. часов;
- самостоятельная работа – 149,25 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 2 акад. час;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Программирование и алгоритмизация задач управления								
1.1 Основные виды типовых алгоритмов. Методы разработки алгоритмов.	5	2		4	6	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-6.1
1.2 Синтаксис языка программирования. Структуры и библиотеки.		4		4	8,1	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-5.1, ПК-6.1
1.3 Понятия управления. Алгоритмы управления процессами.		4		4	8	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-5.1, ПК-6.1

1.4 Реализация вычислительных процедур в прикладном программировании.		4		4	8	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-5.1, ПК-6.1
1.5 Программная реализация визуализации данных		4		4	8	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-5.1, ПК-6.1
Итого по разделу		18		20	38,1			
2. Основы машинного обучения и анализа данных								
2.1 Функции и задачи машинного обучения. Классификация методов машинного обучения	5	2		2	4	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1
2.2 Сбор и обработка данных. Статистический анализ данных		4		4	6	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1
2.3 Статистические модели процессов.		4		4	6	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1
2.4 Основные понятия методов искусственного интеллекта. Использование методов ИИ в машинном обучении.		4		2	4	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1

2.5 Искусственные нейронные сети, структура, типы, методы обучения		4		4	6	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1, ПК-6.1
Итого по разделу		18		16	32			
Итого за семестр		36		36	64,1		зачёт	
3. Основы разработки динамических моделей технологических процессов								
3.1 Типы математических моделей процессов и систем. Динамические модели.	6	2		4	8	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1, ПК-6.1
3.2 Методы численного решения дифференциальных уравнений динамических систем		4		8	12	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1, ПК-6.1
3.3 Методика проектирования математической модели динамической системы. Пакеты прикладных программ реализации динамических моделей.		4		6	14,15	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1, ПК-6.1
3.4 Основы теории автоматического управления. Понятие и структура системы управления технологическим параметром. Математическое моделирование замкнутых контуров		4		8	8	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1, ПК-6.1
3.5 Математическое описание элементов цифрового двойника		1		4	8		Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1, ПК-6.1
Итого по разделу		15		30	62,15			
Итого за семестр		15		30	50,15		зачёт	
4. Типы и структура цифрового технологического процесса								

4.1 Структура, элементы структуры цифрового двойника технологического процесса. Пакеты прикладных программ для разработки цифровых двойников.	7	4		6	2	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1, ПК-6.1
4.2 Цифровые двойники непрерывных процессов. Статические модели цифровых двойников.		2		6	2	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1, ПК-6.1
4.3 Проектирование динамических моделей цифровых двойников процессов		4		6	2	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1, ПК-6.1
4.4 Технические средства создания цифровых двойников.		4		6	2	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1, ПК-6.1
4.5 Методика разработки цифрового двойника непрерывного процесса		2		6	2	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1, ПК-6.1
4.6 Методика разработки цифрового двойника дискретного процесса. Интеграция модели цифрового двойника в систему управления процессом.		2		6	2	Изучение литературы. Подготовка к выполнению практической работы. Подготовка отчета по практической работе	Устный опрос по результатам практической работы	ПК-4.1, ПК-5.1, ПК-6.1
Итого по разделу		18		36	17			
Итого за семестр		18		36	12		зачёт	
Итого по дисциплине		69		102	149,25		зачет	

5 Образовательные технологии

Традиционные образовательные технологии – информационная лекция (вводную лекцию, где дает первое представление о предмете и знакомство студентов с назначением и задачами курса); лекции – консультации, изложение нового материала сопровождается постановкой вопросов и дискуссией в поисках ответов на эти вопросы; 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 обучение, 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 (модуля)

а) Основная литература:

1. Сулейманов, М. Д. Цифровая экономика : учебник / М. Д. Сулейманов ; научные редакторы В. А. Кашин, М. М. Юмаев. — Москва : 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: 23.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Григорьев, А. А. Передача, хранение и обработка больших объемов научных данных : учебное пособие / А.А. Григорьев, Е.А. Исаев, П.А. Тарасов. — Москва : ИНФРА-М, 2024. — 207 с. — (Высшее образование). — DOI 10.12737/1073525. - ISBN 978-5-16-018850-8. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/2051477> (дата обращения: 23.04.2024). — Режим доступа: по подписке.

