

## Формирование междисциплинарных компетенций у магистрантов средствами проектного обучения

## Development of interdisciplinary competences in graduate students by means of project-based learning

### Авторы статьи

**Путрик Максим Борисович**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры экспери-  
ментальной физики ФГАОУ ВО «Уральский федераль-  
ный университет имени первого Президента России  
Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Российская Федерация  
m.b.putrik@urfu.ru  
ORCID ID: 0000-0001-6358-9746

**Баранова Анна Александровна**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры экспери-  
ментальной физики ФГАОУ ВО «Уральский федераль-  
ный университет имени первого Президента России  
Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Российская Федерация  
a.a.baranova@urfu.ru  
ORCID ID 0000-0002-3020-3832

**Таврунова Наталья Юрьевна**,  
аспирант, ассистент, инженер-исследователь ка-  
федры экспериментальной физики ФГАОУ ВО «Ураль-  
ский федеральный университет имени первого Пре-  
зидента России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Россий-  
ская Федерация  
n.iu.ofitserova@urfu.ru  
ORCID ID: 0000-0001-8840-9908

### Конфликт интересов

Конфликт интересов не указан

### Для цитирования

Путрик М. Б., Баранова А. А., Таврунова Н. Ю. Форми-  
рование междисциплинарных компетенций у маги-  
странтов средствами проектного обучения // Научно-  
методический электронный журнал «Концепт». –  
2026. – № 04. – С. 145–159. – URL: <https://e-koncept.ru/2026/261088.htm> – DOI: 10.24412/2304-120X-2026-11088

### Authors of the article

**Maxim B. Putrik**,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Department of Experimental Physics, Ural Federal Uni-  
versity named after the first President of Russia B.N. Yelt-  
sin, Yekaterinburg, Russian Federation  
m.b.putrik@urfu.ru  
ORCID ID: 0000-0001-6358-9746

**Anna A. Baranova**,  
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Department of Experimental Physics, Ural Federal Uni-  
versity named after the first President of Russia B.N. Yelt-  
sin, Yekaterinburg, Russian Federation  
a.a.baranova@urfu.ru  
ORCID ID 0000-0002-3020-3832

**Natalia Yu. Tavrunova**,  
Postgraduate Student, Assistant, Research Engineer, De-  
partment of Experimental Physics, Ural Federal Univer-  
sity named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,  
Yekaterinburg, Russian Federation  
n.iu.ofitserova@urfu.ru  
ORCID ID: 0000-0001-8840-9908

### Conflict of interest statement

Conflict of interest is not declared

### For citation

M. B. Putrik, A. A. Baranova, N. Yu. Tavrunova, Develop-  
ment of interdisciplinary competences in graduate stu-  
dents by means of project-based learning // Scientific-  
methodological electronic journal "Koncept". – 2026. –  
No. 04. – P. 145–159. – URL: <https://e-koncept.ru/2026/261088.htm> – DOI: 10.24412/2304-120X-2026-11088

Поступила в редакцию <i>Received</i>	20.01.26	Получена положительная рецензия <i>Received a positive review</i>	02.03.26
Принята к публикации <i>Accepted for publication</i>	02.03.26	Опубликована <i>Published</i>	30.04.26



## Аннотация

Актуальность исследования обусловлена необходимостью преодоления разрыва между теоретической подготовкой биомедицинских инженеров и практическими требованиями современной цифровой медицины. Стремительное развитие таких областей, как компьютерная томография, 3D-визуализация и аддитивное производство, а также конкретный запрос медицинской индустрии на специалистов, способных выполнять полный цикл создания персонализированных биомедицинских моделей, делают критически важным формирование у обучающихся комплексных навыков обработки медицинских данных, алгоритмизации и трехмерного моделирования. Реализация междисциплинарных проектов, имитирующих сквозные технологические процессы, рассматривается как действенный педагогический инструмент для формирования этих практико-ориентированных компетенций в рамках инженерного образования. Цель работы – обосновать и эмпирически проверить педагогическую эффективность метода проектного обучения в формировании междисциплинарных профессиональных компетенций у магистрантов технических направлений на примере разработки цифровой 3D-модели биомедицинского объекта. На примере сквозного проекта по созданию 3D-модели слепка зубного ряда на основе данных метода компьютерной томографии авторы анализируют, как подобная практика позволяет интегрировать знания из областей медицинской визуализации, алгоритмизации, математического моделирования и цифрового производства, формируя у студентов комплексные навыки для решения реальных задач на стыке техники и медицины. Установлена и эмпирически подтверждена педагогическая эффективность предложенной методики. Реализация курса показала, что проектный подход способствует не только усвоению предметных знаний, но и целенаправленному формированию у магистрантов ключевых междисциплинарных компетенций: алгоритмического мышления, навыков работы с медицинскими данными, пространственного моделирования и понимания сквозных инженерных процессов. Теоретическая значимость работы заключается в конкретизации принципов проектного подхода применительно к области биотехнических систем, что вносит вклад в педагогику инженерного образования, особенно в аспекте интеграции математического моделирования, обработки медицинских данных и цифрового производства в единый образовательный контур. Практическая значимость подтверждается успешной реализацией проекта, в ходе которой студенты освоили полный цикл разработки: обработку DICOM-изображений, синтез алгоритма трехмерной реконструкции и экспорт в STL-формат для 3D-печати. Разработанная методика может быть тиражирована для подготовки специалистов на стыке инженерии и медицины.

## Ключевые слова

дизайн курса, математическое моделирование, биотехнические системы, проектное обучение, компетентностный подход, инженерное образование

## Благодарности

Авторы выражают признательность Физико-технологическому институту в лице директора кандидата физико-математических наук, доцента В. Ю. Иванова за организационно-методическую поддержку в процессе подготовки статьи.

## Abstract

The relevance of the study is driven by the necessity to fill the gap between the theoretical training of biomedical engineers and the practical demands of modern digital medicine. The rapid development of such fields as computed tomography, 3D visualization and additive manufacturing, along with a specific demand from the medical industry for specialists capable of executing the full cycle of creating personalized biomedical models, make it critical for students to develop comprehensive skills in medical data processing, algorithmization, and three-dimensional modeling. The implementation of interdisciplinary projects that simulate end-to-end technological processes is considered an effective pedagogical tool for developing these practice-oriented competences within engineering education. The aim of this work is to substantiate and empirically test the pedagogical effectiveness of the project-based learning method for the development of interdisciplinary professional competences in technical fields among graduate students, using the development of a digital 3D model of a biomedical object as a case study. Through the example of an end-to-end project involving the creation of a 3D model of a dental cast based on computed tomography data, the authors analyze how such practice allows for the integration of knowledge from medical imaging, algorithm development, mathematical modeling, and digital manufacturing. This approach develops in students the complex skills required to solve real problems at the intersection of engineering and medicine. The pedagogical effectiveness of the proposed methodology has been recognized and empirically confirmed. The course implementation demonstrated that the project-based approach not only facilitated the acquisition of subject-specific knowledge but also promoted the targeted development of key interdisciplinary competences among graduate students: algorithmic thinking, skills in working with medical data, spatial modeling, and an understanding of integrated engineering processes. The theoretical significance of the work lies in the concretization of Project-Based Learning (PBL) principles in the field of biotechnical systems, thereby contributing to the pedagogy of engineering education, particularly in integrating mathematical modeling, medical data processing and digital manufacturing into a unified educational framework. Practical significance is confirmed by the successful implementation of the project, during which students mastered the full development cycle: processing DICOM images, synthesizing a 3D reconstruction algorithm, and exporting to STL format for 3D printing. The developed methodology can be replicated for training specialists at the intersection of engineering and medicine.

