Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук
(ИМАШ РАН)

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора по вопросам
подготовки кадров высшей
квалификации ИМАШ РАН
_____ к.ф-м.н. Жданов Э.Р.
«_01_» _____ 2026 года
м.п.

Рабочая программа дисциплины

«Современные подходы к созданию киберфизических систем»

Направление подготовки:	09.04.03 Прикладная информатика
Профиль подготовки:	Цифровые двойники и автоматизированные системы управления технологическими процессами
Квалификация:	Магистр
Форма обучения	Очная

Москва, 2026 г.

1. Аннотация к дисциплине

1.1.	Составлена в соответствии с ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 09.04.03 Прикладная информатика, утвержденным приказом Минобрнауки от 19.09.2017 г. N 916.
1.2.	Дисциплина посвящена изучению принципов, архитектуры и технологий построения интеллектуальных систем, объединяющих вычислительные (цифровые) и физические процессы.
1.3.	Дисциплина рассматривает КФС как эволюцию традиционных АСУ, где ключевую роль играют интернет вещей (IoT), цифровые двойники, облачные вычисления и методы искусственного интеллекта (ИИ). Студенты осваивают методологию проектирования самоорганизующихся, адаптивных и автономных систем, способных к принятию решений в реальном времени.

2. Место дисциплины в структуре ООП

2.1.	Цикл (раздел) ООП: Б1.В.ОД.9
2.2.	2 курс, 4 семестр

3. Цель освоения дисциплин

3.1.	Формирование у обучающихся необходимых компетенций для успешного освоения образовательной программы

4. Задачи освоения дисциплины

4.1.	- сформировать знания о фундаментальных принципах построения киберфизических систем и их отличиях от классических АСУ; - сформировать знания осовременных технологиях IoT, туманных/граничных вычислений и облачных платформ как основы инфраструктуры КФС; - сформировать знания о методах интеграции физических объектов с их цифровыми двойниками для создания замкнутых контуров управления; - сформировать знания о методах искусственного интеллекта и машинного обучения, применяемых для интеллектуализации процессов в КФС; - сформировать знания о специфических угрозах кибербезопасности для киберфизических систем и методах защиты от них; - сформировать знания о международных стандартах и методологиях (например, MBSE), используемых при проектировании сложных КФС. - сформировать навыки анализировать архитектуру существующих киберфизических систем и выявлять их компоненты; - сформировать навыки выбирать адекватные протоколы передачи данных (IoT) для решения конкретной задачи в рамках КФС; - сформировать навыки проектировать базовую архитектуру КФС с учетом уровней восприятия, вычислений и управления; - сформировать навыки применять методы предиктивной аналитики к данным, получаемым с физических объектов; - сформировать навыки использовать современные инструменты моделирования для описания жизненного цикла киберфизического продукта; - сформировать умение применять системный подход к проектированию сложных киберфизических систем, учитывая взаимосвязь цифровых и физических доменов; - сформировать умение оценивать целесообразность внедрения технологий ИИ/МО для решения задач управления в конкретном технологическом процессе; - сформировать умение выбирать оптимальную стратегию развертывания вычислений (Edge/Fog/Cloud) в зависимости от требований к задержке и пропускной способности сети; - сформировать умение адаптировать международные стандарты проектирования к специфике отечественных промышленных предприятий.

5. Перечень планируемых результатов обучения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

ПК-1	**Способен руководить процессами разработки и реализации проекта автоматизированной системы управления технологическими процессами**
ПК-1.1	Разрабатывает концепции и техническое задание на проектирование автоматизированной системы управления технологическими процессами
ПК-2	**Способен управлять цифровой трансформацией документированных сфер деятельности организации**
ПК-2.1	Развивает цифровую трансформацию документированных сфер деятельности организации
ПК-2.2	Осуществляет разработку и внедрение стратегии цифровой трансформации документированных сфер деятельности организации