б) Дополнительная литература:

3. Инженерные прикладные программы : учебное пособие / составители Е. В. Хардина, С. С. Вострикова. — Ижевск : УдГАУ, 2020. — 64 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/158599> (дата обращения: 23.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. 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: 23.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Гуриков С. Р. Основы алгоритмизации и программирования на Python : Учебное пособие / Гуриков Сергей Ростиславович ; Московский технический университет связи и информатики. - 1. - Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2023. - 343 с. - (Высшее образование: Магистратура). - ВО - Бакалавриат. - URL: <https://znanium.com/catalog/document?id=422041>

в) Методические указания:

6. Жуков, Р. А. Язык программирования Python: практикум : учебное пособие / Р.А. Жуков. — Москва : ИНФРА-М, 2024. — 216 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование). — DOI 10.12737/textbook_5cb5ca35aaa7f5.89424805. - ISBN 978-5-16-018516-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2139862> (дата обращения: 23.04.2024). — Режим доступа: по подписке.

7. Андреев С. М. Моделирование объектов и систем управления : учебное пособие / С. М. Андреев ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/1873>. - ISBN 978-5-9967-1028-7. - Текст : электронный.

8. Андреев С. М. Методы математического моделирования промышленных и мехатронных систем управления : практикум [для вузов] / С. М. Андреев, В. Р. Гасияров ; Магнитогорский гос. технический ун-т им. Г. И. Носова. - Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2019. - 105 с.: ил., табл., схемы. - URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/20335>. - ISBN 978-5-9967-1739-2. - Текст : непосредственный.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно

7Zip	свободно распространяемое	бессрочно
Виртуальный стенд системы автоматического управления технологическим параметром	свидетельство №2013612340	бессрочно
Eclipse	свободно распространяемое	бессрочно
ABC Pascal	свободно распространяемое	бессрочно
MAXIMA	свободно распространяемое	бессрочно
Браузер Mozilla Firefox	свободно распространяемое ПО	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое	бессрочно
Scilab Computation Engine	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Anaconda Python	свободно распространяемое	бессрочно
NetEmul	свободно распространяемое	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	https://host.megaprolib.net/MP0109/Web
Международная база полнотекстовых журналов Springer Journals	http://link.springer.com/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа (Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации). а. 450

Помещения для самостоятельной работы обучающихся (Персональные компьютеры с пакетом MS Office, 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) а. 448

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

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

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся.

По дисциплине «Разработка цифровых двойников в металлургии» 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	1. Перечислите операторы языка Python 2. Вычислите выражение $a+b^2$, используя ввод значений с терминала 3. Что такое конкатенация строк? Приведите пример конкатенции.
Циклы и ветвления	1. Получите в форме таблицы решение уравнения $y = ax^2 + bx + c$ 2. Какие виды циклов используются. Приведите блок-схемы всех видов циклов. 3. Что такое ветвление в программе? Какие виды ветвления используются? Приведите примеры ветвлений. 4. Что такое рекурсия? Приведите пример рекурсивного алгоритма.
Обработка данных	1. Как получить данные из внешнего источника? 2. Как выполнить сортировку данных? Приведите блок-схему алгоритма сортировки. 3. Как провести определения статистических параметров данных? Приведите примеры статистической обработки.
Использование библиотек	1. Как загрузить библиотеку для использования её функций? 2. Какие библиотеки используются для статистической обработки, математических вычислений и визуализации данных? 3. Используя библиотечные функции определите коэффициенты регрессионного уравнения 4. Решите систему линейных уравнений используя функции библиотеки numpy.
Визуализация данных	1. Какие формы визуализации данных можно получить через библиотеку? 2. Как на графиках с экспериментальными данными указать величину среднеквадратичного отклонения? Приведите пример. 3. По заданному набору данных постройте гистограмму распределения плотности вероятности. Добавьте на диаграмму обозначения столбцов
Методы машинного обучения и обработки данных	1. Перечислите основные виды выделяются в машинном обучении. Поясните каждый вид машинного обучения и приведите пример. 2. Какие ключевые задачи выделяют в методах машинного обучения? 3. Какие библиотеки реализуют машинное обучение? 4. Приведите примеры задач, решаемых классическими методами машинного обучения. Приведите пример программы выполняющей

