

СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ ПО РЯДУ ИТ-НАПРАВЛЕНИЙ

Гусева А.И., Калашник В.М., Каминский В.И., Киреев С.В.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, e-mail: aiguseva@mephi.ru

В статье рассмотрены современные тенденции подготовки бакалавров в области системной и программной инженерии, а также бизнес-информатики, выявленные с учетом международных рекомендаций и практик ряда ведущих университетов. Для повышения качества образования на основе анализа рекомендаций всемирной инициативы CDIO, подхода к образовательному процессу на основе междисциплинарной связи научных явлений STEAM, свода знаний по системной инженерии SEBoK, методических рекомендаций для программ бакалавриата по программной инженерии SE2014, свода знаний по программной инженерии SWEBOK и свода знаний по бизнес-анализу BABOK выделены общие инженерные подходы ИТ-подготовки бакалавров. В целях обобщения отечественного опыта подготовки рассмотрены федеральные образовательные и профессиональные стандарты, проведена сравнительная оценка практик ряда университетов – победителей программы «Приоритет–2030». Показано, что, несмотря на отдельные успешные инженерные практики, многим российским университетам, осуществляющим подготовку ИТ-бакалавров, целесообразно внести коррективы в программы обучения для формирования компетенций, направленных на прорывные исследования по приоритетным направлениям развития РФ. Результаты статьи могут быть использованы для повышения качества подготовки студентов не только в рамках бакалавриата по указанным направлениям, но и для направлений магистратуры 09.04.04 Программная инженерия, 27.04.03 Системный анализ и управление и 38.04.05 Бизнес-информатика.

Ключевые слова: бакалавр, системная инженерия, программная инженерия, бизнес-информатика, инженерная подготовка, ИТ-направления подготовки, метод ключевых факторов, Программа «Приоритет–2030».

MODERN TRENDS IN ENGINEERING TRAINING IN A NUMBER OF IT DIRECTIONS

Guseva A.I., Kalashnik V.M., Kaminskii V.I., Kireev S.V.

National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, e-mail: aiguseva@mephi.ru

The article discusses current trends in the training of bachelors in the field of system and software engineering, as well as business informatics, identified taking into account international recommendations and practices of a number of leading universities. To improve the quality of education based on the analysis of the recommendations of the global CDIO initiative, the approach to the educational process based on the interdisciplinary connection of scientific phenomena STEAM, the SEBoK system engineering body of knowledge, SE2014 guidelines for software engineering undergraduate programs, the SWEBOK software engineering body of knowledge and the body of knowledge according to BABOK business analysis, general engineering approaches for IT training of bachelors are highlighted. In order to generalize the domestic experience of training, federal educational and professional standards were considered, a comparative assessment of the practices of a number of universities - winners of the Priority 2030 Program was carried out. It is shown that, despite some successful engineering practices, it is advisable for many Russian universities that train IT bachelors to make adjustments to their training programs to form competencies aimed at breakthrough research in priority areas of development of the Russian Federation. The results of the article can be used not only to improve the quality of training students in the undergraduate studies in these areas, but also for the master's degree 09.04.04 Software Engineering, 27.04.03 System Analysis and Management and 38.04.05 Business Informatics.

Keywords: bachelor, Systems Engineering, Software Engineering, Business Informatics, engineering training, IT degrees, key factors method, Priority 2030 program.

Взросшие мировые потребности в качественном инженерном образовании, особенно в области ИТ, обусловлены рядом факторов. Среди них – роботизация и цифровизация экономики, переход к экономике знаний; разработка и создание новых технологий, включая

технологии на основе искусственного интеллекта; развитие ИТ-сервисов, в том числе, охватывающих практически все сферы деятельности человека, включая бытовые и др.

Переход к цифровой экономике является одной из приоритетных задач России, что отражено в национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации». Программа направлена на повышение глобальной конкурентоспособности России, укрепление ее безопасности, улучшение качества жизни граждан. При этом очевидно, что достижение целей программы напрямую связано с задачей подготовки квалифицированных кадров в области ИТ. Эта задача может быть решена, в первую очередь, через систему высшего образования (бакалавриат, специалитет, магистратуру, аспирантуру) и систему дополнительного профессионального образования.

В настоящее время, несмотря на достаточно большое количество имеющихся на рынке труда ИТ-специалистов в России – примерно 1,8 млн человек (2,4% от экономически активного населения), ежегодная потребность в таких специалистах возрастает и составляет более 220 тыс. человек [1].

Подготовка ИТ и инженерных кадров находится в фокусе внимания Правительства Российской Федерации. Среди недавних инициатив в этой области можно выделить постановления Правительства РФ от 08.04.2022 г. № 619 и от 14 марта 2022 г. № 357. Первое из них связано с развитием передовых инженерных школ и направлено на повышение инженерной подготовки в интересах высокотехнологичных отраслей, включая разработку программ опережающей подготовки инженерных кадров, владеющих передовыми цифровыми технологиями, сквозными цифровыми технологиями и др. По результатам проведенного конкурса победителями стали 30 инженерных школ из различных российских университетов, причем деятельность 70% из них направлена на развитие таких направлений, как «Цифровые технологии» или «Искусственный интеллект и цифровые технологии», а 20% – на развитие направления «Программная инженерия» [2].