## Key words

course design, mathematical modeling, biotechnical systems, project-based learning, competence-based approach, engineering education

## Acknowledgements

The authors express their gratitude to the Institute of Physics and Technology, represented by its director, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor V. Yu. Ivanov, for their organizational and methodological support in the preparation of this article.

**Введение / Introduction**

Современные вызовы, стоящие перед инженерным образованием, требуют перехода от традиционных методов обучения к практико-ориентированным моделям, обеспечивающим формирование у студентов не только теоретических знаний, но и комплекса профессиональных компетенций. Проектно-ориентированное обучение (Project-Based Learning, PBL) доказало свою эффективность как педагогическая методика, обеспечивающая преодоление разрыва между академическими знаниями и реальными профессиональными требованиями.

Целью данной работы является теоретическое обоснование и эмпирическая проверка педагогической эффективности метода PBL в формировании междисциплинарных профессиональных компетенций у магистрантов технических направлений. Исследование выполнено на конкретном примере разработки цифровой 3D-модели биомедицинского объекта – слепка зубного ряда.

Статья посвящена анализу реализации сквозного образовательного проекта, включающего полный цикл – от данных метода компьютерной томографии в формате DICOM до готового прототипа в виде STL-файла для 3D-печати. В рамках проекта авторы исследуют, как интеграция знаний из медицинской визуализации, алгоритмизации, математического моделирования и аддитивных технологий способствует развитию у студентов комплексных навыков для решения актуальных инженерно-медицинских задач.

Актуальность исследования обусловлена стратегическим курсом Российской Федерации на технологический суверенитет и развитие наукоемких секторов экономики, в первую очередь высокотехнологичного здравоохранения. Внедрение цифровых и аддитивных технологий в медицину является не только мировым трендом, но и прямым требованием ключевых государственных документов.

Во-первых, обновленная Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (утвержденная Указом Президента РФ от 28.02.2024 № 145) [1] определяет «персонализированную медицину» и «высокотехнологичное здравоохранение» в числе критически важных приоритетов. Это создает прямой государственный заказ на подготовку инженерных кадров, способных разрабатывать и внедрять персонализированные решения, в том числе с использованием технологий медицинского 3D-моделирования и прототипирования.

Во-вторых, федеральная программа «Приоритет-2030», направленная на концентрацию ресурсов для достижения национальных целей развития, ставит перед университетами задачу трансформации образовательного процесса и усиления его практикоориентированности через интеграцию университетской науки с научными организациями и реальным сектором экономики [2]. Разработка и внедрение междисциплинарных проектных методик, непосредственно отвечающих запросам реального сектора, становятся ключевыми инструментами выполнения этой миссии и повышения вклада вузов в социально-экономическое развитие регионов.

В-третьих, запрос на новых специалистов формализован на нормативном уровне. Профессиональные стандарты и федеральные государственные образовательные стандарты по направлению «Биотехнические системы и технологии» (12.03.04) включают требования к формированию у выпускников компетенций в области обработки медицинских изображений, биомедицинского 3D-моделирования, анализа биоинформационных данных и работы с системами автоматизированного проектирования [3]. Соответственно, образовательный процесс обязан обеспечивать освоение именно этого комплекса практических навыков.

Наконец, реализация национального проекта «Новые технологии сохранения здоровья» предполагает широкое внедрение аддитивных технологий в практическое здравоохранение для создания имплантатов, хирургических шаблонов, анатомических моделей и прототипов [4]. Это формирует конкретный рыночный и технологический контекст, в котором будут работать выпускники соответствующих направлений подготовки.

Следовательно, существует устойчивый и многоуровневый запрос – от стратегических государственных документов до конкретных образовательных стандартов и национальных проектов – на подготовку инженеров, владеющих сквозными компетенциями на стыке информатики, биомедицины и цифрового производства. Однако традиционные дисциплинарно разобобщенные учебные планы зачастую не позволяют эффективно сформировать у обучающихся целостное понимание полного цикла: от медицинских данных до готового физического изделия. Наше исследование направлено на преодоление этого разрыва путем разработки и апробации проектно-ориентированной образовательной модели, интегрирующей изучение математических методов, алгоритмов обработки изображений, основ анатомии и технологий 3D-печати в единую практическую задачу. Предлагаемый подход обеспечивает прямую корреляцию между содержанием образования и актуальными требованиями государственной политики, профессиональных стандартов и запросов национальных проектов в области здравоохранения.

Теоретическая значимость работы состоит в конкретизации и развитии принципов проектно-ориентированного обучения (далее – PBL) применительно к биотехническим системам. Вклад исследования в педагогику высшей технической школы заключается в разработке практико-ориентированной модели, которая обеспечивает эффективную интеграцию разнородных дисциплин (математики, информатики, биомедицины, цифрового производства) в целостный образовательный контур.

Практическая значимость исследования подтверждается успешным внедрением предложенной методики. В рамках проекта магистранты выполнили полный цикл практических работ: от анализа медицинских изображений (КТ/МРТ) и алгоритмического 3D-моделирования до подготовки данных для аддитивного производства. В работе установлено, что проектный подход целенаправленно формирует у студентов ключевые междисциплинарные компетенции: алгоритмическое мышление, умение работать с медицинскими данными, навыки пространственного моделирования и системное видение сквозных инженерно-биомедицинских процессов. Созданный модульный курс обладает потенциалом для масштабирования и адаптации в целях подготовки кадров для биомедицинской инженерии, медицинского приборостроения и смежных высокотехнологичных отраслей.

### Обзор литературы / Literature review

Метод проектного обучения утвердился в качестве преобразующей, ориентированной на студента педагогической стратегии в инженерном образовании. Его эффективность, согласно работе В. Сукаке с соавторами [5], обусловлена акцентом на вовлечение обучающихся в решение реальных задач, что способствует развитию критического мышления, командной работы и профессиональной автономии.

Теоретический базис и практическая значимость проектного метода, как отмечает Ю. О. Мартышина [6], наиболее полно раскрываются при его рассмотрении как инструмента для развития самостоятельности и творческих способностей учащихся.