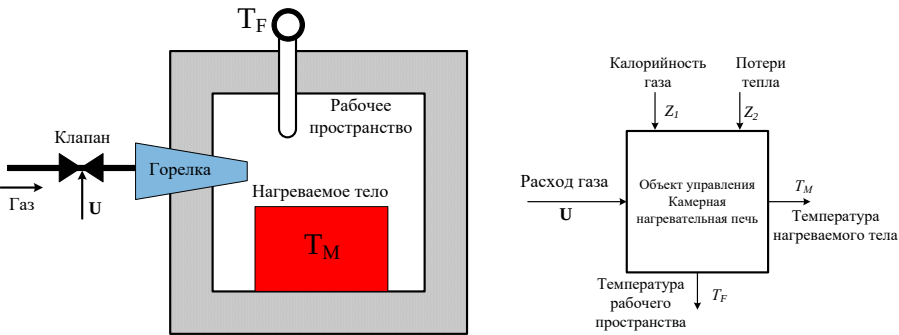
Тема практической работы	Вопросы для устного опроса
	классификацию данных
Постановка эксперимента и статистический анализ	1. Что такое активный и пассивный эксперимент? 2. Как сформировать матрицу планирования эксперимента первого порядка? Приведите пример 3. По заданным данным проведенного эксперимента определите уравнения статистической зависимости. Приведите пример программы реализации определения статистической модели процесса. 4. Какие основные критерии адекватности используются для оценки адекватности полученной статистической модели. Приведите примеры оценки адекватности для коэффициентов уравнения и самой модели
Методы искусственного интеллекта	1. Перечислите классификацию методов искусственного интеллекта. 2. В каких областях могут использоваться различные классы интеллектуальных систем? 3. Какие виды обучения и для каких классов систем используются методы искусственного интеллекта?
Реализация искусственной нейронной сети	1. Что такое персептрон? Какие элементы входят в персептрон? 2. Что такое активационная функция? Приведите основные варианты активационных функций 3. Какую функцию выполняют «веса» нейрона? 4. Что такое скрытый слой персептрона? 5. Для каких целей используется обучающая выборка? Как необходимо формировать обучающую выборку? 6. Как формировать динамические элементы с использованием искусственной нейронной сети? 7. Какой способ используется для обучения нейронной сети? В чем заключается основная идея этого способа? 8. Запишите в общем виде выражение для расчета ошибки в скрытых слоях ИНС
Модели статических систем	1. Что такое статическая характеристика системы? 2. Приведите классификацию статических характеристик систем? 3. Запишите уравнение статической характеристики в общем виде в форме полинома n-ой степени 4. Какие методы используются для определения коэффициентов полинома статической характеристики по экспериментальным данным? 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?

