

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король

27 июня 2025 г.

Регистрационный № УД-14096/уч.



**МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА БИОМЕДИЦИНСКИХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

1-31 03 04 Информатика

2025 г.

Учебная программа составлена на основе на основе ОСВО 1-31 03 04-2021;
учебного плана БГУ: № G31-1-213/уч от 22.03.2022.

СОСТАВИТЕЛЬ:

В.А.Ковалев, доцент кафедры биомедицинской информатики факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТ:

А.В.Конюх, доцент кафедры высшей математики факультета цифровой экономики УО «Белорусский государственный экономический университет», кандидат физико-математических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой биомедицинской информатики БГУ
(протокол № 12 от 12.06.2025)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 11 от 26.06.2025)

Заведующий кафедрой



В.И.Белько



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью преподавания дисциплины специализации является ознакомление студентов с основными направлениями развития исследований в области анализа цифровых изображений, изучении существующих методов и алгоритмов количественного описания структуры и содержания изображений, а также в приобретении навыков решения прикладных задач, связанных с количественным анализом, классификацией и распознаванием изображений на основе современных программных средств. При изложении материала основное внимание уделяется биомедицинским изображениям различных типов. Преподавание дисциплины специализации в значительной мере базируется на рассмотрении реальных биомедицинских изображений различных модальностей, разборе типовых задач анализа, классификации и распознавания, а также на использовании соответствующего базового программного обеспечения.

Задачи учебной дисциплины:

- знакомство с основными типами биомедицинских изображений, принципами формирования сигнала и типичными техническими характеристиками;
- формирование четкого представления об основных типах количественных признаков (форма, цвет, текстура), характеризующих цифровые изображения;
- развитие навыков по извлечению/вычислению количественных признаков и формированию дескрипторов изображений;
- изучение базовых методов решения задач кластеризации, классификации и идентификации изображений на основе их дескрипторов;
- развитие навыков корректного формирования контрольных групп изображений и практического использования базовых статистических методов для их анализа, выявления статистически значимых 3 взаимосвязей, а также для поиска и количественного описания зависимостей;
- формирование навыков практического использования существующих программных реализаций классификаторов;
- изучение принципов работы сверточных нейронных сетей и базовых элементов технологии глубокого обучения (Deep Learning);
- формирование у обучающихся целостного представления о методах и средствах анализа биомедицинских изображений.
- формирование мотивации к самостоятельным исследованиям в области анализа биомедицинских изображений

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к дисциплинам специализации модуля «Программное обеспечение систем автоматизации».

Программа составлена с учетом межпредметных связей с учебными дисциплинами. Основой для изучения дисциплины являются следующие учебные дисциплины первой ступени высшего образования: «Методы и алгоритмы анализа данных», «Теория вероятностей и математическая статистика» и «Дискретная математика». Знания, полученные в учебной дисциплине, могут быть использованы при выполнении студентами курсовой и выпускной квалификационной работ, и являются необходимыми для успешной работы в сфере прикладной математики и информатики, а также для иной профессиональной деятельности по данной специальности.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Методы интеллектуального анализа биомедицинских изображений» должно обеспечить формирование следующей специализированной компетенции:

Использовать современное программное обеспечение для решения теоретических и практических задач анализа изображений в области научных исследований и диагностики заболеваний; иметь целостное представление о методах и средствах анализа биомедицинских изображений, уметь провести системный анализ проблемы и предложить способ ее решения.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать: основные понятия компьютерного моделирования биомолекул, структурной биологии, биофизики, биоорганической химии, биомедицины и смежных дисциплин; основные типы задач структурной биологии, биофизики, биоорганической химии и биомедицины, решаемых методами компьютерного молекулярного моделирования; алгоритмические подходы, применяемые в компьютерном моделировании биомолекул, и их характеристики; ряд методов компьютерного моделирования биомолекул для решения конкретных практических задач; основные базы данных химических соединений и биоинформационные ресурсы; ряд методов виртуального скрининга молекулярных библиотек для обнаружения химических соединений с заданными структурно-функциональными свойствами.

уметь: пользоваться основными пакетами программ для построения пространственной структуры белков и визуального представления их структуры; пользоваться основными пакетами программ для исследования динамических характеристик белков методами молекулярной динамики; пользоваться основными пакетами программ молекулярного докинга для построения и анализа структурных комплексов белков с потенциальными лекарствами; пользоваться основными биоинформационическими серверами для компьютерного скрининга баз данных химических соединений.

