

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Ястребов Олег Александрович

Должность: Ректор

Дата подписания: 25.05.2026 12:25:51

Уникальный программный ключ:

ca953a01204891083f939673078ef1a989dae18a

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Факультет искусственного интеллекта

(наименование основного учебного подразделения (ОУП)-разработчика ОП ВО)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

MLOPS И ПРОМЫШЛЕННАЯ РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

(наименование дисциплины/модуля)

Рекомендована МССН для направлений подготовки:

**02.03.02 ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ;**

09.03.03 ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: РАЗРАБОТКА И ОБУЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

2026 г.

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «MLOps и промышленная разработка систем искусственного интеллекта» входит в программу бакалавриата «Искусственный интеллект: разработка и обучение интеллектуальных систем» по направлениям подготовки 02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии и 09.03.03 Прикладная информатика, и изучается в 8 семестре 4 курса. Дисциплину реализует Кафедра прикладного искусственного интеллекта. Дисциплина состоит из 3 разделов и 33 тем и направлена на изучение принципов и практик промышленной разработки и эксплуатации систем искусственного интеллекта: архитектуры MLOps-платформ и уровней зрелости (ML0–ML4), автоматизации жизненного цикла ML-моделей (CI/CD/CT — непрерывная интеграция, доставка и обучение), версионирования данных, кода и моделей, оркестрации ML-пайплайнов, управления feature store и model registry, мониторинга моделей в production (дрейф данных и концепта), стратегий переобучения и A/B-тестирования, управления вычислительной инфраструктурой (облачные и on-premise GPU-кластеры), LLMops (развёртывание и обслуживание больших языковых моделей), а также организационных аспектов промышленной разработки ИИ (governance, документирование, оценка рисков, экономическое обоснование).

Целью освоения дисциплины является формирование у студентов системных знаний и практических навыков проектирования, развёртывания и эксплуатации промышленных ML-систем полного цикла, включая способность проектировать MLOps-пайплайны с автоматизацией обучения и развёртывания, настраивать мониторинг и стратегии переобучения, управлять инфраструктурой и вычислительными ресурсами, обеспечивать версионирование всех артефактов, проводить экономическую оценку ML-проектов, составлять техническую документацию и спецификации, а также организовывать командную работу в соответствии с лучшими промышленными практиками DevOps и MLOps.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «MLOps и промышленная разработка систем искусственного интеллекта» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
УК-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности	УК-10.2 Умеет обосновывать и применять основные положения и методы социально-экономических наук для принятия решений в различных областях жизнедеятельности;
УК-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.3 Владеет методиками разработки цели и задач проекта; методами оценки продолжительности и стоимости проекта, а также потребности в ресурсах;
ОПК-4	Способен участвовать в разработке технической документации, стандартов, норм и правил, а также в управлении проектами создания	ОПК-4.2 Умеет разрабатывать техническую документацию (ТЗ, описание архитектуры, пользовательскую документацию) для систем ИИ, планировать этапы проекта с учётом MLOps-практик; ОПК-4.3 Владеет навыками участия в управлении проектами