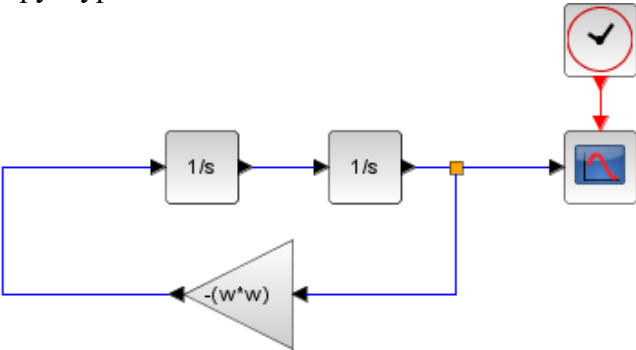
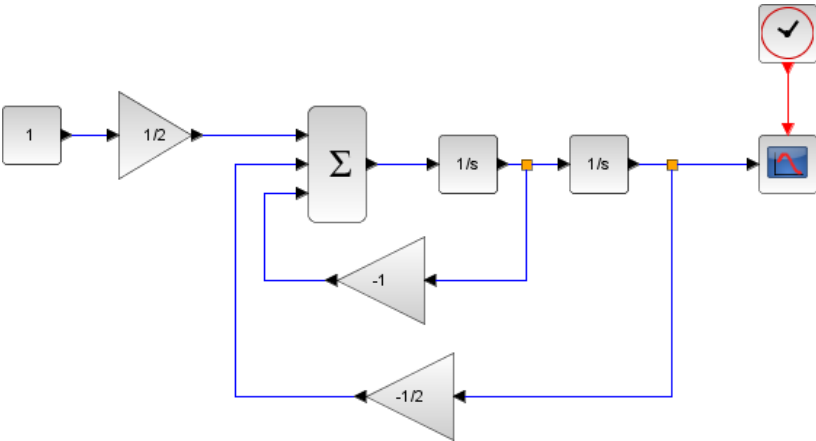
Тема практической работы	Вопросы для устного опроса
	5. Как задается время интегрирования? 6. Как задать масштаб графика функции?
Численные методы решения дифференциальных уравнений динамических систем	1. Что такое дифференциальное уравнение? 2. По каким признакам производится классификация дифференциальных 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, полученных аналитически с характеристиками, полученными численным способом. 6. Как сформировать схемы в пакете визуального моделирования для получения временных характеристик? 7. Какие формы построения динамических элементов используются в среде SciLab?
Модельно-ориентированная разработка элементов цифровых двойников в системах визуального моделирования	1. Как реализовать ПИ-регулятор в SciLab/XCOS с ограничением на величину, формируемую интегрирующей частью? Приведите пример структурной схемы. 2. Как реализовать в SciLab/XCOS исполнительный механизм с ограничением на диапазон хода вала? Приведите пример структурной схемы. 3. Как формируется нелинейная статическая характеристика в

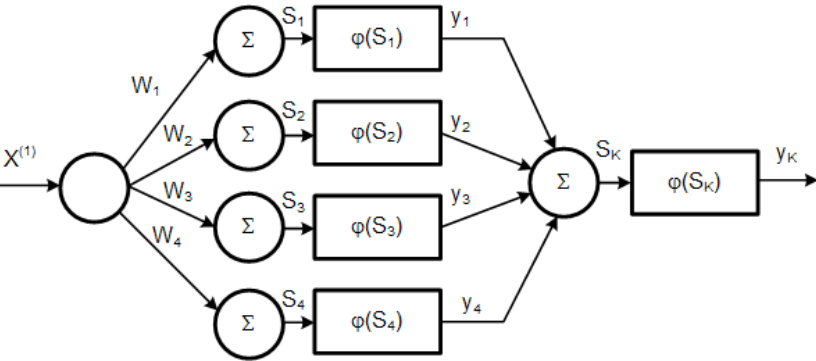
Тема практической работы	Вопросы для устного опроса
	SciLab/XCOS. 4. Приведите схему реализации ШИМ для управления исполнительным механизмом постоянной скорости. Какое назначение этого элемента в контуре? 5. Приведите структуру контура с объектом с самовыравниванием 6. Приведите структуру контура с объектом без самовыравнивания 7. Как моделируются технические средства входящие в состав в контуре регулирования?
Математическое моделирование цифрового двойника процесса нагрева теплотехнически массивного тела	1. Какие процессы являются процессами с распределенными параметрами? 2. Какой класс дифференциальных уравнений описывает поведение объектов с распределенными параметрами? 3. Что такое сеточная функция? Для каких целей используются сеточные функции? 4. Чем отличается явная схемы численного решения уравнения модели с распределенными параметрами от неявной? 5. Чем определяется точность решения численным методом для моделей объектов с распределенными параметрами?
Цифровые двойники дискретных процессов	1. Какой класс математических моделей используется для построения цифровых двойников дискретных процессов? 2. Как производится запись и реализация переключающей функции? 3. Как производится формирование и передача сигналов цифровой тени процесса?
Технологические контроллеры	1. Какую функцию выполняют технологические контроллеры в сборе данных с реального процесса? 2. Приведите структурную схему процесса с цифровым двойником и технологическим контроллером? 3. Как передаются данные цифровой тени в технологический контроллер? Какие технические средства для этого используются?