Во втором постановлении предусматривается создание «цифровых кафедр» в университетах – участниках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (далее – Программа «Приоритет–2030»), которые должны организовать и реализовать «процесс получения дополнительного профессионального образования параллельно с освоением основных образовательных программ с целью формирования цифровых компетенций в области создания алгоритмов и программ для решения практических задач, а также освоением цифровых технологий, необходимых для выполнения нового вида профессиональной деятельности».

При анализе российского опыта в области подготовки ИТ-кадров из 16 направлений подготовки бакалавров, включенных в перечень направлений подготовки сферы

информационных технологий в соответствии с приказом Минцифры России от 14.01.2021 г. № 10, авторами были выбраны три направления: 09.03.04 Программная инженерия, 27.03.03 Системный анализ и управление, а также 38.03.05 Бизнес-информатика, в наибольшей степени соответствующие понятию «инженерная подготовка» в ИТ-отрасли. Бизнес-информатика является молодым и перспективным направлением современного высшего образования, объединяющим в себе знания из экономики, менеджмента, информатики и информационных технологий, и предоставляет широкую область профессиональной деятельности, в том числе и инженерной. Несмотря на то что формально бизнес-информатика относится к укрупненной группе направлений «Экономика и управление», традиционно в состав учебных планов включается большое количество математических, технологических и инженерных дисциплин. Важно отметить, что по этим трем направлениям обучаются значительное число студентов российских вузов (например, в 2021 г. свыше 46 тыс. человек), при этом каждый год контрольные цифры приема увеличиваются [3].

Целями настоящей статьи являются выявление общих инженерных подходов ИТ-подготовки бакалавров в области системной и программной инженерии и бизнес-информатики для повышения качества образования, а также анализ и сравнительная оценка лучших отечественных практик университетов – победителей Программы «Приоритет–2030».

Материал и методы исследования

В процессе исследования был проведен анализ следующих международных практик подготовки в области высшего ИТ-образования:

- CDIO (Conceive – Design – Implement – Operate) – всемирная инициатива, задачей которой является освоение инженерной деятельности в соответствии с моделью «4П» «Планировать – Проектировать – Производить – Применять» реальных систем, процессов и продуктов на международном рынке;
- STEAM (Science – Technology – Engineering – Art – Mathematics) – подход к образовательному процессу на основе междисциплинарной связи научных явлений, который позволяет получить знания на основе практики и глубокого понимания процессов – наука, технологии, инженерия, гуманитарная составляющая и математика;
- Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge, v.2.0, 2019 (далее – SEBoK): Системная инженерия – руководство к Своду знаний по системной инженерии;
- SE 2014: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering (далее – SE 2014) – методические рекомендации для программ бакалавриата по программной инженерии;
- Software Engineering Body of Knowledge, v.3.0 (далее – SWEBoK) – руководство к Своду знаний по программной инженерии;

- Guide to the Business Analysis Body of Knowledge (далее – BABOK) – руководство к Своду знаний по бизнес-анализу.

При анализе российского опыта в области подготовки ИТ-кадров были рассмотрены:

- федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) по направлениям подготовки 27.03.03 Системный анализ и управление, 09.03.04 Программная инженерия и 38.03.05 Бизнес-информатика;
- профессиональные стандарты 06.015 «Специалист по информационным системам», 06.022 «Системный аналитик» и 08.037 «Бизнес-аналитик»;
- рабочие учебные планы и рабочие учебные программы по трем рассматриваемым ИТ-направлениям университетов – победителей Программы «Приоритет–2030», среди которых такие программы реализуют 26 университетов.

В качестве инструмента исследования был выбран метод анализа ключевых факторов [4], который обеспечивает возможность проводить сопоставительный анализ, позволяет выявить общие принципы подготовки по трем рассматриваемым направлениям и определить области, где они различаются.

Метод ключевых факторов состоит из следующих шагов:

- 1) формулирование цели анализа. В нашем случае целью является выявление общих принципов подготовки по трем рассматриваемым ИТ-направлениям;
- 2) определение факторов (обстоятельств, характеристик), которые влияют на достижение цели;
- 3) позиционирование факторов по степени их влияния на достижение цели по категориям:
 - стратегические, т.е. критически важные для достижения цели;
 - высокопотенциальные, которые могут быть важны в будущем для достижения цели;
 - операционные, от которых в настоящий момент зависит успех в достижении цели;
 - риски, т.е. факторы, препятствующие достижению цели;
- 4) составление плана достижения цели, обеспечивающего минимизацию выявленных рисков с учетом стратегических, высокопотенциальных и операционных факторов.