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
	информационных систем и систем ИИ на стадиях жизненного цикла	создания и внедрения систем ИИ на всех стадиях жизненного цикла, включая планирование, разработку, тестирование, развёртывание и мониторинг;
ОПК-5	Способен устанавливать и сопровождать программное и аппаратное обеспечение информационных систем и систем ИИ, в том числе отечественного происхождения, с учётом требований информационной безопасности	ОПК-5.2 Умеет развёртывать и сопровождать среды разработки и эксплуатации систем ИИ (контейнеризация, оркестрация, CI/CD), обеспечивать информационную безопасность данных и моделей; ОПК-5.3 Владеет навыками практической работы с инфраструктурой ИИ-систем (облачные платформы, серверы GPU, системы хранения данных), включая мониторинг, обновление и обеспечение отказоустойчивости;
ОПК-8	Способен принимать участие в реализации профессиональных коммуникаций с заинтересованными участниками проектной деятельности и в рамках проектных групп, представлять результаты разработки систем ИИ различным аудиториям	ОПК-8.2 Умеет формулировать и представлять технические решения в области ИИ для различных аудиторий (технические специалисты, менеджеры, заказчики), вести техническую дискуссию, аргументировать выбор подходов;
ПК-1	Способен анализировать требования к программному обеспечению систем ИИ, разрабатывать технические спецификации и техническое задание на систему	ПК-1.2 Разрабатывает технические спецификации на программные компоненты систем ИИ и описывает их взаимодействие;
ПК-2	Способен проектировать архитектуру информационных систем с компонентами ИИ, разрабатывать прототипы и базы данных таких систем	ПК-2.1 Проектирует архитектуру ИС с компонентами ИИ, выбирает архитектурные паттерны и технологический стек; ПК-2.2 Разрабатывает прототипы ИС с элементами ИИ, проводит их валидацию с заинтересованными сторонами;
ПК-3	Способен разрабатывать и реализовывать стратегии тестирования и контроля качества программного обеспечения систем ИИ	ПК-3.2 Разрабатывает план тестирования и организационные документы для тестирования ПО систем ИИ; ПК-3.3 Оценивает результаты тестирования, реализует процесс контроля качества ПО систем ИИ;
BD-2	Способен определять требования к наборам данных для решения задач машинного обучения, проводить разметку и анализ наборов данных, оценивать качество данных, обеспечивать непрерывную интеграцию данных	BD-2.3 Применяет инструменты и практики непрерывной интеграции данных (DataOps);
BD-4	Способен применять различные модели и (или) технологии обработки больших данных	BD-4.3 Тестирует, испытывает и оценивает качество решений с элементами ИИ, реализованных с использованием технологий обработки данных;
DL-1	Способен применять и (или) разрабатывать архитектуры глубоких нейронных сетей	DL-1.11 Применяет, адаптирует и разрабатывает методы сжатия нейронных сетей для оптимизации производительности моделей, включая квантование, прунинг, дистилляцию и другие техники, с учетом требований к качеству и вычислительной эффективности;
FC-5	Способен проводить передовые исследования в области безопасности, доверия и объяснимости	FC-5.2 Обеспечивает объяснения причин принятия тех или иных решений в результатах работы искусственного интеллекта; FC-5.3 Обеспечивает отсутствие случайных или добавленных уязвимостей в системах искусственного интеллекта;
LC-5	Способен применять и (или) проектировать различные инструменты и инженерные	LC-5.1 Осуществляет выбор инструментов и инженерных практик промышленной разработки систем ИИ, развертывания и сопровождения моделей МО в продуктивной среде;

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
	практики промышленной разработки, развертывания, эксплуатации и мониторинга систем ИИ	LC-5.2 Осуществляет выбор инструментов и инженерных практик по управлению данными с необходимым уровнем доступа, контроля качества, резервирования и скоростью выполнения запросов;
LLM-1	Способен применять и (или) разрабатывать генеративные модели и БЯМ	LLM-1.2 Оценивает производительность генеративных моделей; LLM-1.7 Проводит валидацию и тестирование генеративных моделей;
MF-4	Способен применять статистические методы для анализа данных, валидации моделей машинного обучения и проведения экспериментов в области ИИ	MF-4.3 Способен применять статистические методы для оценки качества моделей ИИ, включая метрики и критерии для регрессии, классификации и кластеризации, а также для проведения статистических тестов для сравнения моделей;
SS-1	Способен учитывать философские, когнитивные и социальные основания концепций ИИ в профессиональной деятельности	SS-1.1 Учитывает в разработке и эксплуатации систем ИИ философские основания концепций интеллекта, языка, знания, агентности;
SS-2	Способен к эффективной коммуникации и командной работе в междисциплинарных проектах в области ИИ	SS-2.1 Эффективно коммуницирует с участниками проектной команды при планировании, реализации и анализе результатов работы в контексте гибридной команды "Человек+ИИ", включая постановку задач людям и ИИ-агентам, фиксацию договорённостей и критериев качества; SS-2.2 Учитывает профессиональные и ролевые особенности коллег и контур ИИ-компонентов: адаптирует язык под аудиторию (tech/product/C-level), распределяет ответственность (RACI) и представляет результаты в понятном формате;
SS-3	Способен к критическому анализу, метарефлексии и переносу знаний при работе с системами ИИ	SS-3.2 Определяет релевантность применения ИИ для решения конкретных задач, анализирует поведение ИИ в техническом, социальном и правовом контекстах, переносит идеи и методы за пределы исходной предметной области;

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «MLOps и промышленная разработка систем искусственного интеллекта» относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы высшего образования.

В рамках образовательной программы высшего образования обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «MLOps и промышленная разработка систем искусственного интеллекта».

Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
УК-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности	Правоведение; Оптимизация моделей машинного обучения; Практическая подготовка на проектах отраслевых промышленных партнеров;	

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
УК-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	Эксплуатационная практика (учебная); Технологическая (проектно-технологическая) практика (производственная); Правоведение; Этика и безопасность использования искусственного интеллекта; Методы разработки решений на основе искусственного интеллекта (Git, Docker); Оптимизация моделей машинного обучения; Практическая подготовка на проектах отраслевых промышленных партнеров; Проектирование и разработка систем компьютерного зрения; Практикум по обработке естественного языка (NLP);	
ОПК-4	Способен участвовать в разработке технической документации, стандартов, норм и правил, а также в управлении проектами создания информационных систем и систем ИИ на стадиях жизненного цикла	Эксплуатационная практика (учебная); Технологическая (проектно-технологическая) практика (производственная); Этика и безопасность использования искусственного интеллекта; Безопасность систем искусственного интеллекта; Методы разработки решений на основе искусственного интеллекта (Git, Docker); Практическая подготовка на проектах отраслевых промышленных партнеров;	
ОПК-5	Способен устанавливать и сопровождать программное и аппаратное обеспечение информационных систем и систем ИИ, в том числе отечественного происхождения, с учётом требований информационной безопасности	Введение в базы данных; Безопасность систем искусственного интеллекта; Методы разработки решений на основе искусственного интеллекта (Git, Docker); Массово-параллельные вычисления в машинном обучении (GPU); Эксплуатационная практика (учебная); Эксплуатационная практика (производственная); Технологическая (проектно-технологическая) практика (учебная);	
ОПК-8	Способен принимать участие в реализации профессиональных коммуникаций с заинтересованными участниками проектной деятельности и в рамках	Эксплуатационная практика (производственная); Технологическая (проектно-технологическая) практика (производственная); Практическая подготовка на проектах отраслевых	

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
	проектных групп, представлять результаты разработки систем ИИ различным аудиториям	индустриальных партнеров; Иностранный язык**; Русский язык (как иностранный)**; Иностранный язык в профессиональной деятельности**; Русский язык (как иностранный) в профессиональной деятельности**;	
ПК-1	Способен анализировать требования к программному обеспечению систем ИИ, разрабатывать технические спецификации и техническое задание на систему	Эксплуатационная практика (учебная); Эксплуатационная практика (производственная); Технологическая (проектно-технологическая) практика (производственная); Технологическая (проектно-технологическая) практика (учебная); Правоведение; Параллельное и распределенное программирование; Введение в искусственный интеллект; Искусственный интеллект и когнитивная психология; Этика и безопасность использования искусственного интеллекта; Методы машинного обучения; Массово-параллельные вычисления в машинном обучении (GPU); Оптимизация моделей машинного обучения; Основы глубокого обучения; Безопасность систем искусственного интеллекта; Практическая подготовка на проектах отраслевых индустриальных партнеров; Большие языковые модели**; История и теория программирования; Программирование на языке C++; Методы разработки решений на основе искусственного интеллекта (Git, Docker); Введение в базы данных; Нейронные сети; Онтология и графы знаний; Проектирование и разработка систем компьютерного зрения; Практикум по обработке естественного языка (NLP);	
ПК-2	Способен проектировать архитектуру информационных систем с компонентами ИИ,	Программирование на языке C++; Параллельное и распределенное программирование; Методы разработки решений на	

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
	разрабатывать прототипы и базы данных таких систем	<p>основе искусственного интеллекта (Git, Docker); Алгоритмы и структуры данных; Hadoop, SPARK; Массово-параллельные вычисления в машинном обучении (GPU); Практическая подготовка на проектах отраслевых промышленных партнеров; Проектирование и разработка систем компьютерного зрения; Практикум по обработке естественного языка (NLP); Программирование на языке Python; Основы глубокого обучения; Введение в базы данных; Онтология и графы знаний; Эксплуатационная практика (производственная); Технологическая (проектно-технологическая) практика (учебная); Эксплуатационная практика (учебная); Технологическая (проектно-технологическая) практика (производственная);</p>	
ПК-3	Способен разрабатывать и реализовывать стратегии тестирования и контроля качества программного обеспечения систем ИИ	<p>Технологическая (проектно-технологическая) практика (учебная); Технологическая (проектно-технологическая) практика (производственная); Эксплуатационная практика (учебная); Эксплуатационная практика (производственная); Теория вероятностей и математическая статистика; Этика и безопасность использования искусственного интеллекта; Статистические методы и первичный анализ данных; Методы машинного обучения; Нейронные сети; Безопасность систем искусственного интеллекта; Обработка и анализ изображений и видео с помощью методов искусственного интеллекта; Анализ естественного языка с помощью методов искусственного интеллекта; Программирование на языке Python; Методы разработки решений на основе искусственного</p>	