В своем исследовании В. А. Блинова [7] проводит комплексный анализ теоретических основ и условий успешной интеграции этого метода в образовательный процесс. Она подчеркивает, что проектная деятельность требует особой роли преподавателя как фасилитатора и организатора, что подтверждается и в более ранних работах, например Л. Хелле с соавторами [8], которые отмечают, что структурированная поддержка наставника является ключевым фактором успеха проектной работы. Как следствие, по данным исследования А. А. Чебыкиной и соавторов [9], такой подход приводит не только к лучшему усвоению материала, но и к формированию у обучающихся креативности и готовности к самостоятельным действиям. Эти выводы согласуются с результатами М. Дж. Принс и Р. М. Фелдер [10], которые доказали, что активные методы, включая проектное обучение, значительно повышают академические достижения и мотивацию студентов инженерных специальностей.

Многочисленные эмпирические исследования доказывают многогранные преимущества PBL перед традиционным обучением. Так, работа авторского коллектива под руководством Х. Портильи предоставляет убедительные доказательства его эффективности в повышении технической компетентности будущих специалистов [11]. Исследование Р. Мохаммеда фокусируется на ключевом преимуществе PBL – развитии у студентов системных навыков решения сложных, нестандартных проблем [12]. Параллельно с этим М. Рикаурте и А. Вилория установили, что проблемно-ориентированный подход служит мощным катализатором академической мотивации [13]. Завершающим аргументом являются выводы С. Лавадо-Ангуэра о том, что PBL напрямую способствует большей профессиональной готовности выпускников на рынке труда [14].

Результаты исследований в России согласуются с выводами современных зарубежных работ, аналогично которым подчеркивается ключевая роль проектной деятельности в формировании востребованных компетенций. Как отмечают А. Ю. Маляшова, С. В. Гадельшина [15], введение дисциплины «Основы проектной деятельности» для студентов инженерных специальностей технологического вуза доказало свою эффективность в развитии как когнитивного компонента (теоретических знаний), так и деятельностно-практических навыков планирования и реализации проектов. Анкетные данные, собранные до и после изучения курса, показывают значительный рост у студентов понимания проектной терминологии, умения формулировать цели, разрабатывать иерархическую структуру работ и распределять ответственность в команде.

Успешное внедрение PBL в образовательный процесс требует учета определенных характеристик. Например, М. Миранда с авторским коллективом [16] подчеркивают важность сохранения баланса между наставнической деятельностью преподавателя в рамках PBL и самостоятельными действиями студентов, между практической и теоретической подготовкой, которые должны дополнять друг друга. Их сбалансированность позволит студентам адекватно использовать знания, методы, умения и решения, с которыми инженеры сталкиваются в своей трудовой деятельности. М. Хусин с соавторами [17] в качестве ключевых характеристик отмечает принципы междисциплинарной командной работы, ориентацию на создание ощутимого конечного продукта и тесную адаптацию содержания проектов к актуальным запросам индустрии. Эти характеристики, о чем также говорят Х. Муса, М. Дженес, А. Линч [18], напрямую способствуют преодолению классического разрыва между академическим обучением и практическими требованиями профессиональной среды. Наряду с этим в исследованиях М. Хасана с соавторами [19] отмечено, что эффективная реализация PBL требует тщательного педагогического проектирования, сбалансированного сочетания

самостоятельности учащихся и структурного наставничества, а также четкой иерархии учебных целей для учета различных образовательных траекторий.

Специализированные области полностью соответствуют общим подходам к внедрению PBL в образовании. Интеграция методологии PBL в программы, связанные с медицинской визуализацией (рентгенография, компьютерная томография), представляет собой особо эффективную модель для подготовки инженерных кадров, поскольку проекты вовлекают студентов в междисциплинарную практическую деятельность, максимально приближенную к реальным отраслевым процессам: от проектирования систем визуализации и обработки клинических данных (включая работу с форматом DICOM) до презентации инженерных решений, что показано в работе Ф. Видаля с коллегами [20]. Как продемонстрировано в исследовании А. Корби с соавторами [21], данный подход эффективно формирует у будущих инженеров целостное понимание технологического цикла в области медицинской визуализации. Актуальность и универсальность PBL-подходов в данной сфере подчеркивается в более широком контексте современного здравоохранения, которое характеризуется активной интеграцией лабораторных, инструментальных и цифровых методов обследования для повышения точности и своевременности диагностики в статье коллектива А. Д. Репаковой [22]. Как отмечают В. Г. Сорокин и Д. Г. Громов [23], стремительное развитие и повсеместное внедрение технологий диагностической визуализации – ключевая тенденция. В обзорной статье А. М. Голубева [24] также сообщается о внедрении новых методов диагностики и лечения, которые способствуют реализации принципов персонализированной медицины, являющейся главным вектором развития практического здравоохранения в XXI веке.

Подход, связанный с внедрением проектного обучения в образование, как показывают С. Лавадо-Ангуэра [25] и с соавторами, обеспечивает синергетическое развитие как узкотехнических компетенций (hard skills), так и надпрофессиональных навыков (soft skills), включая коммуникацию, коллаборацию и системное мышление. Один из выводов работы М. Хусина [26] с коллегами свидетельствует: приобретенные компетенции позволяют эффективно повысить способность студентов решать нестандартные кейсы в отрасли, что готовит их к будущим вызовам в профессиональной деятельности. При этом работа над собственным проектом в малых группах является мощным мотивирующим фактором уже в процессе обучения, повышая интерес студентов к дисциплине и их готовность продолжать проектную деятельность за рамками учебного курса, как выявила в своей работе А. В. Тарасова [27].

Конкретный яркий пример – сфера цифровой стоматологии, где процесс виртуального планирования имплантации и создания хирургических шаблонов представляет собой комплексную инженерно-медицинскую задачу. Подобного рода задачи виртуального планирования ставятся во многих отраслях биомедицинской визуализации, в том числе в образовательных целях, поскольку, как в своей работе показывают И. Огура с соавторами [28], существует потребность в простой образовательной тестовой системе, которая позволила бы студентам инженерных специальностей и студентам-медикам понять, как работают рентгеновские компьютерные томографы, не подвергаясь воздействию ионизирующего излучения. Например, в статье И. де Дене [29] предложена недорогая и безопасная образовательная демонстрация принципов работы компьютерной томографии и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии на антропоморфном фантоме. В обеих работах показано, что процесс виртуального планирования включает этапы от обработки формата DICOM и сегментации структур до алгоритмической реконструкции 3D-модели и ее экспорта в формат STL для аддитивного производства. Вовлечение студентов в подобные

сквозные проекты не только демонстрирует прикладную ценность математических методов построения сечений и обнаружения объектов, но и формирует целостное понимание технологической цепочки создания персонализированного медицинского изделия.