Результаты исследования и их обсуждение

Международные рекомендации. За последние 20 лет были предложены две концепции, оказавшие наибольшее влияние на подготовку инженеров во всем мире. Одной из них является CDIO, основанная на интеграции теории и практики и соответствующая жизненному циклу

(ЖЦ) основных продуктов инженерной деятельности: продукции, процессов и систем. В настоящее время более 120 университетов являются участниками международной инициативы Worldwide CDIO Initiative, в рамках которой происходит обмен лучшими практиками реализации CDIO [5].

Вторая концепция – STEAM-образование, которое основано на применении междисциплинарного и прикладного подходов к подготовке студентов, обучающихся по инженерным программам в области создания наукоемкой продукции, за счет интеграции естественно-научных, технологических, математических, технических и гуманитарных знаний. Отметим, что STEAM-образование является развитием STEM-образования, к которому добавляется гуманитарный компонент (Art).

Профессиональные компетенции, включающие знания, практические умения, опыт деятельности, дополняются комплексным пониманием проблем, умением мыслить (творчески, критически, визуально) и понимать основы проектирования. Основой обучения становится концепция «4К»:

- критическое мышление – умение критически определить и решить проблему, анализировать информацию, ее понимать и интерпретировать, оценивать на достоверность;
- коммуникация – умение общаться с окружающими, слышать и договориться;
- командное взаимодействие – умение работать в команде для достижения общей цели, гибкость, ответственность;
- креативность – творческий подход в решении задач, инновации в нахождении интересных идей [6–8].

В таблице 1 представлены результаты анализа ключевых факторов, формирующих базовые принципы инженерной подготовки, единые для всех направлений.

Таблица 1

Ключевые факторы инженерной подготовки

Факторы	CDIO	STEAM
Цель		
Приведение инженерных образовательных программ в соответствие с уровнем развития современных технологий и ожиданиями работодателей	Да	
Обучение студентов естественным наукам, технологиям, инженерии, математике, гуманитарным дисциплинам для решения практических задач		Да
Инструментарий		
Внедрение основных, опционных, адаптационных стандартов CDIO, планируемых результатов обучения	Да	
Развитие и внедрение технологии STEM (STEAM)		Да
Стратегические факторы: критически важны для достижения цели		

Дисциплины привязаны к ЖЦ продуктов, процессов и систем в рамках модели «планирование – проектирование – производство – применение»	Да	
Дисциплины обеспечивают интеграцию личностных и межличностных навыков, а также навыков создания продуктов, процессов и систем	Да	
Учебный план обеспечивает интеграцию науки, технологий, инженерии, гуманитарного компонента и математики, развитие навыков 4К		Да
Наличие рабочего пространства для инженерной деятельности и практического освоения методов создания продуктов, процессов, систем	Да	Да
Педагогические технологии: проектное обучение, междисциплинарное обучение, активные методы обучения	Да	Да
Высокопотенциальные факторы: могут быть важны в будущем для достижения цели		
Повышение компетентности преподавателей в области личностных и межличностных навыков, создания систем, активных методов обучения и оценки студентов	Да	
Междисциплинарное обучение, использование математических, инженерных, информационных технологий при решении прикладных задач		Да
Операционные: факторы, от которых в настоящий момент зависит успех		
Развитие системы оценки соответствия стандартам CDIO и обратной связи со студентами, преподавателями и заинтересованными лицами	Да	
Педагогические технологии: практико-ориентированное обучение, цифровые навыки, обучение онлайн и офлайн; индивидуальные траектории	Да	Да
Риски: факторы, препятствующие успеху		
Отсутствие поддержки перехода к новой парадигме обучения	Да	Да
Сложившаяся система обучения и контроля знаний, основанная на раздельном освоении отдельных дисциплин и предметов	Да	Да

Из таблицы 1 видно, что обе концепции инженерного образования взаимно дополняют друг друга и имеют много общего. Так, например, общим является требование создания рабочего пространства для инженерной деятельности и практического освоения методов создания продуктов, процессов, систем. Используются одни и те же педагогические технологии: проектное обучение, междисциплинарное обучение, активные методы обучения, практико-ориентированное обучение, цифровые навыки, обучение онлайн и офлайн; индивидуальные траектории. Общими являются и риски, препятствующие успеху перехода к обеим парадигмам.

Международные рекомендации к подготовке в области системной и программной инженерии и бизнес-информатики представлены в документах SEBoK, BABOK, SE 2014 и SWEBOOK.

Руководство к Своду знаний по системной инженерии SEBoK является общедоступным и авторитетным руководством, охватывающим знания в области системной инженерии. Свод может быть полезным как при подготовке кадров, так и для практики системной инженерии.

Системная инженерия сосредоточена на гарантированном достижении целей, установленных для системы, функционирующей в результате совместной и согласованной работы ее отдельных элементов. Дополняет свод знаний стандарт ГОСТ Р 57193-2016 «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем», который устанавливает основы для описаний процессов и применяется в отношении жизненного цикла систем, созданных человеком. Эти системы могут формироваться из аппаратных и программных средств, данных, персонала, процессов (например, для оказания услуг), процедур (например, инструкций), основных средств, материалов и естественно возникающих сущностей.