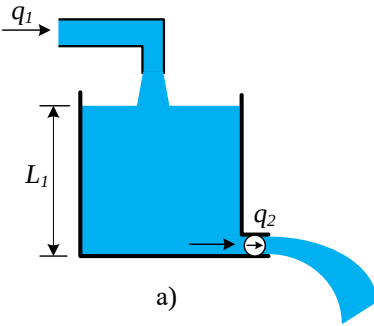
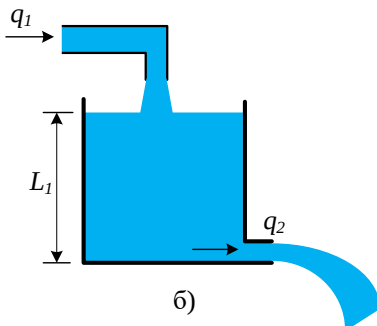
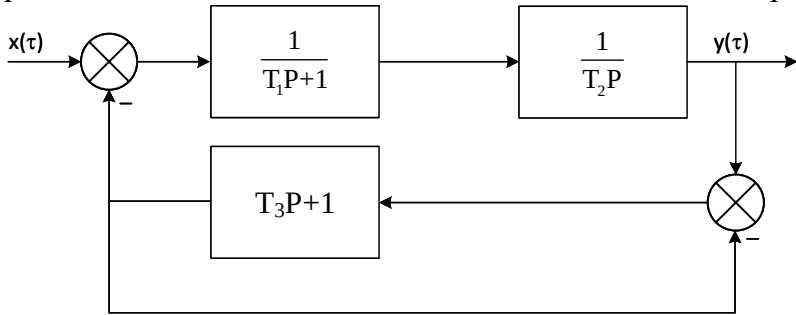
7. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

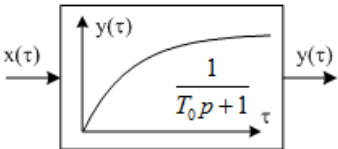
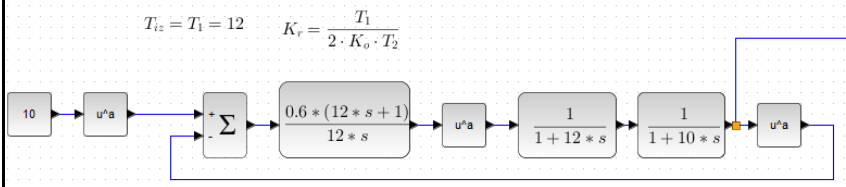
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-4: Способен выполнять задачи по оценке сырья и металлургической продукции, корректировать и контролировать производственный процесс		
ПК-4.1:	Оценивает сырье и металлургическую продукцию, корректирует и контролирует производственный процесс с обоснованием принятых технологических и технических мер	Перечень теоретических вопросов: 1. Как производится постановка эксперимента для оценки качества металлургической продукции по нескольким параметрам? 2. Приведите структуры системы контроля и управления процессом, включающего цифровой двойник технологического процесса. Поясните функции каждого элемента структуры. 3. Как и с помощью каких средств производится формирование управляющих воздействий на технологический процесс для его корректировки? Примеры практических заданий: 1. Приведите блок схему алгоритма и его программную реализацию для обработки данных технологического процесса с целью получения коэффициентов регрессионного уравнения. 2. Сформируйте математическую модель контура управления параметром производственного процесса. Выполните реализацию математической модели в системе структурного моделирования SciLab/XCos и SimIntech/ 3. Выполните синтез математической модели цифрового двойника процесса нагрева тонкого тела в нагревательной печи, осуществляющего в соответствии со следующей структурой технологического агрегата