Несмотря на доказанный педагогический потенциал, литература указывает на ряд системных вызовов, сопровождающих внедрение PBL. К основным трудностям, отмеченным коллективом М. Миранда [30], относятся необходимость оптимального распределения ресурсов (временных, технических, кадровых), сложности в управлении длительными проектными циклами и обеспечение гарантированного соответствия результатов студентов заранее определенным образовательным результатам. Преодоление этих барьеров требует разработки структурированного методического обеспечения, включая детальные руководства, критерии оценки и системы поддержки как для студентов, так и для преподавателей, выступающих в роли модераторов.

Проведенный анализ литературы однозначно подтверждает обоснованность выбора проектного обучения в связке с компетентностным подходом в качестве методологической основы данного исследования. PBL представляет собой научно доказанный и эффективный путь для формирования у магистрантов междисциплинарных профессиональных компетенций, критически необходимых для решения сложных задач на стыке инженерии и биомедицины. Настоящее исследование направлено на конкретизацию этих принципов применительно к области биотехнических систем и апробацию модели PBL в рамках учебного проекта по созданию цифровой 3D-модели биомедицинского объекта, что отвечает актуальному запросу на интеграцию академического знания с практикой цифровой медицины.

### **Методологическая база исследования / Methodological base of the research**

Эмпирической базой исследования послужил опыт проектирования и реализации учебного курса «Математическое моделирование биологических процессов и систем» в рамках магистерской программы «Биотехнические системы и технологии» Уральского федерального университета. Данная программа представляет собой современную трансдисциплинарную образовательную модель, интегрирующую инженерные подходы, физические методы и биомедицинские приложения.

Методологическая основа исследования построена на принципах проектного обучения (Project-Based Learning, PBL) и компетентностного подхода. В качестве ключевого педагогического инструмента был разработан и внедрен сквозной учебный проект «Создание 3D-модели слепка зубного ряда», который моделирует полный технологический цикл – от клинических данных до цифрового прототипа.

Методы исследования включали:

- Теоретический анализ: обобщение полученного педагогического опыта в контексте современных принципов инженерного образования и конкретизация методики применения PBL в области биотехнических систем. Педагогический эксперимент – непосредственная реализация проектного курса в учебном процессе с группой магистрантов. Эксперимент был нацелен на формирование и оценку конкретных междисциплинарных компетенций.

- Метод ситуационного анализа (кейс-стади): глубокий анализ реализации конкретного образовательного кейса – поэтапного выполнения проекта по 3D-моделированию, включающего работу с DICOM-изображениями, разработку алгоритмов для реконструкции и подготовку модели к 3D-печати.

– Качественный анализ результатов обучения: оценка сформированных компетенций осуществлялась через экспертизу итоговых артефактов (созданных 3D-моделей), защиту проектов и анализ обратной связи от обучающихся.

Таким образом, методология исследования сочетает практико-ориентированный эксперимент с последующим теоретическим обобщением, что позволяет не только апробировать педагогический инструмент, но и вносить вклад в методику проектного обучения в техническом вузе.

### Результаты исследования / Research results

С опорой на рассмотренные теоретические принципы был разработан и реализован комплексный учебный курс, демонстрирующий практическое внедрение PBL в подготовку инженеров для медицины. Его центральным элементом стал проект по цифровому планированию и прототипированию в стоматологии, моделирующий полный цикл работы медицинского инженера. Данный проект непосредственно связан с процессом виртуальной операции имплантации – ключевой процедурой восстановления зубов, которая заключается в точном позиционировании модели имплантата внутри челюстной кости для определения его размера, направления установки и безопасной глубины. Ключевым инструментом для переноса виртуального плана в операционную является хирургический шаблон, изготавливаемый индивидуально для каждого пациента на основе 3D-модели слепка зубного ряда.

В качестве практического примера реализации компетентностного подхода обучения в биомедицинской инженерии и визуализации в рамках магистерской программы 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии» рассмотрен курс «Математическое моделирование биологических процессов и систем», детально проанализирована педагогическая стратегия организации кейса «Математическое моделирование поверхности слепка зубного ряда».

Данный учебный кейс реализуется в образовательном контексте, нацеленном на формирование у студентов компетенций в области компьютерного анализа медицинских данных, алгоритмизации и трехмерного моделирования. Его основной целью было освоение полного цикла создания цифровой 3D-модели биологического объекта (слепка зубного ряда) на основе реальных данных компьютерной томографии.

Ход реализации дисциплины выстроен как последовательность логически связанных этапов, где решение каждой конкретной задачи обеспечивало получение измеримого промежуточного результата и создавало необходимую основу для перехода к следующей стадии работы. Такой подход, основанный на принципах проблемного и проектного обучения, позволил на практике реализовать ключевые теоретические положения компетентностного подхода.

Изображение модели курса с его этапами приведено на рис. 1.

Лекционный модуль содержал ключевую организационную информацию: рабочую программу дисциплины, критерии оценивания в рамках балльно-рейтинговой системы, график выполнения работ, вопросы к экзамену, контакты преподавателя и методические рекомендации по выполнению лабораторных и курсовых работ. Это позволило студентам с самого начала сформировать четкое понимание траектории обучения и предъявляемых академических требований. Прозрачная система весовых коэффициентов оценок и дедлайнов, реализованная в системе управления обучением (далее – LMS), способствовала развитию у студентов навыков самоорганизации и ответственности за собственные образовательные результаты.





Рис. 1. Модель курса «Математическое моделирование биологических процессов и систем» и его этапы

Особое внимание уделено формулировке учебных заданий. Каждое задание, включая итоговый проект «Математическое моделирование поверхности слепка зубного ряда», сопровождалось детальным описанием целей, требований к формату и содержанию, критериев оценки и пошаговой инструкцией по выполнению. Четкая привязка заданий к формируемым компетенциям (работа с данными DICOM, алгоритмизация, трехмерное моделирование) подчеркивала их практическую значимость и мотивировала студентов на глубокое погружение в материал. Структурированные тематические модули в LMS включали цели изучения, теоретические материалы, практические задания и средства контроля, обеспечивая студентам легкий доступ ко всем необходимым ресурсам.

Ключевым дидактическим принципом организации материала стало разбиение сложного процесса моделирования на последовательные, логически завершенные этапы, соответствующие разделам проекта.

Процесс был структурирован как последовательность взаимосвязанных этапов, где решение конкретной задачи на каждом шаге обеспечивало достижение измеримого результата и создавало основу для следующей стадии.

*Этап 1. Подготовительный: работа с исходными данными*

Задача: освоить работу со специализированными медицинскими данными в формате DICOM.

Действия студента: изучение спецификации стандарта DICOM, освоение на практике чтения и обработки файлов (метаданных и изображений) с использованием языка программирования Python и библиотек (NumPy, Matplotlib, PyDICOM), анализ и визуализация аксиальных срезов, полученных методом компьютерной томографии.

Результат: сформирован массив исходных данных для дальнейшей обработки, приобретены навыки работы с реальными медицинскими форматами данных (см. рис. 2а).