Руководство к Своду знаний по бизнес-анализу ВАВОК содержит описание общепринятых практик в этой области. Свод знаний дает ответ на вопрос, что должен знать и уметь специалист в области бизнес-информатики и как необходимые компетенции можно оценить. Документ содержит информацию о базовых понятиях бизнес-анализа (ВАССМ), которые образуют понятийный каркас бизнес-анализа и обеспечивают понимание типа информации, которая выявляется, анализируется или управляется в задачах бизнес-анализа. Каждое базовое понятие – это существенная идея, и все понятия равноценны и необходимы. К ним относятся изменение, потребность, решение, заинтересованная сторона, ценность и контекст. Руководство ВАВОК включает шесть областей знаний, каждая из которых содержит перечень задач, которые необходимо решить в каждой из этих областей, и перечень необходимых компетенций.

SE 2014 являются методическими рекомендациями для программ бакалавриата по программной инженерии. Методические рекомендации разработаны Советом по образованию и Советом по образовательной деятельности Института инженеров электротехники и электроники (ACM Education Board and the IEEE-Computer Society Educational Activities Board). Дополняет этот документ SWEBOOK, в котором определены набор знаний и рекомендуемые практики по инженерии программного обеспечения.

В таблице 2 представлены основные факторы подготовки студентов, т.е. основные требования, в области системной, программной инженерии и бизнес-информатики, включающие: цели подготовки, инструментарий, стратегические, высокопотенциальные и операционные факторы, а также риски.

Таблица 2

Основные требования подготовки в области системной и программной инженерии и бизнес-информатики

Факторы	СИ	ПИ	БИ
Цели подготовки студентов			
Подготовка на основе междисциплинарного свода знаний, отражающих предметную область	Да	Да	Да

Инструментарий (Свод знаний предметной области)			
SEBoK, ISO/IEC/IEEE 15288:2015, NEQ.	Да		
BABOK, SWEBOK			Да
SE 2014		Да	
Стратегические факторы – критически важны для достижения цели			
Учебный план отражает ЖЦ продуктов, услуг и систем: описание, синтез, анализ, проектирование, испытания, аттестация, производство, эксплуатация, вывод из нее, утилизация	Да	Да	Да
Дисциплины учебного плана обеспечивают умение разрабатывать проектные решения (проектное обучение), объединяющие технические, этические, социальные, юридические и экономические проблемы	Да	Да	Да
Дисциплины отражают системный подход к сложным проблемам и возможностям, включая интегрированный учет надежности, ремонтпригодности, безопасности, живучести, жизненного цикла, человеческого фактора, стоимостных факторов и др.	Да		
Дисциплины формируют навыки командной работы: нахождение компромиссов, коммуникативность, лидерские качества, критическое мышление, аргументация своего мнения, навыки планирования и организации работы		Да	Да
Учебный план содержит разделы: научные и технологические знания, знание предметной области, знание операционной среды, инженерные дисциплины, отраслевые и корпоративные знания, управленческие и лидерские знания, знания в области образования и профессиональной подготовки, знания о людях и компетенциях, социальные и системные научные знания	Да		
Учебный план содержит разделы: основы вычислительной техники, математические и инженерные основы, профессиональная практика, моделирование и анализ программного обеспечения, анализ требований и спецификации, проектирование программного обеспечения, проверка программного обеспечения, процесс разработки программного обеспечения, качество программного обеспечения, безопасность, естественно-научные дисциплины		Да	
Учебный план содержит разделы: планирование и мониторинг бизнес-анализа, выявление и сотрудничество, управление жизненным циклом, анализ стратегии, анализ дизайна, оценка решения			Да
Высокопотенциальные факторы, могут оказаться важными в будущем для достижения цели			
Свод знаний и учебные дисциплины и планы регулярно пересматривают, чтобы учитывать расширение и развитие профессиональной области	Да	Да	Да
Высокий уровень знаний у преподавателей, которые должны мотивировать и поощрять студентов, обладать знаниями по разработке программного обеспечения в прикладных областях	Да	Да	Да
Операционные факторы, от которых в настоящий момент зависит успех			
Система может включать аппаратные и программные средства, встроенное программное обеспечение, персонал,	Да		

технологическое оснащение, производственные мощности и оборудование, услуги и другие элементы обеспечения			
Технологии обучения на основе решения проблем, с использованием индивидуального и командного обучения; тематических исследований, контекстного обучения, онлайн-курсов, образовательных ресурсов и интеллектуальных систем обучения, участие во внешних конкурсах и олимпиадах		Да	Да
Риски – факторы, препятствующие успеху			
Устаревание свода знаний и недостаточный уровень знаний у преподавателей по разработке программного обеспечения и в прикладных областях	Да	Да	Да

Из таблицы 2 видно, что учебный план по всем рассматриваемым направлениям подготовки должен отражать жизненный цикл продуктов, услуг и систем, а дисциплины учебного плана должны обеспечивать умение разрабатывать проектные решения. Одинаковыми являются и требования по регулярному пересмотру учебных дисциплин и высокие требования к преподавателям, предъявляемые не только в части разработки программного обеспечения, но и знаний в различных прикладных областях. При обучении очень важно использование технологий командного и индивидуального обучения, открытых образовательных ресурсов обучения, приглашенных преподавателей, являющихся практикующими инженерами-разработчиками систем [9, 10].