Код индикатора компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1.1	*Знать:* - современные парадигмы проектирования АСУ, основанные на принципах киберфизических систем (КФС). - архитектуру технологического стека КФС (датчики, IoT-шлюзы, туманные/граничные вычисления, облачные платформы) и критерии выбора его компонентов. - принципы создания и интеграции цифровых двойников в контур управления технологическими процессами. - методологию анализа объекта автоматизации с целью выявления задач для интеллектуализации и автономии. *Уметь:* - проводить декомпозицию технологического процесса для выявления точек сбора данных и принятия решений в рамках КФС. - формулировать требования к аппаратному и программному обеспечению, включая протоколы передачи данных (MQTT, OPC UA), требования к вычислительным мощностям (Edge/Fog/Cloud) и средствам кибербезопасности. - разрабатывать концепцию проекта, описывающую архитектуру КФС, потоки данных и механизмы обратной связи между физическим объектом и его цифровой моделью. *Иметь практический опыт:* - разработки фрагмента технического задания на проектирование КФС для заданного технологического процесса. - проектирования архитектуры КФС с использованием нотации MBSE (Model-Based Systems Engineering) или аналогичных подходов.
ПК-2.1	*Знать:* - роль киберфизических систем как технологической основы цифровой трансформации в промышленности. - отличия цифровой трансформации от простой автоматизации (переход от мониторинга к предиктивной аналитике и автономному принятию решений). - методы оценки потенциала цифровизации бизнес-процессов с помощью внедрения КФС (анализ ROI, TCO). *Уметь:* - анализировать существующие бизнес-процессы и "узкие места" с целью выявления возможностей для их развития через внедрение технологий КФС. - аргументированно обосновывать необходимость перехода к КФС, демонстрируя преимущества (повышение эффективности, снижение издержек, повышение надежности). - выявлять и оценивать риски, связанные с внедрением новых технологий

	(технологические, организационные, кадровые). *Иметь практический опыт:* - выполнения анализа кейса по цифровой трансформации предприятия и подготовки отчета с предложениями по внедрению элементов КФС.
ПК-2.2	*Знать:* - жизненный цикл киберфизической системы: от проектирования и внедрения до эксплуатации, модернизации и вывода из эксплуатации. - международные стандарты и фреймворки в области КФС и Индустрии 4.0 (стандарты ISO, IEEE, концепции RAMI 4.0). - принципы управления портфелем цифровых проектов и методы поэтапного внедрения сложных технологических решений. *Уметь:* - разрабатывать дорожную карту (Roadmap) цифровой трансформации, определяя этапы, необходимые ресурсы и ожидаемые результаты. - планировать интеграцию разрабатываемой КФС в существующую ИТ-инфраструктуру предприятия с учетом вопросов совместимости и безопасности. - оценивать зрелость организации для внедрения технологий Индустрии 4.0 и определять первоочередные шаги для перехода к модели цифрового предприятия. *Иметь практический опыт:* - разработки стратегического документа (дорожной карты) по цифровой трансформации условного подразделения или бизнес-процесса на базе технологий киберфизических систем.

6. Тематический план

Наименование темы/раздела	**Виды занятий и трудоемкость (в часах)**					**Формы контроля Форма ПА**
	Все го	Л	ПЗ	ЛЗ	СР	
Тема 1. Введение в киберфизические системы (КФС)	**16**	2	2	-	12	Отчет по практикуму по решению задач/15
Тема 2. Технологический стек КФС	**20**	2	-	6	12	Отчет по лабораторному практикуму/15
Тема 3. Цифровые двойники как ядро КФС	**18**	2	2	4	10	Отчет по лабораторному практикуму/15 Эссе/10
Тема 4. Интеллектуализация и автономия в КФС	**18**	2	-	6	10	Отчет по лабораторному практикуму/15
Тема 5. Безопасность и надежность киберфизических систем	**18**	2	4	-	12	Отчет по практикуму по решению задач/15
Тема 6. Проектирование и жизненный цикл КФС	**18**	-	6	-	12	Отчет по практикуму по решению задач/15
Всего часов	**108**	**10**	**14**	**16**	**68**	100 ТКУ
Контроль, час	**36**					Экзамен
Объем дисциплины (в ак. ч)	144					
Объем дисциплины (в зач. ед.)	4					

7. Содержание дисциплины

Наименование темы/раздела	Краткое содержание	Лекции (часов)
Тема 1. Введение в киберфизические системы (КФС)	Определение, ключевые характеристики и отличия КФС от традиционных АСУ. Архитектура КФС: уровни восприятия, передачи данных, вычислений (туманные и облачные) и управления. Концепция Индустрии 4.0 и роль КФС в цифровой трансформации промышленности.	2
Тема 2. Технологический стек КФС	Интернет вещей (IoT): протоколы (MQTT, CoAP, AMQP), шлюзы, платформы. Туманные (Fog) и граничные (Edge) вычисления: принципы работы, преимущества для снижения задержек. Облачные платформы для сбора, хранения и анализа больших данных (Big Data) с физических объектов.	2
Тема 3. Цифровые двойники как ядро КФС	Эволюция цифрового двойника: от модели к динамической копии физического объекта. Жизненный цикл цифрового двойника: создание, калибровка, эксплуатация. Интеграция данных в реальном времени (Real-time data assimilation) и обратная связь от модели к физическому объекту.	2
Тема 4. Интеллектуализация и автономия в КФС	Применение методов искусственного интеллекта и машинного обучения (ML) для предиктивной аналитики, оптимизации и автономного управления. Архитектуры многоагентных систем для децентрализованного управления сложными объектами. Принятие решений в условиях неопределенности.	2
Тема 5. Безопасность и надежность киберфизических систем	Специфика угроз для КФС: атаки на физический уровень, манипуляции с данными датчиков. Концепция «нулевого доверия» (Zero Trust) в промышленных сетях. Методы обеспечения отказоустойчивости и самодиагностики КФС.	2
Тема 6. Проектирование и жизненный цикл КФС	Современные методологии проектирования (системная инженерия, MBSE — Model-Based Systems Engineering). Стандартизация в области КФС (стандарты ISO/IEC, IEEE). Управление жизненным циклом киберфизического продукта.	-