*Этап 2. Аналитический: построение и анализ сечений*

Задача: разработать метод для построения поперечных сечений челюстно-лицевой области с целью дальнейшего выделения границ интересующих объектов (зубов).

Действия студента: применение алгоритма Брезенхема для построения поперечных сечений, перпендикулярных плоскости аксиальных срезов на основе исходного массива данных, автоматизация процесса создания набора таких сечений.

Результат: получен набор поперечных сечений, визуализирующих профиль зубного ряда, закреплены знания в области компьютерной графики и алгоритмов визуализации (см. рис. 2б).

*Этап 3. Проектный: определение и обработка границ*

Задача: выделить технологически корректный контур будущего слепка на поперечных сечениях с учетом исключения «поднутрений» и увеличения толщины для придания механической прочности.

Действия студента: разработка и реализация алгоритма сканирования для автоматического выделения внешних границ зубов, корректировка границ (исключение «поднутрений») и процедура «наращивания» толщины модели.

Результат: получены технологически корректные и усиленные границы слепка на поперечных сечениях, развиты навыки алгоритмического мышления и учета практических требований (см. рис. 2в).

*Этап 4. Синтез и итоговая визуализация: создание 3D-модели*

Задача: объединить результаты предыдущих этапов в целостную трехмерную модель, пригодную для 3D-печати.

Действия студента: обратное проецирование обработанных границ в аксиальную плоскость, на основе полученных аксиальных масок – синтез объемной 3D-модели слепка зубного ряда, экспорт модели в формат STL.

Итоговый результат: создана готовая к использованию трехмерная CAD-модель слепка зубного ряда, демонстрирующая корректность примененных алгоритмов и готовая к отправке на 3D-принтер (см. рис. 2г).

Ниже приведены иллюстрации, демонстрирующие ключевые этапы выполнения проекта.

Для учета различных стилей обучения и поддержания академического интереса в курсе применялся широкий спектр учебных материалов и методов оценки. Теоретическая основа подкреплялась не только традиционными конспектами лекций, но и видеоматериалами с разбором практических кейсов, актуальными научными публикациями в области обработки медицинских изображений и наглядными схемами ключевых алгоритмов. Практический компонент был реализован через серию последовательных заданий, кульминацией которых стал итоговый проект. Такой подход позволил комплексно оценить как теоретическое понимание (через тестовые формы контроля), так и сформированность практических навыков – алгоритмизации, программирования и работы со специализированным программным обеспечением, что демонстрировалось в ходе защиты проекта и экспертизы итогового артефакта – готовой 3D-модели.

Курс активно использовал современные цифровые инструменты для создания интерактивной и практико-ориентированной образовательной среды. Для эффективного освоения специализированных тем (работа с форматом DICOM, применение алгоритма Брезенхама) были разработаны тематические видеоинструкции с записью экрана. Основная проектная деятельность была организована с применением профессиональных сред разработки (Python с использованием библиотек NumPy, Matplotlib, PyDICOM), что позволило студентам напрямую применять теоретические знания для решения прикладной инженерной задачи. Организация консультаций и совместной работы осуществлялась через виртуальные классы на платформе Microsoft Teams, что облегчило проведение синхронных консультаций, обсуждение промежуточных результатов и формирование навыков распределенной командной работы.

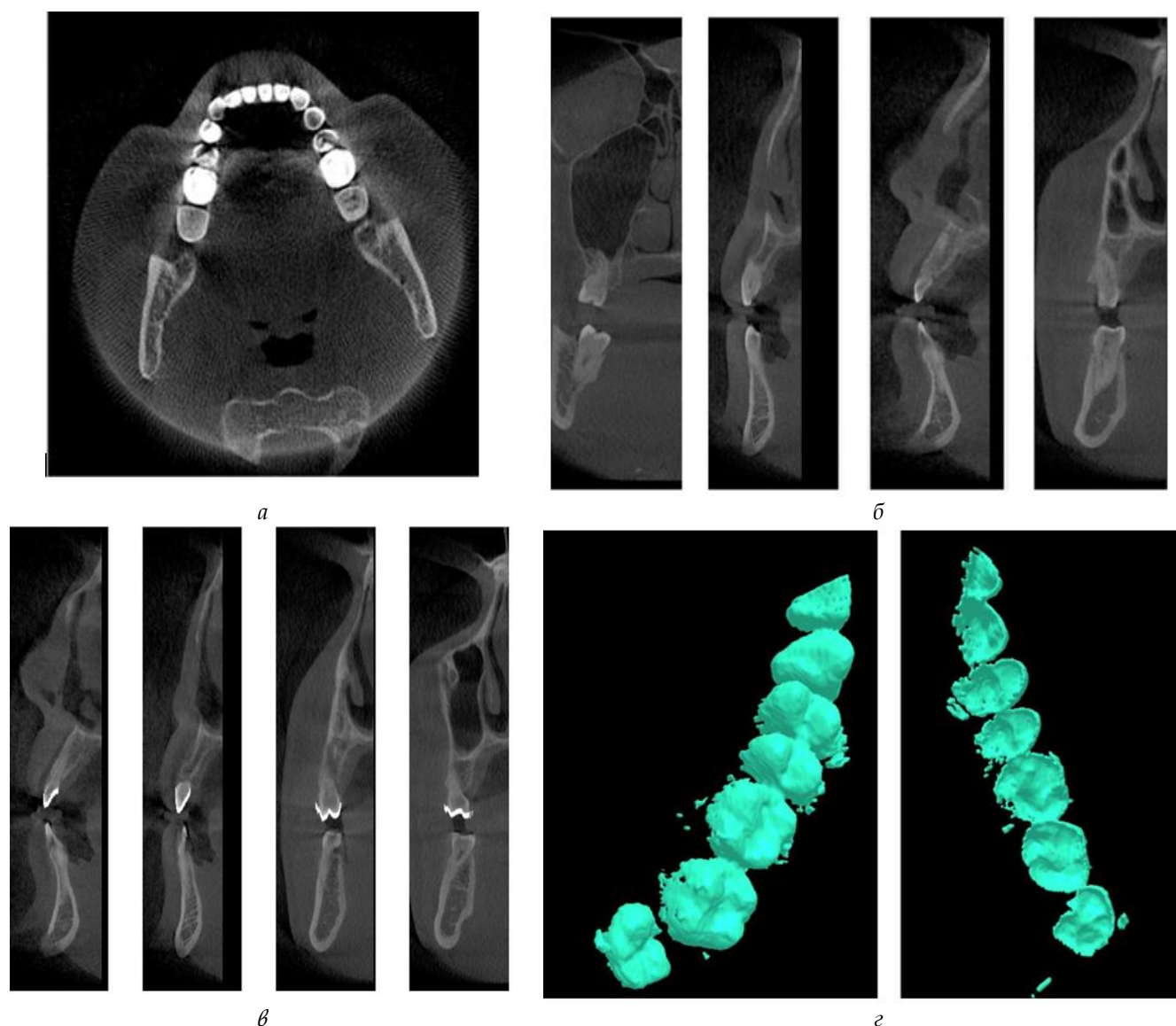


Рис. 2: а) изображение аксиального среза, полученного методом компьютерной томографии;  
б) набор поперечных сечений; в) технологически корректные и усиленные границы слепка на поперечных сечениях; г) 3D-модель слепка зубного ряда