Несмотря на общие ключевые и высокопотенциальные факторы, влияющие на подготовку инженеров-исследователей в области системной, программной инженерии и бизнес-информатики, между этими тремя направлениями существуют и важные различия. Первое отличие состоит в различном составе ряда учебных дисциплин, отражающих предметную область. Так, в учебных планах должны присутствовать традиционные инженерные дисциплины для системной инженерии, компьютерные дисциплины для программной инженерии, бизнес-анализ и знание бизнеса для бизнес-информатики. Второе различие заключается в том, что сами создаваемые системы различны: для системной инженерии – это программные, технические и социотехнические; для бизнес-информатики – программные и информационные, технические и социотехнические, социальные и экономические; для программной инженерии – это программные и информационные. Третье различие заключается в способах применения общих концепций, основанных на различной природе программного обеспечения, физических объектов традиционной техники и социально-экономических систем бизнес-информатики. Программная инженерия и бизнес-информатика качественно отличаются от системной инженерии нематериальностью программного и информационного обеспечения, а также дискретностью его функционирования.

Особенно ярко эти различия можно показать, используя международные системы уровней готовности технологий: технологическая готовность TRL (Technology Readiness Level), производственная готовность MRL (Manufacturing Readiness Level), рыночная готовность и коммерциализация CRL (Commercialization Readiness Level) [11]. При разработке программных и информационных систем фаза производства является вырожденной в силу специфики самого программного обеспечения. Для системной инженерии подготовка серийного производства продукции является одной из важнейших задач. Бизнес-информатика охватывает расширение сферы коммерческого производства, организации бизнеса, завоевания репутации и рынков сбыта. Общим для всех трех направлений инженерии является жизненный цикл нового изделия или технологии, охватывающий уровни TRL 1–9, MRL 1–9 и CRL 1–2.

Российской опыт. Несмотря на то что российский опыт инженерной подготовки имеет достаточно давние традиции, исследуемые направления являются относительно новыми. ФГОС по программной инженерии используется с 2006 г., а профессиональный стандарт «Специалист по информационным системам» – с 2007 г. Переосмысление содержания подготовки «Системная инженерия» приходится на 2010–2011 гг. и связано с появлением ФГОС по этому направлению. Образовательный стандарт по направлению подготовки бизнес-информатика был введен в действие в 2010 г., а профессиональный стандарт «Бизнес-аналитик» был утвержден в 2018 г., что явилось основой официального признания бизнес-анализа как профессии в России. Подходы и достижения, отражающие отечественный опыт инженерной подготовки, подробно изложены в работах [12–13].

Результатом освоения образовательной программы являются компетенции выпускников. Для анализа были выбраны ФГОС по направлениям подготовки 09.03.04 Программная инженерия, 27.03.03 Системный анализ и управление и 38.03.05 Бизнес-информатика. Универсальные и общепрофессиональные компетенции устанавливаются ФГОС, а профессиональные компетенции определяются университетом самостоятельно на основе профессиональных стандартов, соответствующих деятельности выпускников.

Универсальные компетенции у всех направлений подготовки совпадают: системное и критическое мышление, разработка и реализация проектов, командная работа и лидерство, коммуникация, межкультурное взаимодействие, самоорганизация и саморазвитие, безопасность жизнедеятельности, экономическая культура, гражданская позиция. Для системной инженерии и бизнес-информатики определена еще одна, инклюзивная компетенция, когда бакалавр способен использовать базовые дефектологические знания в социальной и профессиональной сферах. Общепрофессиональные компетенции имеют различия, отражающие различные предметные области для трех направлений подготовки.

Сформированные в результате освоения любой образовательной программы компетенции должны соответствовать профессиональным стандартам в соответствующих областях. Профессиональные стандарты отражают требования к набору обобщенных трудовых функций с указанием того, что работник должен знать, уметь и чем владеть. Для анализа был выбран шестой уровень квалификации (бакалавриат) для трех профессиональных стандартов 06.015 «Специалист по информационным системам», 06.022 «Системный аналитик» и 08.037 «Бизнес-аналитик». Если соотнести трудовые функции из этих стандартов со стадиями жизненного цикла разработки программных систем, то можно видеть, что первые четыре стадии являются общими для всех направлений подготовки (разработка концепции использования и характеристик системы, высокоуровневое проектирование и проектирование компонент), пятая и шестая стадии (разработки ПО и тестирование) необходимы только для программной инженерии, а стадия приемных испытаний характерна для системной и программной инженерии.