владеть: научной терминологией данного раздела науки; устойчивыми навыками рационального использования методов компьютерного моделирования биологических молекул; базовыми навыками и умениями применения адекватного математического аппарата для решения задач компьютерного молекулярного моделирования.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 7-м семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Прикладные аспекты компьютерного моделирования» отведено для очной формы получения высшего образования – 200 часов, в том числе 72 аудиторных часа. **Из них:**

лекции – 36 часа, лабораторные занятия – 30 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел I. Введение в методы и алгоритмы анализа цифровых изображений

Тема 1.1 Цели и задачи анализа изображений и их типы

Цели и задачи анализа изображений. Обзор основных типов биомедицинских изображений, способов их формирования и типичные технические характеристики. Цифровые микроскопические, радиологические (рентгенологические) и ультразвуковые изображения. Двумерные и трехмерные (объемные) изображения. Рентгеновская, магнитно-резонансная томография. Функциональная томография. Конфокальная микроскопия.

Тема 1.2 Основные типы задач анализа изображений

Наиболее распространенные типы прикладных задач анализа изображений. Кластеризация, классификация и идентификация изображений. Задачи, сводимые к линейной регрессионной модели. Риски, связанные с нелинейной регрессией.

Раздел II. Количественные параметры изображений и методы их вычисления

Тема 2.1 Фундаментальные свойства и количественные параметры (признаки) изображений

Ограниченност «прямого» попиксельного сравнения цифровых растровых изображений и роль параметров изображений. Терминологические замечания относительно использования терминов «признак» и «параметр» в русскоязычной и англоязычной (международной) литературе. Различия между анализом и обработкой изображений. Типовая схема анализа изображений.

Фундаментальные свойства изображений: форма, цвет, текстура. Однородные и неоднородные изображения. Сегментация (выделение объектов) изображений и алгоритмы анализа/картирования свойств изображений на основе техники скользящего окна.

Тема 2.2 Алгоритмы сегментации изображений

Краткий обзор алгоритмов сегментации изображений

Тема 2.3 Описание и распознавание 2D формы

Методы количественного описания 2D (плоской) формы объектов. Примеры задач анализа формы клеток на микроскопических изображениях, формы легких на рентгеновских снимках и формы тела морских животных.

Тема 2.4 Цветовые признаки изображений

Гистограммы уровней серого тона как дескрипторы изображений и их ограничения. Калориметрические (цветовые) признаки изображений и методы анализа цветовых свойств. Стандартные цветовые пространства, их особенности и предпочтительные условия применения. Редуцирование цветового пространства. Проблема двухкомпонентного зрения у людей. Виды цвето-аномального зрения. Способы повышения цветового контраста.

Тема 2.5 Описание и анализ текстур

Текстурные изображения и способы их количественного описания. Матрицы совместной встречаемости Харалика и алгоритмы вычисления текстурных признаков на их основе. Понятие анизотропии текстур. Особенности анализа цветных текстур. Параметры анизотропии текстур и способы их вычисления для 2D и 3D изображений. Обобщенный градиент и обобщенная анизотропия. Случайные текстуры. Примеры случайных текстур среди реальных биомедицинских изображений. Проблема невидимости границ областей с одинаковыми статистическими моментами порядка 1 и 2.

Тема 2.6 Локальные бинарные шаблоны

Аппарат локальных бинарных шаблонов (Local Binary Patterns, LBP), основные виды LBP и способы применения LBP дескрипторов.

Тема 2.7 Обобщенные матрицы совместной встречаемости

Обобщенные матрицы совместной встречаемости, способы их конструирования и использования для анализа 2D формы, полутоночных и цветных 2D изображений, 3D томографических изображений, 3D формы объектов, а также цветных текстур.

Раздел III. Сравнение, классификация и распознавание изображений

Тема 3.1 Статистический анализ изображений

Базовые методы статистического анализа (t-тест, ANOVA, линейная регрессия, метод главных компонент) и их использование при решении задач анализа биомедицинских изображений. Свободное программное обеспечение для статистического анализа изображений.

Тема 3.2 Типовые задачи распознавания изображений

Задачи кластеризации, классификации и идентификации изображений. Задачи на предсказание и регрессионные модели. Линейная и нелинейная разделимость в пространстве признаков.

Тема 3.3 Методы классификации и классификаторы

Методы классификации и наиболее популярные классификаторы (kNN, метод опорных векторов и др.). Свободное программное обеспечение для решения задач классификации, его виды и особенности использования.