Обратная связь являлась неотъемлемым и систематическим элементом учебного процесса, нацеленным на поддержку студентов в достижении запланированных образовательных результатов. В соответствии с принципами компетентностного подхода, обратная связь предоставлялась регулярно на каждом ключевом этапе проекта: при проверке промежуточных заданий (корректность чтения данных, построения сечений, выделения границ) и в ходе финальной защиты. Она носила конструктивный и критериальный характер, включая оценку сильных сторон работы и конкретные рекомендации по улучшению (например, оптимизация алгоритма, корректировка пороговых значений при сегментации изображений).

Рис. 3 иллюстрирует динамику самооценки ключевых навыков обучающихся в процессе реализации проектного обучения в контексте разработанного курса. Для оценки использовалась 5-балльная шкала Ликерта, где увеличение балла коррелирует с ростом субъективно воспринимаемого уровня компетенции. Анализ данных описательной статистики демонстрирует позитивную динамику самооценок по всем представленным навыкам. Выводы носят предварительный характер, так как статистическая верификация гипотезы о значимости сдвигов не осуществлялась.

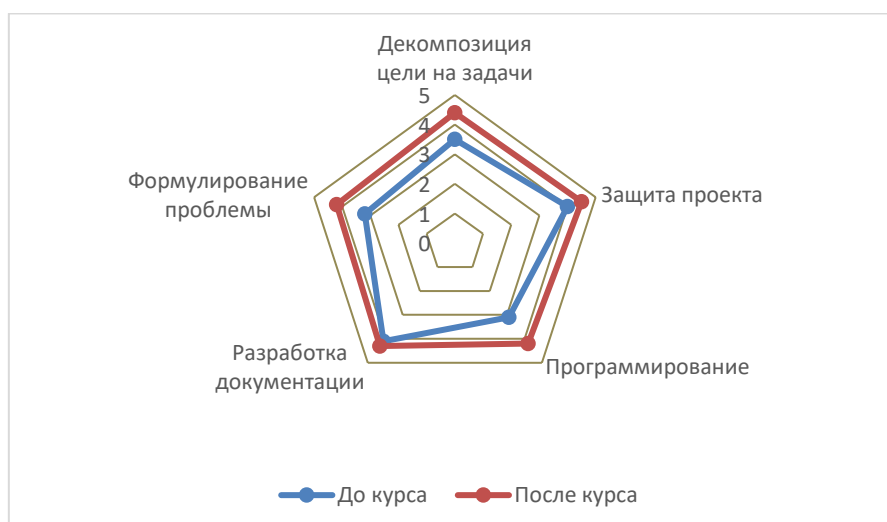


Рис. 3. Визуализация эффективности применения курса

### Заключение / Conclusion

Внедрение практико-ориентированного обучения на основе PBL-методологии позволяет существенно повысить качество инженерной подготовки. Проведенная работа по проектированию и реализации курса «Математическое моделирование биологических процессов и систем» продемонстрировала эффективность компетентностного подхода в сочетании с проектными методами обучения. Разработанная образовательная модель позволила организовать поэтапное формирование профессиональных компетенций через выполнение практико-ориентированного проекта по созданию трехмерной модели слепка зубного ряда.

Апробированная модель курса обеспечивает системный подход к формированию компетенций, востребованных современной промышленностью в области биотехнических систем и медицинских технологий. Реализация проекта позволила студентам освоить полный цикл работы – от обработки медицинских изображений в формате DICOM до создания трехмерных моделей биологических объектов, что соответствует актуальным требованиям профессиональной деятельности.

Эффективность предложенного подхода подтверждается развитием у студентов навыков работы с реальными медицинскими данными, освоением алгоритмов обработки изображений и методов трехмерного моделирования. Дальнейшее развитие направления видится в углублении интеграции с реальным сектором экономики через сотрудничество с медицинскими учреждениями и центрами биомедицинских технологий, а также в расширении международного сотрудничества для обмена передовыми образовательными практиками.

Перспективы развития курса связаны с внедрением новых модулей по машинному обучению для анализа медицинских изображений и расширением практики реализации междисциплинарных проектов в партнерстве с промышленными предприятиями и научно-исследовательскими центрами.

### Ссылки на источники / References

1. Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358>
2. Программа «Приоритет-2030». – URL: <https://minobrnauki.gov.ru/action/priority2030/>



3. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» (уровень бакалавриата). – URL: <https://fgos.ru/fgos/fgos-12-03-04-biotehnicheskie-sistemy-i-tehnologii-950/>
4. Национальный проект «Новые технологии сбережения здоровья». – URL: <http://government.ru/rugovclassifier/926/about/>
5. Sukacke V., Guerra A., Ellinger D. et al. Towards Active Evidence-Based Learning in Engineering Education: A Systematic Literature Review of PBL, PjBL, and CBL // Sustainability. – 2022. – Vol. 14 (21). DOI: 10.3390/su142113955.
6. Мартышина Ю. О. Проектный метод в обучении студентов // Позиция. Философские проблемы науки и техники. – 2023. – № 20. – С. 147–152.
7. Blinova V. A. Project method of teaching as a way to develop independence and creativity // Pedagogical Journal. – 2025. – Vol. 15, No. 6-1. – P. 36–44.
8. Helle L., Tynjälä P., Olkinuora E., Lonka K. Ain't nothin' like the real thing. Motivation and study processes on a work-based project course in information systems design // British Journal of Educational Psychology. – 2007. – Vol. 77 (2). – P. 397–411. DOI: 10.1348/000709906X105986.
9. Проектная деятельность в образовании / А. А. Чебыкина, Л. И. Смернягин, В. А. Обносков [и др.] // Международный научный вестник. – 2025. – № 10. – С. 338–343. DOI: 10.24412/2782-3849-2025-10-338-343.
10. Prince M. J., Felder R. M. Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases // Journal of Engineering Education. – 2006. – Vol. 95 (2). – P. 123–138. DOI: 10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x.
11. Portilla J., Ojeda J., Geovanni L. et al. Evaluating the Impact of Project-Based Teaching on Meaningful Learning in Higher Education Students // Journal of Posthumanism. – 2025. – Vol. 5 (6). – P. 3837–3845. DOI: 10.63332/joph.v5i6.2546.
12. Mohammed R., Albarwary S., Sabeh H. Project-Based Learning Investigation in Mechatronics Engineering Education at TIU: A Case Study // 2025 IEEE 22nd International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD). – 2025. – P. 387–393.
13. Ricaurte M., Viloria A. Project-based learning as a strategy for multi-level training applied to undergraduate engineering students // Education for Chemical Engineers. – 2020. – Vol. 33. – P. 102–111. DOI: 10.1016/j.ece.2020.09.001.
14. Lavado-Anguera S., Velasco-Quintana P., Terrón-López M. Project-Based Learning (PBL) as an Experiential Pedagogical Methodology in Engineering Education: A Review of the Literature // Education Sciences. – 2024. – Vol. 14 (6). DOI: 10.3390/educsci14060617.
15. Маляшова А. Ю., Гадельшина С. В. Индивидуальная траектория развития проектных компетенций у студентов инженерных специальностей через выполнение собственного проекта // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. – 2024. – № 3(75). – С. 254–260. DOI: 10.52452/18115942\_2024\_3\_254.
16. Miranda M., Saiz-Linares Á., Da Costa A., Castro J. Active, experiential and reflective training in civil engineering: evaluation of a project-based learning proposal // European Journal of Engineering Education. – 2020. – Vol. 45. – P. 937–956. DOI: 10.1080/03043797.2020.1785400.
17. Husin M., Usmeldi U., Masdi H. et al. Project-Based Problem Learning: Improving Problem-Solving Skills in Higher Education Engineering Students // International Journal of Sociology of Education. – 2025. DOI: 10.17583/ris.15125.
18. Mousa H., Genes M., Lynch A. Comprehensive Case Study of Project Based Learning in Engineering // 2024 ASEE Midwest Section Conference Proceedings. – 2024. DOI: 10.18260/1-2-1132-49392.
19. Hasan M., Lodge J., Karim A., Khan M. Exploring Students' Conceptions of Project-Based Learning: Implications for Improving Engineering Pedagogy // IEEE Transactions on Education. – 2024. – Vol. 67. – P. 234–244. DOI: 10.1109/te.2023.3348523.
20. Vidal F., Afshari S., Ahmed S. et al. X-ray simulations with gVXR as a useful tool for education, data analysis, set-up of CT scans, and scanner development // Proceedings of SPIE. – 2024. – Vol. 13152. – P. 131520W-1–131520W-20. DOI: 10.1117/12.3025315.
21. Corbí A., Burgos D., Vidal F. et al. X-ray imaging virtual online laboratory for engineering undergraduates // European Journal of Physics. – 2019. – Vol. 41. DOI: 10.1088/1361-6404/ab5011.
22. Диагностика в лечебном деле, методы и технологии / А. Д. Репакова, Е. И. Редина, С. А. Новичков [и др.] // International Journal of Medicine and Psychology. – 2025. – Т. 8, № 3. – С. 46–51.
23. Сорокин В. Г., Громов Д. Г. Повышение квалификации врачей клинических специальностей в области медицинской визуализации: состояние проблемы // Методология и технология непрерывного профессионального образования. – 2024. – № 4(20). – С. 7–11.
24. Голубев А. М. Персонализированная медицина критических состояний (обзор) // Общая реаниматология. – 2022. – Т. 18, № 4. – С. 45–54. DOI: 10.15360/1813-9779-2022-4-45-54.

25. Lavado-Anguera S., Velasco-Quintana P., Terrón-López M. Project-Based Learning (PBL) as an Experiential Pedagogical Methodology in Engineering Education: A Review of the Literature.
  26. Husin M., Usmeldi U., Masdi H. et al. Project-Based Problem Learning: Improving Problem-Solving Skills in Higher Education Engineering Students.
  27. Тарасова А. В. Проектная деятельность как инструмент совершенствования навыков научно-исследовательской деятельности студентов в вузе // Проектирование. Опыт. Результат. – 2024. – № 1. – С. 89–94.
  28. Ogura I., Nyui Y., Abe S. et al. An educational experiment system for simulated CT devices with coherent light // Electronics and Communications in Japan. – 2012. – Vol. 95. – P. 32–40. DOI: 10.1002/ecj.11367.
  29. De Deene Y. Teaching the principles of X-ray CT and SPECT using optical CT, glowsticks and a scaled anthropomorphic phantom // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1305. DOI: 10.1088/1742-6596/1305/1/012058.
  30. Miranda M., Saiz-Linares Á., Da Costa A., Castro J. Active, experiential and reflective training in civil engineering: evaluation of a project-based learning proposal.
- 
1. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 28.02.2024 g. № 145 "O Strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii" [Decree of the President of the Russian Federation of February 28, 2024 No. 145 "On the Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation"]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358> (in Russian).
  2. Programma "Prioritet-2030" [Priority 2030 Program]. Available at: <https://minobrnauki.gov.ru/action/priority2030/> (in Russian).
  3. Federal'nyj gosudarstvennyj obrazovatel'nyj standart vysshego obrazovaniya po napravleniyu podgotovki 12.03.04 "Biotekhnicheskie sistemy i tekhnologii" (uroven' bakalavriata) [Federal State Educational Standard of Higher Education in the area of training 12.03.04 "Biotechnical Systems and Technologies" (bachelor's degree level)]. Available at: <https://fgos.ru/fgos/fgos-12-03-04-biotekhnicheskie-sistemy-i-tehnologii-950/> (in Russian).
  4. Nacional'nyj projekt "Novye tekhnologii sberezheniya zdorov'ya" [National Project "New Health-Saving Technologies"]. Available at: <http://government.ru/rugovclassifier/926/about/> (in Russian).
  5. Sukacke, V., Guerra, A., Ellinger, D. et al. (2022). "Towards Active Evidence-Based Learning in Engineering Education: A Systematic Literature Review of PBL, PjBL, and CBL", *Sustainability*, vol. 14 (21). DOI: 10.3390/su142113955 (in English).
  6. Martyshina, Yu. O. (2023). "Proektnyj metod v obuchenii studentov" [Project-based method in teaching students], *Pozitsiya. Filosofskie problemy nauki i tekhniki*, № 20, pp. 147–152 (in Russian).
  7. Blinova, V. A. (2025). "Project method of teaching as a way to develop independence and creativity", *Pedagogical Journal*, vol. 15, no. 6-1, pp. 36–44 (in English).
  8. Helle, L., Tynjälä, P., Olkinuora, E., & Lonka, K. (2007). "Ain't nothin' like the real thing. Motivation and study processes on a work-based project course in information systems design", *British Journal of Educational Psychology*, vol. 77 (2), pp. 397–411. DOI: 10.1348/000709906X105986 (in English).
  9. Chebykina, A. A. et al. (2025). "Proektnaya deyatel'nost' v obrazovanii" [Project-based activities in education], *Mezhdunarodnyj nauchnyj vestnik*, № 10, pp. 338–343. DOI: 10.24412/2782-3849-2025-10-338-343 (in Russian).
  10. Prince, M. J., & Felder, R. M. (2006). "Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases", *Journal of Engineering Education*, vol. 95 (2), pp. 123–138. DOI: 10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x (in English).
  11. Portilla, J., Ojeda, J., Geovanni, L. et al. (2025). "Evaluating the Impact of Project-Based Teaching on Meaningful Learning in Higher Education Students", *Journal of Posthumanism*, vol. 5 (6), pp. 3837–3845. DOI: 10.63332/joph.v5i6.2546 (in English).
  12. Mohammed, R., Albarwary, S., & Sabeh, H. (2025). "Project-Based Learning Investigation in Mechatronics Engineering Education at TIU: A Case Study, 2025 IEEE 22nd International Multi-Conference on Systems", *Signals & Devices (SSD)*, pp. 387–393 (in English).
  13. Ricaurte, M., & Vilorio, A. (2020). "Project-based learning as a strategy for multi-level training applied to undergraduate engineering students", *Education for Chemical Engineers*, vol. 33, pp. 102–111. DOI: 10.1016/j.ece.2020.09.001 (in English).
  14. Lavado-Anguera, S., Velasco-Quintana, P., & Terrón-López, M. (2024). "Project-Based Learning (PBL) as an Experiential Pedagogical Methodology in Engineering Education: A Review of the Literature", *Education Sciences*, vol. 14 (6). DOI: 10.3390/educsci14060617 (in English).
  15. Malyashova, A. Yu., & Gadel'shina, S. V. (2024). "Individual'naya traektoriya razvitiya proektnyh kompetencij u studentov inzhenernyh special'nostej cherez vypolnenie sobstvennogo proekta" [Individual trajectory for the development of project competences in engineering students through the implementation of their own project], *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo. Seriya: Social'nye nauki*, № 3(75), pp. 254–260. DOI: 10.52452/18115942\_2024\_3\_254 (in Russian).