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		
ПК-5: Способен проводить анализ технологий в металлургическом производстве с обоснованием эффективности принятых мер по управлению технологическими параметрами		
ПК-5.1	Проводит цифровой анализ технологий в металлургическом производстве, используя прикладные программы	Перечень теоретических вопросов 1. Приведите структуру динамической модели. Какие элементы входят в цифровую динамическую модель технологии на примере металлургического производства? 2. Какие параметры математической модели для непрерывной технологии могут быть получены в результате эксперимента? 3. Что такое типовые воздействия? Как типовые воздействия используются для определения динамических параметров процесса? 4. Какими типовыми динамическими звеньями может быть описана динамика металлургического (производственного) процесса при разработке цифрового двойника? 5. Как получить статические характеристики процесса и провести их цифровую симуляцию? Примеры практических заданий 1. Определите, для какого дифференциального уравнения динамической модели полученная

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		структурная схема в SciLab  2. Составьте структурную схему для реализации математической модели, описываемой дифференциальным уравнением $\frac{dy}{d\tau} = K_H (x - K_C y)$ 3. Реализуйте систему разностных уравнений для описания математической модели, представленной структурной схемой  4. Для заданной структуры искусственной нейронной сети запишите математическое выражение

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		связи между входом X и выходом Y в форме $Y(X)$ 
ПК-6: Способен осуществлять управление технологическим процессом по получению металлургической продукции		
ПК-6.1:	Осуществляет управление технологическим процессом по получению металлургической продукции	Перечень теоретических вопросов 1. Приведите цифровые модели контуров регулирования с замкнутым и разомкнутым контуром самонастройки. 2. Перечислите способы математического описания технологических систем управления и их элементов. 3. Цифровые модели замкнутых систем регулирования. Принципы использования цифрового двойника в замкнутом контуре регулирования. 4. Цифровые модели двухконтурных систем управления процессом. Принцип работы двухконтурных систем и формирование цифровой тени в этих системах. 5. Модели типа «вход-выход», структура модели, определение и запись передаточных функций модели. Использование модели «вход-выход» при проектировании цифровых двойников технологического процесса. 6. Структура цифрового двойника построенного на основе ИНС. Практические задания 1. Рассмотрите поведение системы и составьте модель цифрового двойника процесса наполнения бака в виде линейного дифференциального уравнения для двух вариантов процесса.. Произвести

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		численное решение полученного дифференциального уравнения.   2. Для заданной структурной схемы цифрового двойника некоего динамического процесса приведите математическое описание его поведения в операторной форме  3. Для заданной модели системы в матричной управляемой форме получите модель в операторной форме и запишите систему разностных уравнений для формирования цифрового двойника системы

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		$A_{\text{кy}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -40 & -38 & -11 \end{bmatrix}, B_{\text{кy}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, C_{\text{кy}} = \begin{bmatrix} 3 & 4 & 1 \end{bmatrix}$ 4. Приведите пример реализации регрессионной нейросетевой модели цифрового двойника, настраиваемой (обучаемой) по экспериментальным данным процесса. 5. Сформируйте алгоритм численного моделирование процесса для цифрового двойника инерционного звена 1-ого порядка со структурной схемой  5. Для системы численные уравнения описывающих динамику цифрового двойника, заданных в рекуррентной форме разработайте алгоритм вычислений. Реализуйте алгоритм и получите решения в виде графика функции $\begin{cases} y_{2(i+1)} = \frac{h}{2} \cdot (x_{i+1} - y_{1(i)} - 2y_{2(i)}) + y_{2(i)} \\ y_{1(i+1)} = h \cdot y_{2(i+1)} + y_{1(i)} \end{cases}$ 6. Выполните реализацию модели цифрового двойника в SciLab. Получите переходные процессы в нем. 

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Разработка цифровых двойников в металлургии» 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.