Тема 3.4 Примеры задач классификации биомедицинских изображений (1)

Типичные примеры задач кластеризации, классификации, идентификации и предсказания. Примеры практических задач по распознаванию клеток, находящихся в состоянии митоза и апоптоза, классификации ЯМР томограмм головного мозга больных шизофренией.

Тема 3.5 Примеры задач классификации биомедицинских изображений (2)

Задача локализации метастазов на гистологических изображениях и количественной оценки изменений головного мозга в процессе естественного старения.

Раздел IV. Сверточные нейронные сети и глубокое обучение

Тема 4.1 Искусственный интеллект и новые направления в области распознавания изображений

Новейшие методы анализа, распознавания и классификации изображений, основанные на технологиях глубокого обучения (Deep Learning) и искусственного интеллекта. Наиболее значительные достижения в области диагностики заболеваний и анализа изображений биологических объектов.

Тема 4.2 Сверточные нейронные сети и технология глубокого обучения

Общая структура сверточных нейронных сетей. Что такое размеченные изображения и проблемы профессиональной разметки в биологии и медицине. Использование сверточных сетей для генерации дескрипторов изображений. Популярные пре-тренированные сети (AlexNet, GoogLeNet и др.) и свободный международный обмен сетями.

Тема 4.3 Использование сверточных сетей при решении задач анализа и распознавания изображений

Проблема обучения сверточных сетей и типовые размеры обучающих выборок. Способы аугментации изображений. Возможности по увеличению обучающих выборок за счет автоматической генерации правдоподобных медицинских изображений с помощью генеративно-состязательных нейронных сетей. Существующие базовые программные комплексы глубокого обучения, способы их использования при решении задач анализа и распознавания изображений, необходимые компьютерные компоненты и ресурсы. Примеры использования сверточных сетей для решения задач классификации рентгеновских изображений грудной клетки и диагностики рака мягких тканей (щитовидная железа, яичники, легкое).

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий
(ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	Введение в методы и алгоритмы анализа цифровых изображений							
1.1	Цели и задачи анализа изображений и их типы	4						<i>Устный опрос</i>
1.2	Основные типы задач анализа изображений	4			2			<i>Устный опрос Отчет о лабораторной работе</i>
II	Количественные параметры изображений и методы их вычисления							
2.1	Фундаментальные свойства и количественные параметры (признаки) изображений	2						<i>Устный опрос</i>
2.2	Краткий обзор алгоритмов сегментации изображений	2						<i>Устный опрос</i>
2.3	Описание и распознавание 2D формы	2			6			<i>Отчет о лабораторной работе</i>
2.4	Цветовые признаки изображений	2						
2.5	Описание и анализ текстур	2						

2.6	Локальные бинарные шаблоны						
2.7	Обобщенные матрицы совместной встречаемости						
III	Сравнение, классификация и распознавание изображений						
3.1	Статистический анализ изображений	4			6		<i>Отчет о лабораторной работе</i>
3.2	Типовые задачи распознавания изображений	2			4		<i>Устный опрос</i> <i>Отчет о лабораторной работе</i>
3.3	Методы классификации и классификаторы	2			4	2	<i>Устный опрос</i>
3.4	Примеры задач классификации биомедицинских изображений (1)						
3.5	Примеры задач классификации биомедицинских изображений (2)						
IV	Сверточные нейронные сети и глубокое обучение						
4.1	Искусственный интеллект и новые направления в области распознавания изображений	2			2		<i>Отчет о лабораторной работе</i>
4.2	Сверточные нейронные сети и технология глубокого обучения	2			2	2	<i>Устный опрос</i> <i>Отчет о лабораторной работе</i>
4.3	Использование сверточных сетей при решении задач анализа и распознавания изображений	2			2	2	<i>Отчет о лабораторной работе</i>
		36			30	6	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Селянкин В.В. Компьютерное зрение. Анализ и обработка изображений: Учебное пособие для вузов. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 152 с.
2. Юмагулов, М. Г. Введение в нелинейную динамику: теория, приложения, модели: Учебное пособие для вузов. - Санкт-Петербург: Лань, 2024. - 368 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/382073>.
3. Горлач, Б. А. Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация : учебное пособие для студентов вузов, / Б. А. Горлач, В. Г. Шахов. - Изд. 5-е, стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2023. - 291 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/305219>.