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
		интеллекта (Git, Docker); Проектирование и разработка систем компьютерного зрения; Практикум по обработке естественного языка (NLP); Оптимизация моделей машинного обучения; Практическая подготовка на проектах отраслевых промышленных партнеров;	
SS-1	Способен учитывать философские, когнитивные и социальные основания концепций ИИ в профессиональной деятельности	Философия; История и теория программирования; Введение в искусственный интеллект; Искусственный интеллект и когнитивная психология; Онтология и графы знаний; Методы машинного обучения; Основы глубокого обучения; Нейронные сети; Лингвистические основы анализа естественного языка; Основы робототехники**; Большие языковые модели**; Генеративные модели**; Этика и безопасность использования искусственного интеллекта; Безопасность систем искусственного интеллекта; Практическая подготовка на проектах отраслевых промышленных партнеров; Проектирование и разработка систем компьютерного зрения; Практикум по обработке естественного языка (NLP); Рекомендательные системы**;	
SS-2	Способен к эффективной коммуникации и командной работе в междисциплинарных проектах в области ИИ	Программирование на языке Python; Методы разработки решений на основе искусственного интеллекта (Git, Docker); Практическая подготовка на проектах отраслевых промышленных партнеров; Проектирование и разработка систем компьютерного зрения; Практикум по обработке естественного языка (NLP); Большие языковые модели**; Иностранный язык**; Русский язык (как иностранный)**; Иностранный язык в профессиональной деятельности**; Русский язык (как иностранный) в профессиональной	

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
		деятельности**; Технологическая (проектно-технологическая) практика (учебная); Эксплуатационная практика (учебная); Эксплуатационная практика (производственная); Технологическая (проектно-технологическая) практика (производственная);	
SS-3	Способен к критическому анализу, метарефлексии и переносу знаний при работе с системами ИИ	Эксплуатационная практика (учебная); Эксплуатационная практика (производственная); Технологическая (проектно-технологическая) практика (производственная); Теория вероятностей и математическая статистика; Искусственный интеллект и когнитивная психология; Этика и безопасность использования искусственного интеллекта; Статистические методы и первичный анализ данных; Методы машинного обучения; Нейронные сети; Безопасность систем искусственного интеллекта; Обработка и анализ изображений и видео с помощью методов искусственного интеллекта; Анализ естественного языка с помощью методов искусственного интеллекта; Правоведение; Введение в искусственный интеллект; Оптимизация моделей машинного обучения; Практическая подготовка на проектах отраслевых промышленных партнеров; Введение в компьютерное зрение; Проектирование и разработка систем компьютерного зрения; Практикум по обработке естественного языка (NLP); Основы программирования HTML - CSS - JavaScript**; Основы программирования на языке NodeJS**; Основы программирования на языке Go**; Основы программирования на языке Julia**; Основы робототехники**; Цифровые двойники**;	

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
		Информационный поиск**; Рекомендательные системы**; Философия; Большие языковые модели**;	
MF-4	Способен применять статистические методы для анализа данных, валидации моделей машинного обучения и проведения экспериментов в области ИИ	Эксплуатационная практика (производственная); Теория вероятностей и математическая статистика; Статистические методы и первичный анализ данных; Методы машинного обучения; Дифференциальные уравнения;	
BD-2	Способен определять требования к наборам данных для решения задач машинного обучения, проводить разметку и анализ наборов данных, оценивать качество данных, обеспечивать непрерывную интеграцию данных	Технологическая (проектно-технологическая) практика (учебная); Эксплуатационная практика (производственная); Статистические методы и первичный анализ данных; Методы машинного обучения; Практическая подготовка на проектах отраслевых промышленных партнеров; Введение в базы данных; Методы разработки решений на основе искусственного интеллекта (Git, Docker);	
BD-4	Способен применять различные модели и (или) технологии обработки больших данных	Эксплуатационная практика (производственная); Hadoop, SPARK; Массово-параллельные вычисления в машинном обучении (GPU);	
DL-1	Способен применять и (или) разрабатывать архитектуры глубоких нейронных сетей	Технологическая (проектно-технологическая) практика (производственная); Основы глубокого обучения; Нейронные сети; Практическая подготовка на проектах отраслевых промышленных партнеров; Проектирование и разработка систем компьютерного зрения; Анализ естественного языка с помощью методов искусственного интеллекта; Генеративные модели**; Практикум по обработке естественного языка (NLP); Большие языковые модели**; Обработка и анализ изображений и видео с помощью методов искусственного интеллекта;	
LC-5	Способен применять и (или) проектировать различные инструменты и инженерные практики промышленной разработки, развертывания,	Технологическая (проектно-технологическая) практика (производственная); Методы разработки решений на основе искусственного интеллекта (Git, Docker);	

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
	эксплуатации и мониторинга систем ИИ		
LLM-1	Способен применять и (или) разрабатывать генеративные модели и БЯМ	Основы глубокого обучения; Большие языковые модели**; Генеративные модели**; Безопасность систем искусственного интеллекта; Технологическая (проектно-технологическая) практика (производственная);	
FC-5	Способен проводить передовые исследования в области безопасности, доверия и объяснимости	Эксплуатационная практика (производственная); Эксплуатационная практика (учебная); Правоведение; Этика и безопасность использования искусственного интеллекта; Безопасность систем искусственного интеллекта; Практическая подготовка на проектах отраслевых промышленных партнеров; Методы машинного обучения;	

* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

** - элективные дисциплины /практики

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «MLOps и промышленная разработка систем искусственного интеллекта» составляет «4» зачетные единицы.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.		Семестр(-ы)
			8
<i>Контактная работа, ак.ч.</i>	70		70
Лекции (ЛК)	14		14
Лабораторные работы (ЛР)	0		0
Практические/семинарские занятия (СЗ)	56		56
<i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i>	47		47
<i>Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.</i>	27		27
Общая трудоемкость дисциплины	ак.ч.	144	ак.ч.
	зач.ед.	4	зач.ед.

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы *	Формируемые индикаторы
Раздел 1	Архитектура MLOps и автоматизация жизненного цикла ML	1.1	Введение в MLOps: принципы и уровни зрелости	Проблема: «модель работает в ноутбуке, но не в production». Технический долг ML-систем (Sculley et al., 2015). MLOps как дисциплина: DevOps + DataOps + ModelOps. Уровни зрелости: ML0 (ручной процесс), ML1 (автоматизация пайплайна), ML2 (CI/CD/CT). Роли: Data Scientist, ML Engineer, MLOps Engineer, Platform Engineer. Обзор MLOps-платформ: MLflow, Kubeflow, Vertex AI, ClearML. Связь с промышленными стандартами разработки ПО	ЛК	SS-1.1, LC-5.1, ОПК-8.2
		1.2	Архитектура ML-системы и оркестрация пайплайнов	Компоненты ML-системы: data ingestion → validation → transformation → training → evaluation → serving → monitoring. ML pipeline vs. ML system. Оркестрация: Airflow (DAG-based), Prefect (обзор), Kubeflow Pipelines (обзор). Паттерны: batch pipeline, streaming pipeline, online pipeline. Триггеры: schedule, event, drift signal. Feature Store: offline и online serving (Feast, обзор). Архитектурные решения: монолит vs. микросервисы для ML	ЛК	LC-5.1, LC-5.2, ПК-2.1
		1.3	CI/CD/CT для ML: непрерывная интеграция, доставка и обучение	CI для ML: тестирование кода + тестирование данных + тестирование модели. CD для ML: автоматическое развёртывание модели. CT (Continuous Training): автоматическое переобучение по триггеру. Паттерны развёртывания: shadow mode, canary, blue-green, A/B testing. Model Registry: стадии (Staging, Production, Archived). Rollback: откат на предыдущую версию модели. Связь CI/CD/CT с уровнями зрелости ML1 и ML2	ЛК	LC-5.2, ПК-3.2, SS-2.1
		1.4	Практикум: MLflow — эксперименты, модели, реестр	MLflow Tracking: логирование параметров, метрик, артефактов. MLflow Models: упаковка моделей (flavors: sklearn, pytorch, transformers). MLflow Model Registry: регистрация, версионирование, стадии. Deployment: MLflow serve, Docker. Практика: полный цикл от эксперимента до регистрации модели	СЗ	LC-5.1, LC-5.2
		1.5	Практикум: DVC — версионирование	DVC: dvc add, dvc push/pull, remote storage (S3/GCS/local).	СЗ	BD-2.3,