В качестве примеров инженерных практик обратимся к опыту университетов – победителей Программы «Приоритет–2030» [14–15]. Среди этих вузов инженерная подготовка по трем рассматриваемым ИТ-направлениям ведется в 26 университетах. В таблице 3 представлена соответствующая информация.

Таблица 3

Университеты – участники Программы «Приоритет–2030», осуществляющие подготовку студентов на бюджетной основе по направлениям 27.03.03, 09.03.04, 38.03.05

Университеты	Направления подготовки
Горный университет, КФУ, ЛЭТИ, МАИ, МФТИ, НИЯУ МИФИ, ННГТУ им. Алексева, СПбПУ, СФУ, ТУСУР, УрФУ, ЮФУ	27.03.03 Системный анализ и управление
ДФУ, ИТМО, КПФУ, КФУ, ЛЭТИ, МАИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НГТУ, НИУ ВШЭ, ННГУ, НИЯУ МИФИ, ОГТУ, СПбПУ, СФУ, ТГУ, ТПУ, ТУСУР, УФУ, УрФУ, ЮФУ	09.03.04 Программная инженерия
ИТМО, КПФУ, КФУ, МАИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НГТУ, НИУ ВШЭ, НИЯУ МИФИ, ННГУ, НГУ, СПбПУ, СФУ, ТУСУР, УрФУ, ЮФУ, РАНХиГС, БФУ	38.03.05 Бизнес-информатика

Отметим, что по этим трем направлениям из 46 участников одновременно обучают только 8 университетов: КФУ, МАИ, НИЯУ МИФИ, СПбПУ, СФУ, ТУСУР, УрФУ, ЮФУ. Среди университетов – победителей Программы «Приоритет–2030» на бюджетной основе по направлению 27.03.03 Системный анализ и управление осуществляют подготовку 12 университетов, по 09.03.04 Программная инженерия – 20 университетов, а по 38.03.05 Бизнес-информатика – 17 университетов.

Сравнительный анализ содержания образовательных программ указанных университетов показывает, что набор обязательных предметов, определяемый ФГОС, крайне ограничен, все остальные дисциплины формирует сам вуз. В программах российских университетов жестко зафиксирован срок обучения – 4 года, присутствуют разные виды практик и итоговая государственная аттестация в виде защиты выпускной квалификационной работы. Во всех образовательных программах в подавляющем большинстве присутствуют примерно одни и те же гуманитарные дисциплины и существенный набор естественно-научных и технологических дисциплин. Инженерные дисциплины варьируются в зависимости от направления подготовки и специализации университета.

В качестве критериев оценки реализуемых образовательных программ рассматриваемых университетов выберем следующие:

- жизненный цикл (далее – ЖЦ) создания систем (наличие в учебном плане дисциплин по управлению ЖЦ, методологией проектирования и разработки систем);
- взаимосвязь дисциплин (последовательность преподавания дисциплин совпадает с последовательностью этапов ЖЦ систем);
- практико-ориентированность (тематика лабораторных работ, курсовых проектов, курсовых, выпускных квалификационных работ соответствует практическим задачам разработки систем);
- навыки в создании систем (наличие курсовых проектов или работ, лабораторных работ по дисциплинам, связанным с проектированием и разработкой систем);
- проектное обучение (наличие дисциплин, связанных с управлением проектами, проектный практикум, проектная практика как дисциплина);
- дисциплины STEAM (наличие всех категорий дисциплин: научно-исследовательские, технологические, инженерные, гуманитарные, математические);
- интегрированное обучение (междисциплинарные курсовые проекты или работы; дисциплины из предметной области, не относящейся к направлению подготовки);
- дисциплины по развитию критического мышления, креативности, коммуникации, командной работы (4К);
- личностные и межличностные навыки – мягкие навыки (наличие дисциплин, связанных с самоорганизацией и коммуникацией).

Проведенный анализ рабочих планов и содержания рабочих программ учебных дисциплин, реализуемых данными университетами, показывает, что, несмотря на сходство направлений инженерной подготовки, общеинженерные подходы университеты применяют по-разному. Для системной инженерии (27.03.03) общими подходами всех университетов оказываются взаимосвязь дисциплин, практико-ориентированность и приобретение навыков

в создании информационных систем. В учебных планах по этому направлению дисциплины, связанные с управлением жизненным циклом, системной инженерией, методологией проектирования и разработки систем, присутствуют только у 50% университетов (КФУ, ЛЭТИ, МАИ, МФТИ, НИЯУ МИФИ, УрФУ), а междисциплинарное обучение применяется еще в более ограниченном числе университетов. Для программной инженерии в качестве универсальных подходов к взаимосвязи дисциплин, практико-ориентированности и навыков в создании систем добавляется проектное обучение. STEAM-подход используется в 65% университетов. Другим университетам целесообразно уделить существенно больше внимания научно-исследовательской работе студентов. Для бизнес-информатики всеми университетами в качестве общеинженерных подходов применяются взаимосвязь дисциплин, практико-ориентированность, проектное и междисциплинарное обучение, что неудивительно, так как направление 38.03.05 находится на стыке экономики и информационных технологий. Однако STEAM-подход используется еще реже – только в 50% университетов в учебном плане в явном виде присутствует научно-исследовательская работа студентов (МГТУ им. Н.Э. Баумана, НГТУ, НИУ ВШЭ, НИЯУ МИФИ, ННГУ, СФУ, УрФУ).