Дополнительная литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Перевод с английского, третье издание, ISBN 978-5-94836-331-8, 2012, 1104 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде Матлаб. Техносфера, М., 2006.
3. Ковалев В.А. Анализ текстуры трехмерных медицинских изображений. Минск: Белорусская наука, 2008, ISBN 978-985-08-0905-6. – 264 с.
4. Анищенко В.В., Ванькевич П.Е., Ковалев В.А., Куцан Н.В., Лапицкий В.А., Линев В.Н. Применение цифровых сканирующих аппаратов и передовых телемедицинских технологий в диагностике заболеваний легких. – Минск, ОИПИ НАН Беларуси, 2010. – 136 С.
5. Kovalev V. and Volmer S. Color Co-Occurrence Descriptors for Querying by-Example, Int. Conf. on Multimedia Modelling, Oct. 12-15, Lausanne, Switzerland, IEEE Comp. Society Press, pp. 32-38, 1998.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений поэтапным и конечным требованиям образовательной программы создаются фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы и тесты. Оценочными средствами предусматривается оценка способности обучающихся к творческой деятельности, их готовность

вести поиск решения новых задач, связанных с недостаточностью конкретных специальных знаний и отсутствием общепринятых алгоритмов.

Для диагностики компетенций в рамках учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы:

1. Устная форма: опросы, устная защита лабораторных работ.
2. Письменная форма: отчеты по лабораторным работам, оценивание на основе модульно-рейтинговой системы, 4 контрольные работы.

Примерный перечень тем контрольных работ

1. Виртуальный скрининг потенциальных лекарственных препаратов в базах данных химических соединений.
2. Компьютерное моделирование структурных комплексов низкомолекулярных химических соединений с биологическими мишенями методом молекулярного докинга.
3. Типы биомедицинских изображений, их особенности и области применения.
4. Основные виды количественных параметров, описывающих форму, цвет и текстуру изображений, а также способы их извлечения.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса большинства практических занятий используется *практико-ориентированный подход*, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности.

Также при организации образовательного процесса используются *методы группового обучения, проектного обучения и учебной дискуссии*. Студентам предлагается выполнить часть домашних заданий в форме проекта в группах до 4 человек. Задания предполагают предварительное обсуждение в форме мозгового штурма.

Выполнение проекта предусматривает самостоятельную работу с научными и техническими источниками по теме курса, самостоятельный поиск и выбор способа решения задачи, составление плана и разделение задач между участниками группы.

В конце курса предусмотрена устная защита проекта с критическим анализом идей, сгенерированных в ходе мозгового штурма, и ретроспективой выполненной работы.

Комбинация методов предполагает

- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- способ организации учебной деятельности студентов, развивающий актуальные для учебной и профессиональной деятельности навыки планирования, самоорганизации, сотрудничества и предполагающий создание собственного продукта;
- приобретение навыков для решения исследовательских, творческих, социальных, предпринимательских и коммуникационных задач.
- появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине следует использовать современные информационные технологии: разместить в сетевом доступе комплекс учебных и учебно-методических материалов (учебно-программные материалы, учебное издание для теоретического изучения дисциплины, презентации лекций, методические указания к практическим занятиям, электронные версии домашних заданий, материалы текущего контроля и промежуточной аттестации, позволяющие определить соответствие учебной деятельности обучающихся требованиям образовательного стандарта высшего образования и учебно-программной документации, в том числе вопросы для подготовки к зачету, задания, вопросы для самоконтроля, список рекомендуемой литературы, информационных ресурсов и др.).

Управляемая самостоятельная работа (консультационно-методическая поддержка и контроль) дисциплины обеспечивается средствами образовательного портала БГУ LMS Moodle.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Введение в методы и алгоритмы анализа цифровых изображений
2. Цели и задачи анализа изображений и их типы
3. Основные типы задач анализа изображений
4. Количественные параметры изображений и методы их вычисления
5. Фундаментальные свойства и количественные параметры (признаки) изображений
6. Краткий обзор алгоритмов сегментации изображений
7. Описание и распознавание 2D формы
8. Цветовые признаки изображений

9. Описание и анализ текстур
- 10.Локальные бинарные шаблоны
- 11.Обобщенные матрицы совместной встречаемости
- 12.Сравнение, классификация и распознавание изображений
- 13.Статистический анализ изображений
- 14.Типовые задачи распознавания изображений
- 15.Методы классификации и классификаторы
- 16.Примеры задач классификации биомедицинских изображений
- 17.Сверточные нейронные сети и глубокое обучение
- 18.Искусственный интеллект и новые направления в области распознавания изображений
- 19.Сверточные нейронные сети и технология глубокого обучения
- 20.Использование сверточных сетей при решении задач анализа и распознавания изображений

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятное кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой биомедицинской информатики

кандидат физико-математических наук, доцент



В.И.Белько

12.06.2025

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО
на _____ / _____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № _____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета