

Подготовка в вузе STEM:IT-профессионалов к инновационной деятельности в 3D-командах

Научная статья

DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-8-9-79-96

Чучалин Александр Иванович – д-р техн. наук, проф., a.chuchalin1952@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена подготовке в вузах специалистов в области естественных наук, техники и технологий, математики и IT с различным уровнем образования и квалификации (бакалавриат, магистратура, аспирантура) способных к совместной инновационной деятельности в междисциплинарных 3D-командах. Необходимость такой подготовки обусловлена развитием цифровизации и внедрением инструментов Индустрии 4.0, а также стремлением преодолеть технологическое отставание страны. На основе анализа лучших мировых практик инновационной деятельности предлагается согласовать программы подготовки в вузах STEM:IT-профессионалов к эффективной совместной работе в 3D-командах за счёт планирования компетенций выпускников с учётом приоритетов учёных, инженеров, техников, технологов, математиков и IT-специалистов при работе с разделением труда в команде на различных этапах создания наукоёмких инновационных продуктов, систем, процессов и услуг. Цель исследований – разработка рекомендаций по согласованию программ.

Ключевые слова: подготовка STEM:IT-профессионалов, инновации, междисциплинарная командная работа, 3D-команда, разделение труда, согласование программ в вузах

Для цитирования: Чучалин А.И. Подготовка в вузе STEM:IT-профессионалов к инновационной деятельности в 3D-командах // Высшее образование в России. 2022. Т. 31. № 8-9. С. 79–96. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-8-9-79-96

University Training of STEM-IT Professionals to Innovation Activity in 3D-Teams

Original article

DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-8-9-79-96

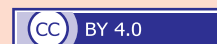
Alexander I. Chuchalin – Dr. Sc. (Engineering), Prof., a.chuchalin1952@gmail.com

Abstract. The paper focuses on the training professionals in the field of natural sciences, engineering and technology, mathematics and IT with different levels of education and qualifications (bachelor, master, doctor) for joint innovation activity in interdisciplinary 3D teams. The paper substantiates the need for such training, which stems from digitalization and introduction of Industry

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

© Чучалин А.И., 2022.



4.0 tools, as well as the desire to overcome the technological backlog of the country. Based on the analysis of the best world practices of innovation activity, the paper proposes to coordinate programs for training of STEM-IT professionals for effective collaboration in 3D-teams by planning the competencies of graduates, taking into account the priorities of scientists, engineers, technologists, mathematicians and IT specialists when working with the division of labor in a team at various stages of creating science-intensive innovative products, systems, processes, and services. The purpose of the research is to develop recommendations for program coordination.

Keywords: training of STEM-IT professionals, innovations, interdisciplinary teamwork, 3D-teams, division of labor, coordination of academic programs

Cite as: Chuchalin, A.I. (2022). University Training of STEM-IT Professionals to Innovation Activity in 3D Teams. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. Vol. 31, no. 8-9, pp. 79-96, doi: 10.31992/0869-3617-2022-31-8-9-79-96 (In Russ., abstract in Eng.).

Введение

Инновации в виде новых продуктов и услуг, созданных в результате интеллектуальной деятельности профессионалов, обеспечивают новый экономический и социальный эффект, существенно влияют на качество жизни и востребованы современным обществом. Большинство инноваций создаётся в результате научных исследований, новых инженерных решений и технологических разработок. В последнее время особым драйвером инноваций является цифровизация производства и внедрение инструментов Индустрии 4.0, включая роботизацию и автоматизацию процессов, использование искусственного интеллекта, технологий обработки больших данных, облачных вычислений и др. в различных отраслях [1], в том числе в оборонной промышленности [2]. За счёт конвергенции физических, биологических и цифровых технологий развивается межотраслевое производство [3].

Количество инноваций и скорость их появления в развитых странах непрерывно возрастает. Доля инновационной продукции в промышленном производстве США достигает 70%, в странах Европы превышает 60%, в Китае составляет около 40%. В России к 2020 г. было запланировано достичь 25%. Однако, несмотря на целевое финансирование институтов развития в объёме почти 1 триллион рублей в течение 15 лет, доля инновационного производства в стране за по-

следние годы снизилась и составляет лишь 6%¹. Тотальная зависимость России от импорта технологий не преодолена. Особенно остро это ощущается сейчас, в условиях беспрецедентных экономических санкций со стороны «коллективного Запада». Необходимы срочные меры по импортозамещению высокотехнологичной продукции. Сложная международная обстановка требует осознания того, что наукоёмкие инновации на основе инструментов Индустрии 4.0 имеют решающее значение и для развития оборонной промышленности [4].

Эксперты называют несколько причин снижения инновационной активности России в области наукоёмких технологий. Одной из основных считается недостаток перспективных проектов с высоким качеством команд для их выполнения². Результаты опроса, проведённого компанией *McKinsey* среди руководителей крупных компаний, показали, что более 80% из них считают инновации важнейшим фактором успеха, но при этом менее 10% удовлетворены уровнем развития инноваций в своих компаниях. Инновации требуют команд профессионалов с широким набором различных компетенций,

¹ Соколов А. Институты развития провалили инновации // Интернет-портал газеты «Ведомости». 2021. 2 марта. URL: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2021/03/01/859742-instituti-razvitiya> (дата обращения: 01.06.2022).

² Там же.

поскольку предполагают не только генерирование новых идей, но и их практическую реализацию. Две трети опрошенных *McKinsey* руководителей считают, что в ближайшие пять лет крупным работодателям придётся переобучить или заменить более четверти сотрудников [5].

Проблема подготовки кадров к инновационной деятельности, в том числе к командной работе, становится все более актуальной. Традиционным способом её решения является модернизация и углубление профессиональных компетенций (*hard skills*) специалистов в предметной области, а также развитие их проблемного мышления и навыков проектирования. Проблемно-ориентированное обучение в вузах, направленное на формирование у выпускников умений самостоятельно добывать знания, необходимые для решения профессиональных задач, в настоящее время реализуется в России [6–8] и за рубежом [9–11]. Технологии проектно-организованного обучения, позволяющие студентам не только приобретать новые знания и навыки решения задач, но и умения проектировать конечные продукты с заданными свойствами, также успешно применяются в российской [12–15] и зарубежной высшей школе [16–18].

В последнее время особое внимание стало уделяться развитию личностных компетенций будущих специалистов (*soft skills*), необходимых для работы в команде (коммуникативные навыки, лидерство, сотрудничество, профессиональная этика, ответственность и др.) [19–21]. Поскольку требования к компетенциям специалистов и командному разделению труда по областям знаний и видам деятельности в условиях развития инструментов цифровой экономики и Индустрии 4.0 усложняются, для создания наукоёмкой инновационной продукции должны формироваться междисциплинарные команды, состоящие из специально подготовленных профессионалов различного уровня, обладающих твёрдыми и мягкими навыками в соответствующих предметных областях.

Наиболее значимые инновации сегодня создаются на междисциплинарной научно-технологической основе в результате совместной деятельности специалистов в области STEM:IT, объединяющей STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) и IT (Information Technology). Аббревиатура IT при этом часто используется как синоним термина “Computing”, который применяется за рубежом и включает, наряду с Information Technology, также Computer Science, Information Systems, Cybersecurity и другие области знаний и сферы деятельности, необходимые для создания современной цифровой среды³.