8. Самостоятельная работа студентов

Наименование темы/раздела	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость в часах
Тема 1. Введение в киберфизические системы (КФС)	Проработка лекционного материала, изучение рекомендуемой литературы, работа с ЭБС	12
Тема 2. Технологический стек КФС	Проработка лекционного материала, изучение рекомендуемой литературы, работа с ЭБС	12
Тема 3. Цифровые двойники как ядро КФС	Проработка лекционного материала, изучение рекомендуемой литературы, работа с ЭБС	10
Тема 4. Интеллектуализация и автономия в КФС	Проработка лекционного материала, изучение рекомендуемой литературы, работа с ЭБС	10

Тема 5. Безопасность и надежность киберфизических систем	Проработка лекционного материала, изучение рекомендуемой литературы, работа с ЭБС	12
Тема 6. Проектирование и жизненный цикл КФС	Проработка лекционного материала, изучение рекомендуемой литературы, работа с ЭБС	12

9. Тематика практических и лабораторных занятий

Наименование темы/раздела	Вид занятия	Краткое содержание занятия	Объем часов
Тема 1. Введение в киберфизические системы (КФС)	Практикум по решению задач	Кейсы, проектирование, анализ	2
Тема 2. Технологический стек КФС	Лабораторный практикум	Построение простейшей IoT-цепочки	6
Тема 3. Цифровые двойники как ядро КФС	Практикум по решению задач	Кейсы, проектирование, анализ	2
Тема 3. Цифровые двойники как ядро КФС	Лабораторный практикум	Интеграция физического датчика с цифровым двойником	4
Тема 4. Интеллектуализация и автономия в КФС	Лабораторный практикум	Предиктивное обслуживание на основе данных	6
Тема 5. Безопасность и надежность киберфизических систем	Практикум по решению задач	Кейсы, проектирование, анализ	4
Тема 6. Проектирование и жизненный цикл КФС	Практикум по решению задач	Кейсы, проектирование, анализ	6

10. Фонд оценочных средств

Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации, а также порядок начисления баллов и критерии оценивания представлены в комплекте оценочных материалов (КОМ) по дисциплине.

11. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

9.1. Основная литература

Авторы	Заглавие	Издательство, год	Эл. адрес
Бабичев, С. Л.	Распределенные системы: учебник для вузов / С. Л. Бабичев, К. А. Коньков	Москва: Издательство Юрайт, 2026	https://urait.ru/bcode/587607
Бессмертный, И. А.	Искусственный интеллект. Введение в многоагентные системы: учебник для вузов	Москва: Издательство Юрайт, 2026	https://urait.ru/bcode/589921
Спиридонов, О. Б.	Киберфизические системы: учебное пособие для вузов	Москва: Издательство Юрайт, 2026	https://urait.ru/bcode/590137

9.2. Дополнительная литература

Воронов, М. В.	Автоматическое управление. Управление организационными	Москва: Издательство Юрайт, 2026	https://urait.ru/bcode/589867

	системами. Цифровые платформы: учебник для вузов / М. В. Воронов, В. И. Пименов, И. А. Небаев		
Зенин, И. А.	Право интеллектуальной собственности: учебник для вузов / И. А. Зенин. — 12-е изд., перераб. и доп	Москва: Издательство Юрайт, 2025	https://urait.ru/bcode/558213

12. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование помещения	Перечень основного оборудования
Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации.	Мультимедийное оборудование (проектор, экран), маршрутизатор/роутер, мебель
Компьютерный класс для проведения лабораторных занятий, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации.	Компьютерная техника с возможностью подключения к Интернету, маршрутизатор/роутер, мультимедийное оборудование (проектор, экран), мебель.
Помещения для самостоятельной работы обучающихся	Мебель, компьютерная техника с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации, маршрутизатор/роутер.