16. Miranda, M., Saiz-Linares, Á., Da Costa, A., & Castro, J. (2020). "Active, experiential and reflective training in civil engineering: evaluation of a project-based learning proposal", *European Journal of Engineering Education*, vol. 45, pp. 937–956. DOI: 10.1080/03043797.2020.1785400 (in English).
17. Husin, M., Usmeldi, U., Masdi, H. et al. (2025). "Project-Based Problem Learning: Improving Problem-Solving Skills in Higher Education Engineering Students", *International Journal of Sociology of Education*. DOI: 10.17583/ris.15125 (in English).
18. Mousa, H., Genes, M., & Lynch, A. (2024). "Comprehensive Case Study of Project Based Learning in Engineering", *2024 ASEE Midwest Section Conference Proceedings*. DOI: 10.18260/1-2-1132-49392 (in English).
19. Hasan, M., Lodge, J., Karim, A., & Khan, M. (2024). "Exploring Students' Conceptions of Project-Based Learning: Implications for Improving Engineering Pedagogy", *IEEE Transactions on Education*, vol. 67, pp. 234–244. DOI: 10.1109/te.2023.3348523 (in English).
20. Vidal, F., Afshari, S., Ahmed, S. et al. (2024). "X-ray simulations with gVXR as a useful tool for education, data analysis, set-up of CT scans, and scanner development", *Proceedings of SPIE*, vol. 13152, pp. 131520W-1–131520W-20. DOI: 10.1117/12.3025315 (in English).
21. Corbí, A., Burgos, D., Vidal, F. et al. (2019). "X-ray imaging virtual online laboratory for engineering undergraduates", *European Journal of Physics*, vol. 41. DOI: 10.1088/1361-6404/ab5011 (in English).
22. Repakova, A. D. et al. (2025). "Diagnostics in medical practice, methods and technologies", *International Journal of Medicine and Psychology*, t. 8, № 3, pp. 46–51 (in Russian).
23. Sorokin, V. G., & Gromov, D. G. (2024). "Povyshenie kvalifikatsii vrachej klinicheskikh special'nostej v oblasti medicinskoj vizualizatsii: sostoyanie problem" [Advanced training of clinical physicians in the field of medical imaging: problem status], *Metodologiya i tekhnologiya nepreryvnogo professional'nogo obrazovaniya*, № 4(20), pp. 7–11 (in Russian).
24. Golubev, A. M. (2022). "Personalizirovannaya medicina kriticheskikh sostoyanij (obzor)" [Personalized critical care medicine (review)], *Obshchaya reanimatologiya*, t. 18, № 4, pp. 45–54. DOI: 10.15360/1813-9779-2022-4-45-54 (in Russian).
25. Lavado-Anguera, S., Velasco-Quintana, P., & Terrón-López, M. (2024). Op. cit.
26. Husin, M., Usmeldi, U., Masdi, H. et al. (2025). Op. cit.
27. Tarasova, A. V. (2024). "Proektnaya deyatel'nost' kak instrument sovershenstvovaniya navykov nauchno-issledovatel'skoj deyatel'nosti studentov v vuze" [Project-based activities as a tool for improving students' research skills at the university], *Proektirovanie. Opyt. Rezul'tat*, № 1, pp. 89–94 (in Russian).
28. Ogura, I., Nyui, Y., Abe, S. et al. (2012). "An educational experiment system for simulated CT devices with coherent light", *Electronics and Communications in Japan*, vol. 95, pp. 32–40. DOI: 10.1002/ecj.11367 (in English).
29. De Deene, Y. (2019). "Teaching the principles of X-ray CT and SPECT using optical CT, glowsticks and a scaled anthropomorphic phantom", *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1305. DOI: 10.1088/1742-6596/1305/1/012058 (in English).
30. Miranda, M., Saiz-Linares, Á., Da Costa, A., & Castro, J. (2020). Op. cit.

#### Вклад авторов

М. Б. Путрик – разработка и внедрение проектного курса по созданию 3D-модели слепка зубного ряда на основе данных метода компьютерной томографии, систематизация данных исследования, редактирование текста рукописи.

А. А. Баранова – разработка методологии исследования, анализ и научно-методическое обоснование разработанного проектного кейса в рамках принципов проектного подхода, систематизация и обобщение результатов исследования, написание текста рукописи.

Н. Ю. Таврунова – систематизация данных исследования, обзор научных теорий, обосновывающих педагогическую эффективность метода проектного обучения в инженерном образовании, работа с графическим материалом, оформление рукописи.

#### Contribution of the authors

M. B. Putrik – development and implementation of a project-based course on creating a 3D model of a dental cast based on computed tomography data, systematization of the research data, and editing of the manuscript.

A. A. Baranova – development of the research methodology, analysis and scientific and methodological substantiation of the developed project case within the framework of the project-based approach principles, systematization and synthesis of the research results, manuscript writing.

N. Yu. Tavrunova – systematization of the research data, review of scientific theories substantiating the pedagogical effectiveness of the project-based learning method in engineering education, work with graphic materials, and manuscript design.