Наиболее значимые инновации 2021 г. были созданы в области STEM:IT⁴. Это литий-металлические аккумуляторы для электромобилей, имеющие энергетическую плотность 1 кВт·ч/литр (Quantum Scare); матричная РНК-вакцина, которая легко модифицируется под любой новый штамм вируса и может использоваться для борьбы с раком и другими тяжёлыми заболеваниями (Pfizer, Moderna); нейросеть GPT-3, способная генерировать связные ответы в диалоге с человеком (Open AI); защита данных на основе модели Data Trusts для хранения данных и управления ими (Open Data Institute); новые стандарты связи и беспроводного интернета Wi-Fi 6 и 5G для мобильных устройств, позволяющие работать удалённо из одной точки на скорости до 2 Гб/с и способствующие развитию Интернета вещей (до 1 млн устройств на кв. км), а также другие наукоёмкие инновации, формирующие мировой

³ Criteria for Accrediting Computing Programs // Интернет-портал ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology). URL: <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-computing-programs-2022-2023> (дата обращения: 07.06.2022).

⁴ Зуйкова А. Это прорыв: десять самых важных технологий 2021 года // РБК-тренды: Интернет-портал. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/606ecf189a79470e64285ce2> (дата обращения: 07.06.2022).

технологический ландшафт на ближайшее будущее.

Технологические инновации создаются как небольшими самостоятельными стартапами, так и экспериментальными лабораториями внутри крупных компаний (Corporate Innovation Labs). В последние годы многие компании из списка Fortune 500 создали свои стартапы для разработки новых технологий⁵. Примерами экспериментальных лабораторий компаний-гигантов являются: X Development LLC (бывшая Google X) – полусекретная R&D-лаборатория, основанная компанией Google в 2010 г. (беспилотные автомобили, очки дополненной реальности, нейронные сети, Интернет вещей и др.); Amazon Lab126 (устройства для работы с электронными книгами и другими цифровыми медиаданными, использование виртуальных помощников для управления вещами в «умном» доме и др.); Verizon 5G Labs (сеть Verizon 5G, оборудование и приложения для применения мобильной связи 5G в робототехнике, здравоохранении и при принятии корпоративных решений). Наиболее продвинутыми корпоративными инновационными лабораториями с эффективными командами разработчиков считаются Volkswagen Automotive Innovation Lab, Dell EMC's HPC Innovation Lab, HP Labs, Cisco Hyper Innovation Living Labs, AT&T Labs Research, McKinsey Digital Labs и ряд других⁶. Наукоёмкие технологические инновации в таких лабораториях создаются в результате совместной работы профессионалов в области естественных наук, техники и технологий, а также математиков и специалистов в области информационных и компьютерных

наук, действующих по принципам разделения труда в междисциплинарных командах.

К сожалению, среди STEM:IT-инноваций, определяющих технологическое будущее человечества, пока отсутствуют разработки, выполненные в России, – так же, как нет отечественных предприятий и организаций среди наиболее продвинутых инновационных структур. В целом уровень инновационной активности организаций в России составляет менее 10% и является самым низким среди 44 стран, показатели которых сравнивались при анализе соответствующих статистических данных 2021 г. [22]. Доля ответственности за низкий уровень инновационной активности в стране лежит на отечественной высшей школе, где подготовке специалистов к междисциплинарной командной работе, очевидно, уделяется недостаточное внимание.

Для повышения уровня инновационной активности отечественных предприятий и организаций целесообразно на основе анализа лучших мировых практик и тенденций в области STEM:IT создать в вузах систему согласованной подготовки инженеров, технологов, математиков и IT-специалистов с различным уровнем высшего образования (бакалавриат, магистратура, аспирантура), а также исследователей в различных областях знаний, способных к работе в междисциплинарных командах на основе принципов компетентного разделения труда. Анализ литературы показал, что особенности командной работы таких специалистов изучены недостаточно. Необходимы дополнительные исследования и разработка рекомендаций по согласованию программ подготовки к командной работе STEM:IT-профессионалов с различными компетенциями.

Разделение труда

STEM:IT-профессионалов в 3D-командах

Междисциплинарная научно-технологическая основа современных инноваций формируется, как правило, за счёт командной работы учёных, работающих в различных

⁵ Fortune 500 // Fortune: Интернет-портал. URL: <https://fortune.com/fortune500/> (дата обращения: 07.06.2022).

⁶ Rice M. 31 Corporate Innovation Labs to Know // Global Government Excellence: Интернет-портал. URL: <https://builtin.com/corporate-innovation/corporate-innovation-labs> (дата обращения: 07.06.2022).

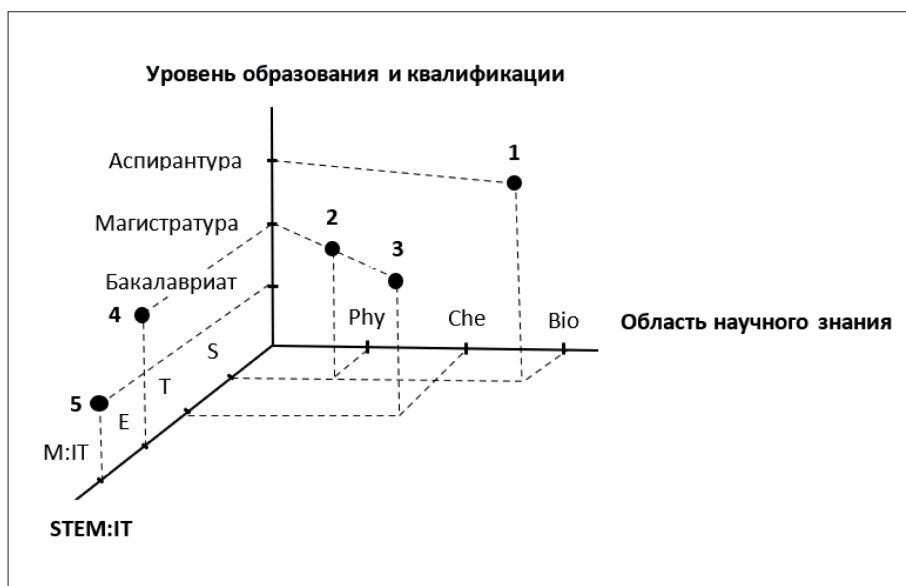


Рис. 1. Три измерения компетенций членов 3D-команд

Fig. 1. Three dimensions of 3D team member competencies

областях знаний: физиков, химиков, биологов и др., а также инженеров и технологов – профессионалов в области материаловедения, механики, электроники и т. д. Ни одна команда разработчиков наукоёмкой инновационной продукции сегодня не обходится без математиков и IT-специалистов различного профиля: программистов, системщиков, администраторов и др. Прорывные инновации (disruptive innovations) обычно создаются на стыке различных областей знаний. Уникальные свойства инновационных продуктов часто достигаются за счёт синергетических эффектов, возникающих в результате конвергенции физических и биологических технологий с цифровыми технологиями.

Поэтому команды, работающие над созданием наукоёмких инноваций на основе инструментов Индустрии 4.0, должны состоять из STEM:IT-специалистов в различных областях знаний с различным уровнем образования и квалификации. По сути, это должны быть 3D-команды, членами которых являются профессионалы, имеющие взаимодополняющие компетенции в трёх измере-

ниях: область научного и технического знания (физика, химия, биология, электротехника, механика и др.), сфера деятельности (STEM:IT – научно-исследовательская, технологическая, инженерная, информационно-математическая), уровень образования и квалификации (бакалавриат, магистратура, аспирантура). Например, гипотетическая 3D-команда, работающая над инновационным проектом создания кибер-биофизического устройства (биофизического робота), может состоять из пяти членов: 1 – кандидата наук (S) – выпускника аспирантуры по биологии (Bio), 2 – магистра наук (S) по физике (Phy), 3 – магистра в области химической (Che) технологии (T), 4 – магистра инженерного дела (E), 5 – бакалавра в области прикладной математики и информатики (M:IT) (Рис. 1).

Каждый специалист должен иметь свой приоритет в командной системе разделения труда в соответствии с уровнем и содержанием подготовки, которая определяется его специализацией и степенью интеграции STEM-образования [23–27]. Системным интегратором процесса и результата междис-

Таблица 1

Приоритеты специалистов на разных этапах жизненного цикла инноваций

Table 1

Priorities of specialists at different stages of the innovation life cycle

Жизненный цикл инноваций	Уровень высшего образования и квалификации		
	Бакалавриат	Магистратура	Аспирантура
Foresight			
Forecast			
Conceive			
Design			
Implement			
Operate			

■ – высокий приоритет; □ – низкий приоритет

циплинарной командной работы над созданием инновационного продукта является, как правило, инженерная деятельность, от которой в значительной степени зависит работа команды и её итог. Это обусловлено тем, что в процессе и результате инженерной деятельности создаётся образ конечного продукта, который материализуется совместными усилиями команды. Системообразующий характер инженерной деятельности позволяет адаптировать современные стандарты инженерного образования к другим составляющим STEM-IT [28; 29].

Несмотря на «охлаждение» отношений с «коллективным Западом», в том числе в академической сфере, не следует пренебрегать международными стандартами базового инженерного образования (CDIO), признанными мировым академическим и профессиональным сообществом в качестве «лучших практик» [30; 31]. Инженерная деятельность специалистов с базовым высшим образованием и квалификацией на уровне бакалавриата в соответствии с международными стандартами CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate) определяется следующими этапами жизненного цикла продуктов, систем, процессов и услуг: планирование, проектирование, производство

и применение [30]. В России стандарты CDIO эволюционировали и были дополнены ещё двумя этапами: предвидение (Foresight) и прогнозирование (Forecast), характерными для исследовательской и инновационной деятельности специалистов с высшим образованием и квалификацией на уровне аспирантуры и магистратуры соответственно [32]. Модель *FFCDIO* расширяет жизненный цикл за счёт включения этапов, важных для создания наукоёмкой инновационной продукции. Эта модель может определять контекст подготовки инженерных кадров и других специалистов с различным уровнем образования и квалификации для работы в команде с соответствующими приоритетами в системе разделения труда на разных этапах жизненного цикла технологических инноваций (табл. 1).

Для выпускников аспирантуры высокий приоритет имеет деятельность на этапах *Foresight – Forecast – Conceive – Design*. На этапе *Foresight* важны исследования научно-технических тенденций в предметной области, изучение перспективных потребностей общества в инновациях, анализ критических технологий. На этапе *Forecast* актуальными являются менеджмент знаний, прикладные исследования и генерирование новых зна-

Таблица 2

Приоритеты специалистов в различных составляющих области STEM:IT

Table 2

Priorities of specialists in various components of the STEM-IT field

Составляющие предметной области	Этапы жизненного цикла инновационной продукции					
	Foresight	Forecast	Conceive	Design	Implement	Operate
M:IT						
E						
T						
S						

■ – высший приоритет; ■ – высокий приоритет; □ – ограниченный приоритет.

ний, критический анализ научных данных, оценка потребности в наукоёмких технологиях. На этапе *Conceive* специалисты высшей квалификации создают научную основу для разработки инновационных продуктов, процессов, систем и услуг, а на этапе *Design* они обеспечивают научное сопровождение инновационных разработок. На этапах *Implement* и *Operate* компетенции инженеров-исследователей, как правило, востребованы редко.

Для выпускников магистратуры приоритетными являются этапы *Forecast – Conceive – Design – Implement*. На этапе *Forecast* магистры изучают тенденции на профильных рынках и прогнозируют потребности в инновационной продукции, оценивают риски и неопределённости, выявляют наиболее конкурентоспособные продукты, процессы, системы и услуги. На этапе *Conceive* специалисты с квалификацией магистра осуществляют технико-экономический анализ, занимаются моделированием инновационной продукции, оценкой социального и экономического эффекта инноваций, планированием ресурсов для создания инновационных продуктов, процессов, систем и услуг. На этапе *Design* магистры разрабатывают и проектируют инновационную продукцию с учётом различных ограничений, а на этапе *Implement* управляют процессом её производства, испытания и сертификации. Компетенции магистров мало востребованы на этапах *Foresight* и

Operate, поскольку в первом случае они являются недостаточными, а во втором – избыточными.

Для бакалавров (специалистов с базовым инженерным образованием) приоритетными являются этапы *Conceive – Design – Implement – Operate*. На этапе *Conceive* бакалавры уточняют запросы потребителей, определяют нормативы производства инновационной продукции, осуществляют техническое и бизнес-планирование. На этапе *Design* они участвуют в проектировании инновационных продуктов, процессов, систем и услуг, а на этапе *Implement* непосредственно материализуют проекты. На этапе *Operate* выпускники бакалавриата активно участвуют во внедрении инноваций, эксплуатации и обслуживании инновационного оборудования, приборов, инструментов и других технических устройств. Участие бакалавров в работе на этапах *Foresight* и *Forecast* не исключается, однако практикуется редко в связи с недостаточной квалификацией.

Как уже отмечалось, инженерная деятельность системно интегрирует командную работу над инновационными проектами. В этой связи созданная для неё модель *FFCDIO* принципиально применима не только к инженерной деятельности, но и к другим составляющим области STEM:IT [28]. В таблице 2 указаны приоритеты членов команды, являющихся специалистами в

различных составляющих области STEM:IT, при работе на различных этапах жизненного цикла инновационной продукции.

Специалисты в области естественных наук имеют высший приоритет при работе команды на этапах *Foresight* и *Forecast*, выполняя большой объём исследований для создания научных основ инноваций. Они также активно сотрудничают с инженерами на этапе *Conceive*. Этапы *Design*, *Implement* и *Operate* для учёных-исследователей имеют ограниченный приоритет, так как их компетенции не всегда востребованы при проектировании, производстве и применении инновационной продукции. Инженеры играют решающую роль на этапе *Conceive*, выполняя технико-экономическое обоснование и осуществляя концептуальное, техническое и бизнес-планирование инновационных продуктов, процессов, систем и услуг, а также на этапе *Design*, разрабатывая оптимальные инженерные решения для перспективной инновационной продукции с уникальными потребительскими свойствами. Инженеры активно участвуют в командной работе с технологами на этапе *Implement*, оказывая техническую поддержку процесса производства, испытания и сертификации продукции. Инженеры-исследователи могут участвовать в совместной деятельности с учёными в области естественных наук на этапах *Foresight* и *Forecast*. Специалисты с базовым инженерным образованием часто сотрудничают с технологами при эксплуатации и обслуживании технических объектов и систем на этапе *Operate*. Для технологов высший приоритет – работа на этапах *Implement* и *Operate*. Они играют главную роль в разработке и применении эффективных технологий производства и эксплуатации продукции. Компетенции технологов также важны для решения технологических вопросов при проектировании инновационных продуктов, процессов, систем и услуг на этапе *Design*. Вовлечённость технологов в исследования и разработки на этапах *Foresight*,

Forecast и *Conceive* ограничена в связи с отсутствием у них необходимых компетенций.

Следует отметить особую роль специалистов в области математики и IT в командной работе над созданием современной инновационной продукции. Сегодня в контексте цифровых трансформаций в науке, технике и технологиях их роль становится одной из важнейших на всех этапах жизненного цикла инноваций. Математическое моделирование, разработка и применение компьютерной техники и программного обеспечения, создание информационных сетей и систем, решение проблем кибербезопасности и других вопросов, связанных с формированием цифровой среды, являются в настоящее время неотъемлемыми составляющими инновационной деятельности и имеют высший приоритет, начиная с фундаментальных исследований и завершая эксплуатацией готовых продуктов и сервисов.