Диаграмма соответствия профилей образовательных программ ключевым факторам подготовки для трех направлений 27.03.03, 09.03.04 и 38.03.05 приведена на рисунке 1. Видно, что в целом профили подготовки достаточно похожи друг на друга, однако имеются и различия, в частности в междисциплинарности, изучении ЖЦ, развитии навыков 4К. По широте применения STEAM-подхода профиль системной инженерии опережает два других – у 67% университетов присутствуют все виды дисциплин, и, в частности, научно-исследовательская работа студентов (Горный университет, МАИ, МФТИ, НИЯУ МИФИ, СПбПУ, СФУ, ТУСУР, ЮФУ).

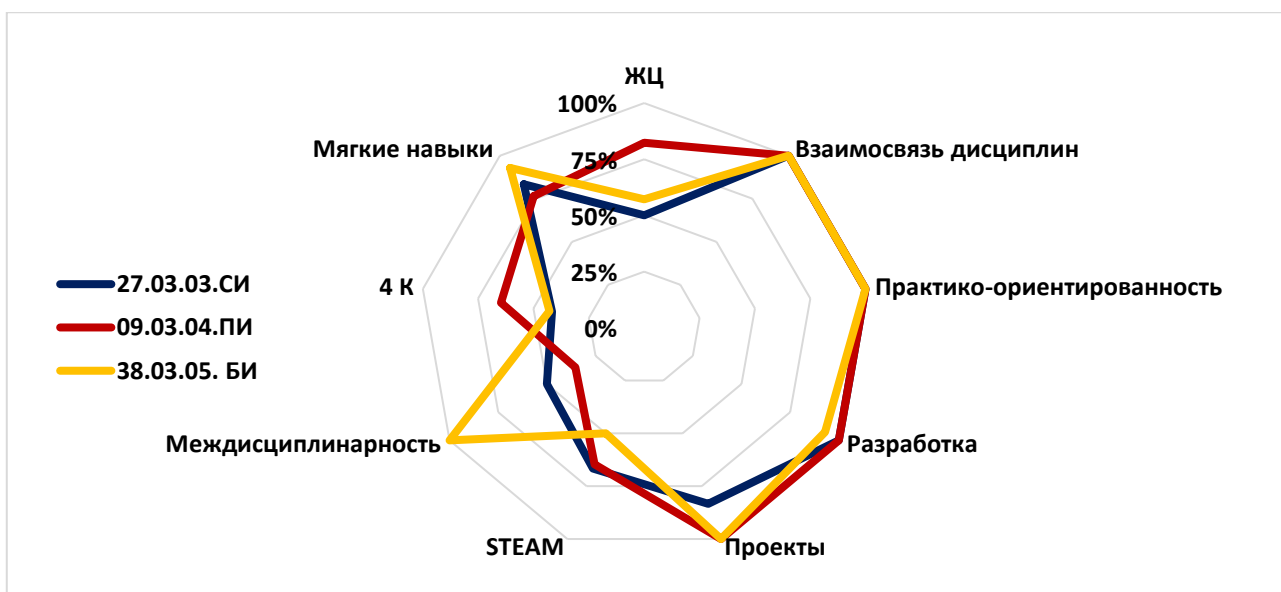


Рис. 1. Диаграмма соответствия профилей образовательных программ ключевым факторам подготовки инженеров-исследователей

На рисунке 2 приведена диаграмма соотношений объемов научных, технологических, инженерных, гуманитарных и математических дисциплин при подготовке по системной, программной и бизнес-информатике (медианные значения). Из рисунка видно, что системной проблемой для всех трех направлений является малый уровень научно-исследовательской работы студентов, составляющий 4–6%. Однако необходимо отметить хорошие практики организации научно-исследовательской работы в виде отдельных дисциплин: научно-исследовательская работа (МГТУ им. Н.Э. Баумана, МФТИ, СПбПУ), методология научной деятельности (КПФУ), учебно-исследовательская работа и курсовой проект в области программной инженерии (НИЯУ МИФИ), научно-исследовательский семинар по направлению подготовки (НИУ ВШЭ), производственная практика: научно-исследовательская работа (НГТУ). Другой проблемой для системной и программной инженерии является недостаточное внимание к гуманитарному компоненту, его объем составляет ~8%. Для бизнес-информатики характерно недостаточное внимание к инженерным и математическим дисциплинам, в среднем их объем составляет ~20%.