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы	Содержание темы	Вид учебной работы *	Формируемые индикаторы
		данных и пайплайнов	DVC pipelines: dvc.yaml, dvc.lock, dvc repro. Связь с Git: .dvc файлы в репозитории. Сравнение экспериментов: dvc metrics, dvc plots. Практика: создание воспроизводимого ML-пайплайна с DVC		LC-5.2
		1.6 Практикум: Airflow — оркестрация ML-пайплайна	Apache Airflow: DAG, Operator, Task, Schedule. Установка (Docker Compose). Создание DAG: data_extract → data_validate → train → evaluate → register. Sensors и triggers. XCom для передачи данных. Практика: оркестрация ML-пайплайна в Airflow	СЗ	LC-5.1, ПК-2.1
		1.7 Практикум: Feature Store (Feast)	Feast: архитектура (offline store, online store, registry). Определение feature views: entity, features, source. Материализация: offline → online. Загрузка признаков для обучения (get_historical_features) и инференса (get_online_features). Практика: настройка Feast, создание feature store для учебного проекта	СЗ	LC-5.1, BD-2.3
		1.8 Практикум: CI/CD для ML — GitHub Actions	CI pipeline для ML: lint → unit tests → data validation (great_expectations) → train on sample → evaluate → model regression test (accuracy ≥ threshold). CD: build Docker image → push to registry → deploy (при merge в main). Практика: настройка полного CI/CD для ML-проекта	СЗ	ПК-3.2, LC-5.2, SS-2.1
		1.9 Практикум: автоматическое переобучение (Continuous Training)	Триггеры СТ: schedule (cron), data drift signal, performance degradation. Пайплайн СТ: data pull → validate → train → evaluate → compare with production → promote/reject. Практика: реализация СТ-пайплайна с Airflow + MLflow: переобучение при обнаружении дрейфа	СЗ	LC-5.2, ПК-2.1
		1.10 Практикум: тестирование данных и модели в CI	Great Expectations: определение expectations (schema, null ratio, distribution), validation. Тестирование модели: determinism, invariance tests, directional expectations. Model regression test: метрика на фиксированном test set ≥ порог. Практика: интеграция data + model tests в CI pipeline	СЗ	ПК-3.2, BD-2.3, MF-4.3
		1.11 Практикум: паттерны развёртывания — canary и A/B	Canary deployment: 5% трафика на новую модель, мониторинг метрик, постепенное увеличение. A/B testing: рандомизация, размер выборки, статистический тест. Shadow mode: новая модель работает параллельно без влияния на пользователя. Практика: реализация canary	СЗ	ПК-2.2, SS-3.2

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы *	Формируемые индикаторы
				deploy с Nginx + FastAPI		
		1.12	Практикум: мини-проект — MLOps-пайплайн уровня ML1	Сквозная задача: DVC (данные) + Git (код) + MLflow (эксперименты, model registry) + Airflow (оркестрация) + FastAPI (serving) + Docker + CI/CD (GitHub Actions). Автоматизированный пайплайн: от данных до развёрнутой модели. Документирование: архитектурная диаграмма, описание компонентов	СЗ	LC-5.1, LC-5.2, ПК-2.1
Раздел 2	Мониторинг, LLMOps и управление инфраструктурой	2.1	Мониторинг ML-моделей в production	Типы дрейфа: data drift (covariate shift), concept drift, label drift. Методы обнаружения: PSI (Population Stability Index), KS-test, chi-squared, embedding drift (cosine distance). Мониторинг качества: проху metrics (confidence distribution, prediction distribution). Мониторинг системных метрик: latency, throughput, error rate, memory/GPU utilization. Инструменты: Evidently AI, NannyML, Prometheus + Grafana. Стратегии реагирования: alert → investigate → retrain → redeploy	ЛК	FC-5.3, DL-1.11, ПК-3.3
		2.2	LLMOps: развёртывание и обслуживание больших языковых моделей	Специфика LLM: размер моделей (7B–70B+), KV-cache, inference cost. Развёртывание: vLLM (PagedAttention), TGI (Text Generation Inference), Triton + TensorRT-LLM. Оптимизация: quantization (GPTQ, AWQ, GGUF), speculative decoding, continuous batching. Prompt management: версионирование промптов, evaluation. RAG в production: chunking, embedding pipeline, vector DB (Chroma, Qdrant, Milvus). Guardrails: input/output filtering, moderation. Мониторинг LLM: hallucination detection, toxicity, latency per token	ЛК	LLM-1.2, LLM-1.7, ПК-2.2
		2.3	Практикум: Evidently AI — мониторинг дрейфа данных	Evidently: Data Drift Report, Data Quality Report, Target Drift Report. Настройка порогов. Визуализация: drift per feature, distribution comparison. Интеграция: генерация отчётов в Airflow DAG, алерт при обнаружении дрейфа. Практика: настройка мониторинга для учебного проекта, симуляция дрейфа	СЗ	FC-5.3, DL-1.11
		2.4	Практикум: Prometheus + Grafana для ML-сервиса	Prometheus: metrics exposition (FastAPI + prometheus_client), scraping. Grafana: dashboards, panels, alerts. Метрики: request count, request latency seconds,	СЗ	ОПК-5.3, ПК-3.2

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы	Содержание темы	Вид учебной работы *	Формируемые индикаторы
			prediction_confidence_histogram, model_version. Практика: настройка dashboard для ML-сервиса, настройка алертов		
		2.5 Практикум: стратегия переобучения и rollback	Реализация: обнаружение дрейфа (Evidently) → триггер CT (Airflow) → переобучение → оценка → сравнение с production-моделью → promote или reject. Rollback: откат на предыдущую версию в MLflow Model Registry. Практика: end-to-end сценарий: drift → retrain → deploy → rollback	СЗ	LC-5.2, ПК-2.2
		2.6 Практикум: развёртывание LLM (vLLM)	vLLM: установка, загрузка модели (Mistral-7B / Llama-3.1-8B). API server: OpenAI-compatible endpoint. Параметры: max_model_len, tensor_parallel_size, quantization. Замеры: tokens/sec, latency, throughput. Практика: развёртывание LLM в Docker, нагрузочное тестирование	СЗ	LLM-1.2, ПК-2.1
		2.7 Практикум: RAG в production	Production RAG-пайплайн: document ingestion → chunking → embedding (sentence-transformers) → vector store (Chroma/Qdrant) → retrieval → prompt composition → LLM generation. Evaluation: retrieval accuracy, answer faithfulness, RAGAS (обзор). Практика: развёртывание RAG-системы как сервиса (FastAPI + Docker)	СЗ	LLM-1.7, FC-5.2
		2.8 Практикум: guardrails и безопасность LLM	Prompt injection: типы атак, методы защиты (input sanitization, system prompt hardening). Output filtering: toxicity detection, PII detection. Guardrails: NeMo Guardrails (обзор), LangChain output parsers. Rate limiting. Практика: добавление guardrails к RAG-системе, тестирование на adversarial inputs	СЗ	LLM-1.7, FC-5.3
		2.9 Практикум: управление инфраструктурой — Docker Compose и Kubernetes (обзор)	Docker Compose для ML-платформы: MLflow server + PostgreSQL + MinIO + Airflow + serving + monitoring. Kubernetes (обзор): pod, deployment, service, HPA (Horizontal Pod Autoscaler). Облачные ML-платформы: Yandex Cloud ML, AWS SageMaker, GCP Vertex AI (обзор). Практика: развёртывание MLOps-стека через Docker Compose	СЗ	ОПК-5.2, ПК-2.1
		2.10 Практикум: оценка стоимости и экономическое обоснование	Стоимость: GPU-часы (обучение и инференс), хранение данных и моделей, сетевой трафик. TCO (Total Cost of Ownership) ML-системы. ROI ML-проекта: метрики бизнес-ценности. Оценка: сколько стоит одно предсказание, один запрос к LLM. Оптимизация: spot instances, autoscaling,	СЗ	УК-10.2, ПК-1.2

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы *	Формируемые индикаторы
				model compression. Практика: расчёт ТСО для учебного ML-проекта		
		2.11	Практикум: мини-проект — мониторинг и LLMOps	Сквозная задача: ML-сервис + мониторинг (Evidently + Prometheus/Grafana) + алерты + автоматическое переобучение ИЛИ RAG-система (vLLM + vector DB + FastAPI + guardrails + мониторинг). Документирование: архитектура, runbook (инструкция по эксплуатации)	СЗ	FC-5.3, LLM-1.2, ПК-2.2
Раздел 3	Governance, документирование и промышленная практика	3.1	ML Governance: управление рисками и соответствие	ML Governance: политики, процедуры, контрольные точки. AI Act и уровни риска (повторение в контексте MLOps). Model Risk Management: валидация, challenger models, model inventory. Аудит ML-систем: checklist, lineage (происхождение данных и модели), reproducibility. Responsible AI: fairness monitoring, bias detection в production. Incident management: что делать при сбое ML-модели	ЛК	FC-5.2, FC-5.3, SS-3.2
		3.2	Организация промышленной разработки ИИ	Структура ML-команды: роли, компетенции, взаимодействие. ML Design Doc: формат планирования ML-проекта перед началом разработки. Agile для ML: специфика спринтов (эксперименты vs. features). Технический долг в ML: данные, модели, пайплайны, инфраструктура. Культура: experiment-driven, data-driven, fail fast. Связь с промышленными стандартами: ISO 42001, ГОСТ (обзор)	ЛК	SS-2.1, SS-2.2, ОПК-4.3
		3.3	Практикум: ML Design Doc	Формат: Problem Statement, Proposed Solution, Data, Model, Metrics (offline + online), Infrastructure, Risks, Timeline, Success Criteria. Практика: составление ML Design Doc для реального проекта (из предыдущих дисциплин). Peer review документов между студентами	СЗ	ПК-1.2, ОПК-4.2
		3.4	Практикум: Model Card и Datasheet в MLOps-контексте	Model Card (повторение): интеграция с Model Registry, автоматическая генерация из MLflow метаданных. Datasheet: интеграция с DVC, автоматическая генерация статистик. Практика: скрипт автоматической генерации Model Card из MLflow run	СЗ	FC-5.2, ОПК-4.2
		3.5	Практикум: lineage и воспроизводимость	Data lineage: откуда пришли данные, какие трансформации применены. Model lineage: какие данные, код,	СЗ	BD-2.3, LC-5.2

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы	Содержание темы	Вид учебной работы *	Формируемые индикаторы
			гиперпараметры породили модель. Инструменты: MLflow + DVC + Git → полный граф происхождения. Практика: восстановление полного lineage для обученной модели, проверка воспроизводимости		
		3.6 Практикум: runbook и incident management	Runbook (операционная инструкция): как развернуть, как мониторить, как реагировать на алерты, как откатить модель, как переобучить. Incident response: обнаружение → диагностика → митигация → root cause analysis → prevention. Практика: составление runbook для ML-сервиса учебного проекта	СЗ	ОПК-4.3, ПК-2.2
		3.7 Практикум: аудит ML-системы	Чек-лист аудита: данные (качество, bias, privacy), модель (метрики, fairness, robustness), инфраструктура (availability, security), процессы (CI/CD, мониторинг, документация). Практика: проведение аудита ML-системы из учебного проекта, формирование отчёта с рекомендациями	СЗ	FC-5.3, SS-3.2
		3.8 Практикум: безопасность ML-систем	Угрозы: adversarial attacks, data poisoning, model stealing, prompt injection (для LLM). Защита: input validation, rate limiting, anomaly detection, model watermarking (обзор). Secure ML pipeline: secrets management, access control, audit log. Практика: threat modeling для ML-системы, реализация базовых мер защиты	СЗ	ОПК-5.3, FC-5.3
		3.9 Практикум: технический долг и рефакторинг ML-системы	Типы технического долга в ML: configuration debt, data dependency debt, pipeline jungles, dead experimental codepaths, undeclared consumers. Выявление: code review, architecture review. Рефакторинг: выделение компонентов, стандартизация интерфейсов, удаление мёртвого кода. Практика: аудит технического долга учебного проекта, план рефакторинга	СЗ	SS-2.2, ОПК-8.2
		3.10 Практикум: итоговый проект — промышленная ML-система	Финальная интеграция всех компонентов: DVC (данные) + Git (код) + MLflow (эксперименты, registry) + Feast (features) + Airflow (оркестрация СТ) + FastAPI (serving) + Docker Compose (инфраструктура) + CI/CD (GitHub Actions) + Evidently + Prometheus/Grafana (мониторинг) + guardrails. Документация: ML Design Doc, Model Card, Datasheet, API spec, runbook, архитектурная диаграмма, расчёт TCO.	СЗ	LC-5.1, LC-5.2, ПК-2.1, ПК-1.2, ПК-3.3

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы *	Формируемые индикаторы
				Защита: презентация (20 мин) + live demo + вопросы. Критерии: полнота пайплайна, автоматизация, мониторинг, документация, обоснование решений		

* - заполняется только по **ОЧНОЙ** форме обучения: ЛК – лекции; ЛР – лабораторные работы; СЗ – практические/семинарские занятия.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Лекционная	Аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	
Семинарская	Аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная комплектом специализированной мебели и техническими средствами мультимедиа презентаций.	Персональные компьютеры, необходимое ПО
Для самостоятельной работы	Аудитория для самостоятельной работы обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС.	Персональные компьютеры, необходимое ПО

* - аудитория для самостоятельной работы обучающихся указывается **ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. «Золкин, А. Л. Машинно-ориентированные языки программирования в сфере искусственного интеллекта : учебное пособие для вузов / А. Л. Золкин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — 168 с. — ISBN 978-5-507-56208-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/514155> » (Золкин, А. Л. Машинно-ориентированные языки программирования в сфере искусственного интеллекта : учебное пособие для вузов / А. Л. Золкин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — ISBN 978-5-507-56208-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/514155>

2. Баланов, А. Н. Машинное обучение и искусственный интеллект : учебное пособие для вузов / А. Н. Баланов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — 172 с. — ISBN 978-5-507-54962-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/513580>

Дополнительная литература:

1. Искусственный интеллект. Лабораторный практикум : учебное пособие для вузов / А. И. Галиева, Г. И. Галиева, В. Г. Дмитриев, Ф. А. Баязитов. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — 316 с. — ISBN 978-5-507-54528-5. — Текст : электронный // Лань :

электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/516483>

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров

- Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН
<https://mega.rudn.ru/MegaPro/Web>

- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>

- ЭБС «Юрайт» <http://www.biblio-online.ru>

- ЭБС «Консультант студента» www.studentlibrary.ru

- ЭБС «Знаниум» <https://znanium.ru/>

2. Базы данных и поисковые системы

- Sage <https://journals.sagepub.com/>

- Springer Nature Link <https://link.springer.com/>

- Wiley Journal Database <https://onlinelibrary.wiley.com/>

- Научометрическая база данных Lens.org <https://www.lens.org>

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля:*

1. Курс лекций по дисциплине «MLOps и промышленная разработка систем искусственного интеллекта».

* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**