Необходимо подчеркнуть, что приведённое выше описание роли профессионалов в различных составляющих области STEM:IT с различным уровнем образования и квалификации является ориентировочным и касается лишь приоритетов. В действительности каждый специалист может найти своё место в междисциплинарной 3D-команде на любом этапе *FFCDIO* и внести свой вклад в создание инновационной продукции согласно своей квалификации. Однако определение приоритетов важно для более точного целеполагания в согласованной уровневой подготовке к эффективной совместной инновационной деятельности специалистов в области естественных наук, инженерного дела, технологий, а также математики и IT. С учётом выявленных приоритетов можно разработать новые и усовершенствовать существующие образовательные программы в области STEM:IT, для чего необходимо скорректировать цели, спланировать необходимые результаты обучения (компетенции выпускников) и сформировать соответствующие структуру и содержание программ.

Согласование программ подготовки профессионалов в области STEM:IT

Для 3D-команд справедливы общие принципы разделения труда и организации совместной деятельности специалистов, компетенции которых оптимальным образом взаимодополняют друг друга и обеспечивают достижение высокой производительности труда и высокое качество результатов. Поэтому STEM:IT-программы на всех уровнях высшего образования и для всех областей знаний должны предусматривать современные образовательные ресурсы, направленные на специальную подготовку выпускников к участию в создании команд и к командной работе. Формирование команды (teambuilding) является очень важным процессом превращения группы профессионалов в различных областях знаний и сферах деятельности в сплочённый коллектив, подготовленный к совместной деятельности для достижения общей цели. Основная задача *тимбилдинга* – создание связей между членами команды [33; 34], определение целевых установок (миссия, цель, ценности, функции и роли членов команды, командные нормы, модель принятия решений, эффективный процесс взаимодействия)⁷, а также планирование этапов становления и развития команды (*Forming, Storming, Norming, Performing, Adjourning*)⁸.

На этапе *Forming* члены команды исследуют проблемную ситуацию, выражают отношение к ней и пытаются понять, что есть

команда, кто они в команде, каковы их роли и как они будут взаимодействовать. На этапе *Storming* члены команды начинают совместную деятельность. При этом могут возникать разногласия и конфликты, которые должны быть улажены в результате обсуждения под руководством лидера группы. На этапе *Norming* команда начинает работать эффективно. Члены команды решают свои задачи и получают результаты, которые складываются в общий результат. На этапе *Performing* производительность труда и качество совместной работы членов команды достигает максимума. В действие приводятся все факторы успеха. Общая цель достигается. На этапе *Adjourning* команда подводит итоги работы и готовится к реформатированию или роспуску в зависимости от наличия или отсутствия перспектив дальнейшей совместной работы.

Для подготовки выпускников программ в области STEM:IT к эффективной командной работе целесообразно воспользоваться методическими наработками, успешно реализуемыми в педагогической практике [35–41]. Будущие STEM:IT-профессионалы – члены 3D-команд должны быть подготовлены к совместной работе мотивационно, а также в эмоциональном и когнитивном плане. Модель *VICTORY (Vision, Ideation, Combine, Team, Openness, Risk-taking, Yes I Can)* определяет условия успешной работы команд над междисциплинарными проектами по созданию наукоёмких технологических инноваций с достижением синергетического эффекта [42]. Модель включает следующие компоненты: *Vision* – перспективное видение результата, который может иметь особую ценность; *Ideation* – творческий процесс, который сопровождается генерированием идей, их оценкой, выбором и обоснованием новой идеи, которая может и должна стать основой инновации; *Combine* – сочетание «неожиданным образом» того, что уже известно; *Team* – командное творчество; *Openness* – воображение, интерес, поиск ощущений, активное ожидание нового;

⁷ Grzębowski R. Why teamwork is so important in innovative projects and startups, and what effective team building is all about? // MIT Enterprise Forum CEEURL: <https://mitefcee.org/why-teamwork-is-so-important-in-innovative-projects-and-startups-and-what-effective-team-building-is-all-about/> (дата обращения: 09.06.2022).

⁸ Janberg. Модель формирования команды – Брюс Такман Bruce W. Tuckman // Industry 4.0: Интернет-портал. 16.06.2021. URL: <https://janberg.by/model-formirovaniya-komandy-brjus-takman-bruce-w-tuckman/tuckman/> (дата обращения: 09.06.2022).

Risk – выход из зоны комфорта, вызов существующему, отклонение от нормы, готовность к неудаче; *Yes-I-Can* – самоисполняющееся пророчество для сильных духом. Чем выше ожидания команды, тем выше степень инновационного поведения её членов.

Для инновационной деятельности в составе 3D-команды выпускники STEM:IT-программ должны хорошо представлять жизненный цикл технологических инноваций, который, как правило, состоит из следующих этапов: *Ideation, Review & Approval, Realization & Execution, Scale, Deliver & Solicit Feedback*⁹. Команды разработчиков наиболее активно участвуют в первых двух этапах. Инновационный процесс начинается с выявления проблемной ситуации. На этапе *Ideation* определяется потребность в новых продуктах или услугах, которые могут разрешить проблемную ситуацию. Профессионалы должны владеть современными инструментами предпринимателя (MVP, Customer Development и др.) для анализа целевой аудитории потребителей. Затем генерируются идеи, на основе которых могут быть созданы новые продукты или услуги. На этапе *Review & Approval* проводятся исследования и разработки, выполняется проект, осуществляется технико-экономический анализ и оцениваются перспективы коммерческой реализации инновационного продукта или услуги. Компетенции профессионалов в области STEM:IT, объединённых в 3D-команду, особо востребованы при выполнении проекта инновационного продукта, системы, процесса или услуги. Поэтому выпускники соответствующих программ должны владеть методологией проектирования и основами проектного менеджмента (Project Management), а также навыками использования современных моделей (Waterfall, Agile), инструментов планирова-

ния и управления проектами (Gantt Charts, Axosoft и др.).¹⁰

При планировании результатов освоения уровней STEM:IT-программ, обеспечивающих подготовку специалистов в области естественных и прикладных наук, технологий, инженерного дела, математики и IT, целесообразно ориентироваться на приоритетные задачи специалистов на различных этапах жизненного цикла инноваций (табл. 1 и табл. 2), а также на приведённые ниже перечни их профессиональных компетенций при работе в 3D-команде, которые можно уточнять и дополнять для каждой программы с учётом уровня, направления и профиля подготовки.

В компетенцию специалистов в области естественных наук входит создание научных основ для разработки и проектирования инновационных продуктов, процессов и услуг, востребованных обществом, в том числе:

- выявление и решение научных проблем путём проведения исследований, генерирование новых знаний для научной поддержки решения инженерных и технологических задач в процессе достижения общей цели;
- ясное понимание потребностей общества, общей цели, сути научных проблем, своей роли, полномочий и ответственности за их решение, а также роли и полномочий других членов команды, ответственных за решение инженерных, технологических, математических и IT-проблем;
- разработка систем, процессов, процедур и программ для решения научных проблем;
- выдвижение и проверка научных гипотез, постановка и проведение экспериментов, анализ и интерпретация данных, формулировка выводов и заключений;
- ответственность за планирование, оценку рисков и неопределённостей, соблю-

⁹ *Mitzkus S. Innovation Lifecycle: Understanding The Curve & The Cycle of Innovation // Digital Leadership: Интернет-портал. 2022. 2 March. URL: <https://digitalleadership.com/blog/innovation-lifecycle/> (дата обращения: 09.06.2022).*

¹⁰ *What is Project Management? // Project Management: Интернет-портал. URL: <https://www.projectmanager.com/guides/project-management> (дата обращения: 10.06.2022).*

дение сроков решения научных проблем в контексте достижения общей цели;

- эффективные коммуникации и сотрудничество с членами команды и более широкой аудиторией, в том числе с заказчиками и потенциальными потребителями, соблюдение этических норм и правил;

- профессиональная ответственность за научные результаты и их влияние на достижение общей цели.

В компетенцию инженеров входит разработка и проектирование инновационных продуктов, процессов и услуг, востребованных обществом, в том числе:

- выявление и решение инженерных проблем с научной, технологической, математической и информационной поддержкой со стороны других членов команды для достижения общей цели;

- ясное понимание общей цели, инженерных проблем, своей роли, полномочий и ответственности за их решение, а также роли и полномочий других членов команды;

- проектирование инженерных решений, отвечающих запросам общества в инновационных продуктах, процессах или услугах;

- разработка и проведение инженерных экспериментов, анализ, интерпретация и использование полученных данных для принятия оптимальных инженерных решений;

- учёт требований к безопасности, охране здоровья, а также экологических, культурных, социальных и экономических ограничений в процессе инженерной деятельности;

- ответственность за планирование, оценку рисков и неопределённостей, соблюдение сроков решения инженерных проблем в контексте достижения общей цели;

- эффективные коммуникации и сотрудничество с членами команды и более широкой аудиторией, в том числе с заказчиками и потенциальными потребителями, соблюдение этических норм и правил;

- профессиональная ответственность за инженерные решения и их влияние на достижение общей цели.

В компетенцию технологов входит технологическая поддержка производства инновационных продуктов, процессов и услуг, востребованных обществом, в том числе:

- ясное понимание запросов общества, общей цели, технологических проблем, своей роли, полномочий и ответственности за их решение, а также роли и полномочий других членов команды;

- анализ и оценка технологических возможностей производства инновационных продуктов, процессов или услуг, востребованных обществом;

- решение технологических задач для поддержки достижения общей цели совместно с другими членами команды, решающими научные, инженерные, математические, информационные и компьютерные проблемы;

- разработка и проведение необходимых испытаний и измерений, анализ и интерпретация результатов экспериментов, использование эффективных методов и инструментов для улучшения технологических процессов;

- учёт требований к безопасности, охране здоровья, а также экологических, культурных, социальных и экономических ограничений при решении технологических задач;

- ответственность за планирование, оценку рисков и неопределённостей, соблюдение сроков решения технологических проблем в контексте достижения общей цели;

- эффективные коммуникации и сотрудничество с членами команды и более широкой аудиторией, в том числе с заказчиками и потенциальными потребителями, соблюдение этических норм и правил;

- профессиональная ответственность за технологические решения и их влияние на достижение общей цели.

В компетенцию математиков и IT-специалистов входит математическая, компьютерная и информационная поддержка решения научных, инженерных и технологических проблем при создании инновационных продуктов, процессов и услуг, востребованных обществом, в том числе:

– ясное понимание общей цели, информационных и компьютерных проблем, своей роли, полномочий и ответственности за их решение, а также роли и полномочий других членов команды;

– решение математических, информационных и компьютерных проблем для поддержки достижения общей цели совместно с другими членами команды, занимающимися исследовательской, инженерной и технологической деятельностью;

– ответственность за планирование, оценку рисков и неопределённости, соблюдение сроков решения математических и IT-проблем в контексте достижения общей цели;

– эффективные коммуникации и сотрудничество с членами команды и более широкой аудиторией, в том числе с заказчиками и потенциальными потребителями, соблюдение этических норм и правил;

– ответственность за математические и IT-решения и их влияние на достижение общей цели.

Таким образом, структура и содержание согласованных программ должны обеспечить профессиональную подготовку (приобретение профильных твёрдых навыков – major hard skills определённого уровня по направлению и профилю в области STEM:IT, выбранному в качестве специализации – major), формирование общих мягких навыков (soft skills), необходимых для работы в команде (способность к коммуникации, сотрудничеству, ответственность и др.), а также специальную междисциплинарную подготовку (модуль непрофильной подготовки – minor) с целью приобретения непрофильных твёрдых навыков (minor hard skills) в других составляющих области STEM:IT. Формирование непрофильных твёрдых навыков (minor hard skills) имеет принципиальное значение для повышения эффективности взаимодействия членов 3D-команд на различных этапах жизненного цикла создания инновационной продукции. Заметной частью программ должно стать выполнение

учебных, а затем и реальных междисциплинарных командных проектов, где участниками являются студенты бакалавриата, магистратуры и аспирантуры, обучающиеся по различным направлениям и профилям в области STEM:IT. В рамках таких проектов будущие учёные, инженеры, технологи, математики и IT-специалисты будут приобретать полезный опыт участия в мероприятиях по тимбилдингу, а также получать практику совместной деятельности в 3D-командах.

Заключение

Согласованная подготовка в отечественных вузах, в первую очередь – в ведущих университетах, специалистов с различным уровнем высшего образования и квалификации в области STEM:IT к работе в 3D-командах имеет важное значение для инновационно-технологического развития страны в условиях цифровой экономики и Индустрии 4.0. С этим согласились большинство преподавателей, участвовавших в опросе, недавно проведённом в одном из университетов г. Томска, известном своим высоким научно-образовательным потенциалом. Однако на вопрос о заинтересованности участвовать в такой подготовке и руководить студентами, выполняющими междисциплинарные STEM:IT-проекты в 3D-командах, большинство преподавателей – представителей разных факультетов университета ответили отрицательно. Такой ответ неудивителен, так как, во-первых, преподаватели вузов обычно «не горят желанием» участвовать в педагогических инновациях, а во-вторых, они, как правило, неохотно вступают в междисциплинарные взаимодействия с представителями других кафедр и факультетов. Академические барьеры внутри университетов ещё весьма высоки. Разрешить данное противоречие может только высший менеджмент вуза, и в первую очередь – проректоры, отвечающие за образовательную, научную и инновационную деятельность. Кроме административных мер по устранению академических барьеров между структурными

подразделениями и «разъяснительной работы», потребуется повышение квалификации и организационно-методическая подготовка самих преподавателей к работе в команде. Необходимо активизировать их участие в междисциплинарных исследованиях и разработках в области STEM:IT, направленных на создание реальных инноваций. Это непростые задачи для руководства университетов. Однако придется ускорить их решение, для того чтобы высшая школа страны своевременно внесла свой вклад в преодоление технологического отставания России от ведущих стран мира.

Литература

1. *Daitian Li, Zheng Liang, Fredrik Tell, Lan Xue*. Sectoral systems of innovation in the era of the fourth industrial revolution: An introduction to the special section // *Industrial and Corporate Change*. 2021. Vol. 30. Issue 1. P. 123–135. DOI: 10.1093/icc/dtaa064
2. Defence Innovation and the 4th Industrial Revolution. Security Challenges, Emerging Technologies, and Military Implications / Raska M., Zysk K., Bowers I. (Eds.). Routledge, 2022, 202 p. ISBN 9781032213989.
3. Nature-like and Convergent Technologies Driving the Fourth Industrial Revolution. Vienna: United Nations Industrial Development Organization, 2019. URL: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-01/Convergent_tech.pdf (дата обращения: 07.06.2022).
4. *Zysk K.* Defence innovation and the 4th industrial revolution in Russia // *Journal of Strategic Studies*. 2021. Vol. 44. No. 4. P. 543-571. DOI: 10.1080/01402390.2020.1856090
5. Инновации в России – неисчерпаемый источник роста. Центр по развитию инноваций / Алябьев С., Голощапов Д., Клинцов В. и др. McKinsey Innovation Practice, 2018. 108 с. URL: https://www.mckinsey.com/-/media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Russia/Our%20Insights/Innovations%20in%20Russia/Innovations-in-Russia_web_lq-1.ashx (дата обращения: 29.07.2022).
6. *Ваганова О.И., Максимова К.А., Картова М.А.* Технология проблемного обучения в профессиональном образовании // Карельский научный журнал. 2019. Т. 8. №4 (29). С. 7–10. DOI: 10.26140/knz4-2019-0804-0001
7. *Быстрова Н.В., Зиновьева С.А., Филатова Е.В.* Проблемное обучение в современном образовании // *Проблемы современного педагогического образования*. 2020. № 67-1. С. 43–46. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42987651> (дата обращения: 04.06.2022).
8. *Батяева Е.Х., Ким Т.В., Барышникова И.А., Салихова Е.Ю., Рогова Н.Р., Пржанова А.А., Николаева Т.А.* Проблемно-ориентированное обучение: сущность, недостатки, преимущества // *Медицина и экология*. 2016. № 1 (78). С. 115–122. URL: <https://repoz.qmu.kz/bitstream/handle/123456789/210/Проблемно-ориентированное%20обучение.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения: 04.06.2022). [
9. *Zakaria M., Maat S., Kbalid F.* A Systematic Review of Problem Based Learning in Education // *Creative Education*. 2019. No. 10. P. 2671–2688. DOI: 10.4236/ce.2019.1012194
10. *Xu Wei, Ye Tingjie, Wang Xiaoling.* The Effectiveness of the Problem-Based Learning in Medical Cell Biology Education // *Medicine*. 2021. Vol.100. Issue 39. Article no. e27402. DOI: 10.1097/MD.00000000000027402
11. *Dorit A., Nirit R.* Problem-based learning, self- and peer assessment in higher education: towards advancing lifelong learning skills // *Research Papers in Education*. 2022. Vol. 37. No. 3. P. 370–394. DOI: 10.1080/02671522.2020.1849371
12. Проектное обучение. Практики внедрения в университетах / Под ред. Л.А. Евстратовой, Н.В. Исаевой, О.В. Лешукова. М.: Изд. дом НИУ ВШЭ, 2018. 154 с. URL: <https://publications.hse.ru/pubs/share/direct/376211321.pdf> (дата обращения: 04.06.2022).
13. *Хамидулин В.С.* Модернизация модели проектно-организованного обучения в вузе // *Высшее образование в России*. 2020. Т. 29. № 1. С. 135–149. DOI: 10.31992/0869-3617-2020-29-1-135-149
14. *Куклина М.В., Труфанов А.И., Уразова Н.Г., Бондарева А.В.* Анализ внедрения проектного обучения в российских вузах // *Современные проблемы науки и образования*. 2021. № 6. DOI: 10.17513/spno.31320
15. *Брызгалова О.Н.* Проектное обучение в системе профессиональной подготовки студентов: цели и проблемы реализации // *Коипон*.

2021. Т. 2. № 4. С. 195–212. DOI: 10.15826/koinon.2021.02.4.048
16. Guo P., Saab N., Post L.S., Admiraal W. A review of project-based learning in higher education: Student outcomes and measures // International Journal of Educational Research. 2020. Vol. 102. Article no. 101586 DOI: h10.1016/j.ijer.2020.101586
 17. Žerovnik, A., Nančovska Š.I. (). Project-Based Learning in Higher Education // Vaz de Carvalho C., Bauters M. (Eds.). Technology Supported Active Learning. Lecture Notes in Educational Technology. Singapore: Springer, 2021. DOI: 10.1007/978-981-16-2082-9_3
 18. Huang M., Yang R. Action Research on Project-based Learning and Contest-based Learning in Higher Education // 2021 International e-Engineering Education Services Conference (e-Engineering), 22–23 June, 2021. P. 17–22. DOI: 10.1109/e-Engineering47629.2021.9470750
 19. Филатова М.Н., Шейнбаум В.С., Щедровицкий П.Г. Онтология компетенций «умение работать в команде» и подходы к её развитию в инженерном вузе // Высшее образование в России. 2018. Т. 27. № 6. С. 71–82. URL: <https://vovr.elpub.ru/jour/article/view/1396/1146> (дата обращения: 04.06.2022).
 20. Stepanova J. Team-Based Learning in Management. Innovations, Technologies and Research in Education. UK: Cambridge Scholars Publishing, 2018. P. 78–90. ISBN-13:978-1-5275-0622-0.
 21. Burgess A., Haq I., Bleasel J., Roberts C., Garcia R., Randal N., Mellis C. Team-Based Learning (TBL): A community of practice // BMC Medical Education. 2019. Vol. 19. No. 1. P. 369. DOI: 10.1186/s12909-019-1795-4
 22. Индикаторы инновационной деятельности: 2021: статистический сборник / Гохберг А.М., Грачева Г.А., Дитковский К.А. и др. М.: НИУ ВШЭ, 2021. 280 с. URL: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/465578843.pdf> (дата обращения: 04.06.2022).
 23. Kelley T.R., Knowles J.G. A conceptual framework for integrated STEM education // International Journal of STEM Education. 2016. No. 3. Article no. 11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
 24. Winberg Ch., Adendorff H., Bozalek V., Conana H., Pallitt N., Wolff K., Oleson T., Roxe T. (Learning to teach STEM disciplines in higher education: A critical review of the literature // Teaching in Higher Education. 2019. Vol. 24. No.8. P. 930–947. DOI: 10.1080/13562517.2018.1517735
 25. Türk N., Kalayc N., Yamak H. New Trends in Higher Education in the Globalizing World: STEM in Teacher Education // Universal Journal of Educational Research. 2018. Vol. 6. No. 6. P. 1286–1304. DOI: 10.13189/ujer.2018.060620
 26. Marín-Marín J.A., Moreno-Guerrero A.J., Dúo-Terrón P. et al. STEAM in education: A bibliometric analysis of performance and co-words in Web of Science // International Journal of STEM Education 2021. No. 8. Article no. 41. DOI: 10.1186/s40594-021-00296-x
 27. Yang D., Baek Y., Ching Y.-H., Swanson, S., Chittoori, B., Wang, S. Infusing Computational Thinking in an Integrated STEM Curriculum: User Reactions and Lessons Learned // European Journal of STEM Education. 2021. Vol. 6. No. 1. Article no. 04. DOI: 10.20897/ejsteme/9560
 28. Чучалин А.И. Адаптация The Core CDIO Standards 3.0 к высшему STEM-образованию // Высшее образование в России. 2021. Т. 30. № 2. С. 9–21. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-2-9-21
 29. Chuchalin A., Zamyatin A. Educating & Training STEM:IT Professionals Based on the CDIO Standards Evolution. // 2021 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC). Princeton, NJ, 2021. P. 21–27. DOI: 10.1109/ISEC52395.2021.9763947
 30. Crawley E., Malmqvist J., Ostlund S., Brodeur D., Edström K. Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach. 2nd edition. NY: Springer Cham, 2014. 311 p. DOI: 10.1007/978-3-319-05561-9
 31. Malmqvist J., Hugo R., Kjellberg M. A Survey of CDIO Implementation Globally – Effects on Educational Quality // Proceedings of 11th International CDIO Conference. Chengdu, China, June 8–11, 2015. URL: https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/218617/local_218617.pdf (дата обращения: 04.06.2022).
 32. Chuchalin A. Evolution of the CDIO approach: BEng, MSc, and PhD level // European Journal of Engineering Education. 2020. Vol. 45. No. 1. P. 103–112. DOI: 10.1080/03043797.2017.1422694
 33. Соловьева И.А., Мостовщикова И.А. Модель формирования эффективных команд для реализации инновационной деятельности предприятия // Journal of New Economy. 2021.

- T. 22. № 2. С. 110–133. DOI: 10.29141/2658-5081-2021-22-2-6
34. Доружков Н.Д. Особенности построения и взаимодействия команды инновационного проекта // Бизнес-образование в экономике знаний. 2017. № 2 (7). С. 43–47. EDN YMRIHV.
 35. Gbantat R., Abmad W. Teaching teamwork to transnational students in engineering and technology // Compass: Journal of Learning and Teaching. 2020. Vol. 13. No. 2. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.21100/compass.v13i2.1040>
 36. Nancarrow S.A., Booth A., Ariss S. et al. Ten principles of good interdisciplinary team work // Human Resources for Health. 2013. Vol. 11. Article no.19. DOI: 10.1186/1478-4491-11-19
 37. Pérez J.M.M., Molina M.I. Leadership and Teamwork in Innovation Ecosystems // Moya B.L., de Gracia M.O.S., Mazadiago L.F. (Eds.). Key Issues for Management of Innovative Projects. London: IntechOpen, 2017, pp. 137–150. DOI: 10.5772/intechopen.69006
 38. Kelly R., McLoughlin E., Finlayson O.E. Interdisciplinary group work in higher education: A student perspective // Issues in Educational Research. 2020. Vol. 30. No. 3. P. 1005–1024. URL: <https://www.iier.org.au/iier30/kelly.pdf> (дата обращения: 04.06.2022).
 39. Smarkusky D.L., Toman S.A. Interdisciplinary Project Experiences: Collaboration Between Majors and Non-Majors // Information Systems Education Journal. 2014. Vol. 12. No. 3. P. 67–75. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1140732.pdf> (дата обращения: 04.06.2022).
 40. West, R.E. Breaking Down Walls to Creativity Through Interdisciplinary Design // Educational Technology. 2016. Vol. 56. No. 6. P. 47–52. URL: <http://www.jstor.org/stable/44430508> (дата обращения: 04.06.2022).
 41. Herrera R.F., Muñoz F. C., Salazar L.A. Perceptions of the development of teamwork competence in the training of undergraduate engineering students // Global Journal of Engineering Education. 2017. Vol. 19. No. 1. P. 30–35. URL: <http://www.wiete.com.au/journals/GJEE/Publish/vol19no1/04-Herrera-R.pdf> (дата обращения: 04.06.2022).
 42. Min Tang. Fostering Creativity in Intercultural and Interdisciplinary Teams: The VICTORY Model // Frontiers in Psychology. 2020. Vol. 10. P. 1–11. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.02020

Статья поступила в редакцию 14.05.22

Принята к публикации 05.07.22

References

1. Daitian Li, Zheng Liang, Fredrik Tell, Lan Xue. (2021). Sectoral Systems of Innovation in the Era of the Fourth Industrial Revolution: An Introduction to the Special Section. *Industrial and Corporate Change*. Vol. 30, issue 1, pp. 123–13, doi: 10.1093/icc/dtaa064
2. Raska, M., Zysk, K., Bowers, I. (Eds.) (2022). *Defence Innovation and the 4th Industrial Revolution. Security Challenges, Emerging Technologies, and Military Implications*. Routledge, 202 p. ISBN 9781032213989.
3. United Nations Industrial Development Organization (2019). *Nature-like and Convergent Technologies Driving the Fourth Industrial Revolution*. Vienna : Available at: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-01/Convergent_tech.pdf (accessed 07.06.2022).
4. Zysk, K. (2021). Defence Innovation and the 4th Industrial Revolution in Russia. *Journal of Strategic Studies*. Vol. 44, no. 4, pp. 543–571, doi: 10.1080/01402390.2020.1856090
5. Alyabiev, S., Goloshchapov, D., Klintsov, V. et al. (2018). *Innovatsii v Rossii – neisчерпаemyi istochnik rosta. Tsentr po razvitiyu innovatsii* [Innovation in Russia is an Inexhaustible Source of Growth]. McKinsey Innovation Practice, 108 p. Available at: https://www.mckinsey.com/-/media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Russia/Our%20Insights/Innovations%20in%20Russia/Innovations-in-Russia_web_lq-1.ashx (accessed 29.07.2022). (In Russ.).
6. Vaganova, O.I., Maksimova, K.A., Karpova, M.A. (2019). Technology of Problem Training in Vocational Education. *Karel'skiy nauchnyi zhurnal = Karelian Scientific Journal*. Vol. 8, no. 4 (29), pp. 7–10, doi: 10.26140/knz4-2019-0804-0001 (In Russ., abstract in Eng.).

7. Bystrova, N.V., Zinovieva, S.A., Filatova, E.V. (2020). Problem Training in Modern Education. *Problemy sovremennoogo pedagogicheskogo obrazovaniya = Problems of Modern Pedagogical Education*. No. 67-1, pp. 43-46. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42987651> (accessed 29.07.2022). (In Russ., abstract in Eng.).
8. Batyaeva, E.Kh., Kim, T.V., Baryshnikova, I.A., Salikhova, E.Yu., Rogova, N.R., Przhanova, A.A., Nikolaeva, T.L. (2016). Problem-Based Learning: Essence, Disadvantages, Advantages. *Meditsina i ekologiya = Medicine and Ecology*. No. 1 (78), pp. 115-122. Available at: <https://re-poz.qmu.kz/bitstream/handle/123456789/210/Проблемно-ориентированное%20обучение.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed 29.07.2022). (In Russ., abstract in Eng.).
9. Zakaria, M., Maat, S., Khalid, F. (2019). A Systematic Review of Problem Based Learning in Education. *Creative Education*. No. 10, pp. 2671-2688, doi: 10.4236/ce.2019.1012194
10. Xu Wei, Ye Tingjie, Wang Xiaoling (2021). The Effectiveness of the Problem-Based Learning in Medical Cell Biology Education. *Medicine*. Vol. 100, issue 39, article no. e27402, doi: 10.1097/MD.00000000000027402
11. Dorit, A., Nirit, R. (2022). Problem-Based Learning, Self- and Peer Assessment in Higher Education: Towards Advancing Lifelong Learning Skills. *Research Papers in Education*. Vol. 37, no. 3, pp. 370-394, doi: 10.1080/02671522.2020.1849371
12. Evstratova, L.A., Isaeva, N.V., Leshukov, O.V. (2018). *Proektnoe obuchenie. Praktiki vnedreniya v universitetakh* [Project Training. Implementation Practices at Universities]. Moscow, 154 p. Available at: <https://publications.hse.ru/pubs/share/direct/376211321.pdf> (accessed 04.06.2022). (In Russ.).
13. Khamidulin, V.S. (2020). Development of a Model of Project-Based Learning. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher education in Russia*. Vol. 29, no. 1, pp. 135-149, doi: 10.31992/0869-3617-2020-29-1-135-149 (In Russ. abstract in Eng.).
14. Kuklina, M.V., Trufanov, A.I., Urazova, N.G., Bondarev, A.V. (2021). Analysis of the Implementation of Project-Based Learning in Russian Universities. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. No. 6, doi: 10.17513/spno.31320 (In Russ.).
15. Bryzgalova, O. N. (2021). Project-Based Training in the System of Professional Training of Students: Goals and Problems of Implementation. *Koinon*. Vol. 2, no. 4, pp. 195-212, doi: 10.15826/koinon.2021.02.4.048 (In Russ. abstract in Eng.).
16. Guo, P., Saab, N., Post, L.S., Admiraal, W. (2020). A Review of Project-Based Learning in Higher Education: Student Outcomes and Measures. *International Journal of Educational Research*. Vol. 102, article no. 101586, doi: 10.1016/j.ijer.2020.101586
17. Žerovnik, A., Nančovska, Š.I. (2021). Project-Based Learning in Higher Education. In: Vaz de Carvalho, C., Bauters, M. (Eds.). *Technology Supported Active Learning. Lecture Notes in Educational Technology*. Singapore : Springer, doi: 10.1007/978-981-16-2082-9_3
18. Huang, M., Yang, R. (2021). Action Research on Project-based Learning and Contest-based Learning in Higher Education. In: *2021 International e-Engineering Education Services Conference (e-Engineering)*, 22-23 June 2021, pp. 17-22, doi: 10.1109/e-Engineering47629.2021.9470750
19. Filatova, M.N., Sheinbaum, V.S., Shchedrovitsky, P.G. (2018). Ontology of Teamwork Competency and Approaches to Its Development at Engineering University. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. Vol. 27, no. 6, pp. 71-82. Available at: <https://vovr.elpub.ru/jour/article/view/1396/1146> (accessed 04.06.2022). (In Russ., abstract in Eng.).
20. Stepanova, J. (2018). *Team-Based Learning in Management*. Innovations, Technologies and Research in Education. UK : Cambridge Scholars Publishing, pp. 78-90. ISBN-13:978-1-5275-0622-0.

21. Burgess, A., Haq, I., Bleasel, J., Roberts, C., Garsia, R., Randal, N., Mellis, C. (2019). Team-Based Learning (TBL): A Community of Practice. *BMC Medical Education*. Vol. 19, no. 1, pp. 369, doi: 10.1186/s12909-019-1795-4
22. Gokhberg, L.M., Gracheva, G.A., Ditkovsky, K.A. et al. (2021). *Indikatoriy innovatsionnoy deyatel'nosti: 2021: statisticheskiy sbornik = Indicators of Innovative Activity: 2021: Data book*. National Research University Higher School of Economics. Moscow : HSE Publ., 280 p. (In Russ.).
23. Kelley, T.R., Knowles, J.G. (2016). A Conceptual Framework for Integrated STEM Education. *International Journal of STEM Education*. No. 3. Article no. 11, doi: 10.1186/s40594-016-0046-z
24. Winberg, Ch., Adendorff, H., Bozalek, V., Conana, H., Pallitt, N., Wolff, K., Olsson, T., Roxa, T. (2019). Learning to Teach STEM Disciplines In Higher Education: A Critical Review of the Literature. *Teaching in Higher Education*. Vol. 24, no. 8, pp. 930-947, doi: 10.1080/13562517.2018.1517735
25. Türk, N., Kalayc, N., Yamak, H. (2018). New Trends in Higher Education in the Globalizing World: STEM in Teacher Education. *Universal Journal of Educational Research*. Vol. 6, no. 6, pp. 1286-1304, doi: 10.13189/ujer.2018.060620
26. Marín-Marín, J.A., Moreno-Guerrero, A.J., Dúo-Terrón, P. et al. (2021). STEAM in Education: A Bibliometric Analysis of Performance and Co-Words in Web of Science. *International Journal of STEM Education*. No. 8, article no. 41, doi: 10.1186/s40594-021-00296-x
27. Yang, D., Baek, Y., Ching, Y.-H., Swanson, S., Chittoori, B., Wang, S. (2021). Infusing Computational Thinking in an Integrated STEM Curriculum: User Reactions and Lessons Learned. *European Journal of STEM Education*, Vol. 6, no. 1, article no. 04, doi: 10.20897/ejsteme/9560
28. Chuchalin, A.I. (2021). Adaptation of “The Core CDIO Standards 3.0” to STEM Higher Education. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. Vol. 30, no. 2. pp. 9-21, doi: 10.31992/0869-3617-2021-30-2-9-21 (In Russ., abstract in Eng.).
29. Chuchalin, A., Zamyatin, A. (2021). Educating & Training STEM:IT Professionals Based on the CDIO Standards Evolution. In: *2021 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, Princeton, NJ, pp. 21-27, doi: 10.1109/ISEC52395.2021.9763947
30. Crawley, E., Malmqvist, J., Ostlund, S., Brodeur, D., Edström, K. (2014). *Rethinking Engineering Education, the CDIO Approach, Second Edition*. NY : Springer Cham, 311 p., doi: 10.1007/978-3-319-05561-9
31. Malmqvist, J., Hugo, R., Kjellberg, M. (2015). A Survey of CDIO Implementation Globally – Effects on Educational Quality. In: *Proceedings of 11th International CDIO Conference*. Chengdu, China, June 8-11, 2015. Available at: https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/218617/local_218617.pdf (accessed 04.06.2022).
32. Chuchalin, A. (2020). Evolution of the CDIO Approach: BEng, MSc, and PhD Level. *European Journal of Engineering Education*. Vol. 45, no. 1, pp. 103-112, doi: 10.1080/03043797.2017.1422694
33. Solovyeva, I.A., Mostovshchikova, I.A. (2021). Undertaking Innovation Activities at Enterprises: A Model for Building Efficient Teams. *Journal of New Economy*. Vol. 22, no. 2, pp. 110-133, doi: 10.29141/2658-5081-2021-22-2-6 (In Russ., abstract in Eng.).
34. Dorozhkov, N.D. (2017). Peculiarities of Construction and Interaction of the Innovative Project Team *Business Education in Knowledge Economy*. No. 2 (7), pp. 43-47. (In Russ., abstract in Eng.).
35. Ghannam, R., Ahmad, W. (2020). Teaching Teamwork to Transnational Students in Engineering and Technology. *Compass: Journal of Learning and Teaching*. Vol. 13, no. 2, pp. 1-17, doi: <https://doi.org/10.21100/compass.v13i2.1040>
36. Nancarrow, S.A., Booth, A., Ariss, S. et al. (2013). Ten Principles of Good Interdisciplinary Team Work. *Human Resources for Health*. Vol. 11, article no. 19, doi: 10.1186/1478-4491-11-19

37. Pérez, J.M.M., Molina, M.I. (2017). Leadership and Teamwork in Innovation Ecosystems. In: Moya B.L., de Gracia M.o.S., Mazadiego L.F. (Eds.). *Key Issues for Management of Innovative Projects*. London : IntechOpen, pp. 137-150, doi: 10.5772/intechopen.69006
38. Kelly, R., McLoughlin, E., Finlayson, O.E. (2020). Interdisciplinary Group Work in Higher Education: A Student Perspective. *Issues in Educational Research*. Vol. 30, no. 3, pp. 1005-1024. Available at: <https://www.iier.org.au/iier30/kelly.pdf> (accessed 04.06.2022).
39. Smarkusky, D.L., Toman, S.A. (2014). Interdisciplinary Project Experiences: Collaboration Between Majors and Non-Majors. *Information Systems Education Journal*. Vol. 12, no. 3, pp. 67-75. Available at: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1140732.pdf> (accessed 04.06.2022).
40. West, R.E. (2016). Breaking Down Walls to Creativity Through Interdisciplinary Design. *Educational Technology*. Vol. 56, no. 6, pp. 47-52. Available at: <http://www.jstor.org/stable/44430508> (accessed 04.06.2022).
41. Herrera R.F., Muñoz F. C., Salazar L.A. (2017). Perceptions of the Development of Teamwork Competence in the Training of Undergraduate Engineering Students. *Global Journal of Engineering Education*. Vol. 19, no. 1, pp. 30-35. Available at: <http://www.wiete.com.au/journals/GJEE/Publish/vol19no1/04-Herrera-R.pdf> (accessed 04.06.2022).
42. Min Tang (2020). Fostering Creativity in Intercultural and Interdisciplinary Teams: The VICTORY Model. *Frontiers in Psychology*, Vol. 10, pp. 1-11, doi: 10.3389/fpsyg.2019.02020

The paper was submitted 14.05.22
Accepted for publication 05.07.22