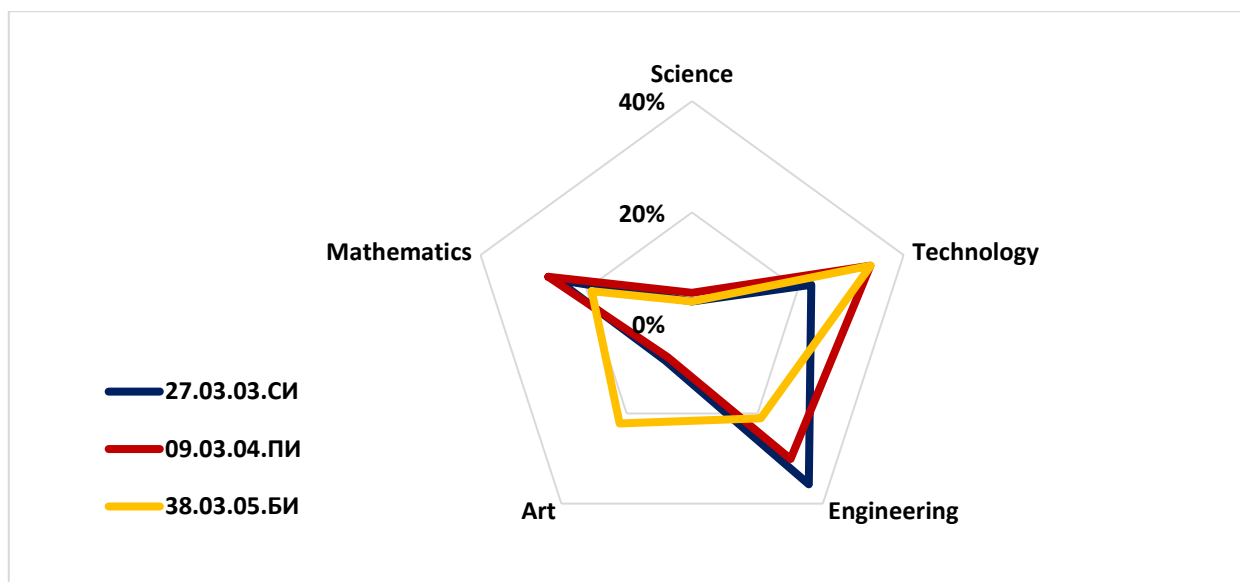


Рис. 2. Диаграмма соотношений объемов научных, технологических, инженерных, гуманитарных и математических дисциплин при подготовке по системной, программной и бизнес-инженерии

Проектное обучение в настоящее время общепринято для инженерных направлений подготовки. Исключением являются учебные планы по 27.03.03 (МАИ, МФТИ), в которых отсутствуют дисциплины, связанные с управлением проектами, проектные практикумы и

курсовые проекты, а также проектная практика. По рекомендациям CDIO во время обучения у студентов должно быть два вида проектов: групповые (командные) и индивидуальные. Если индивидуальные проекты используют в своей практике все исследуемые университеты, то групповые – только часть. В 53% групповые проекты применяют для подготовки по программной инженерии (см. рис. 3). К лучшим инженерным практикам можно отнести проектное обучение в виде отдельных дисциплин длительностью два семестра (МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИУ ВШЭ, НИЯУ МИФИ, СПбПУ, СФУ, ТГУ, ТПУ, ТУСУР, УрФУ).



Рис. 3. Диаграмма проектного обучения для трех направлений ИТ-подготовки

Обобщая рабочие учебные планы университетов – победителей Программы «Приоритет–2030», можно утверждать, что набор гуманитарных, естественно-научных, технологических и инженерных образовательных дисциплин в значительной мере совпадает по всем трем направлениям ИТ-подготовки. Это дает возможность выработать общие, универсальные требования к реализации образовательных программ по ИТ-направлениям и формируемым у выпускников компетенциям. На рисунке 4 представлены учебные дисциплины, которые преподаются во всех исследуемых университетах. Кроме этого, в ряде университетов изучаются такие новейшие предметы, как: «Наука о данных и введение в машинное обучение», «Проектирование на шаблонах архитектуры (конструирование ПО)», «Сквозные цифровые технологии», включающие компьютерное зрение, технологию виртуализации, интеллектуальные технологии, роботизацию, обработку текстов, нейросети и глубокое обучение и т.п.

Обязательные дисциплины для всех направлений	История	Иностранный язык	Безопасность жизнедеятельности	Физическая культура
	Философия			
	Системный анализ и управление	Программная инженерия	Бизнес-информатика	

Гуманитарные дисциплины	Экономика Основы профессиональной коммуникации Право	Экономика Основы проф. коммуникации Элементы командообразования Право	Микроэкономика Макроэкономика Экономика фирмы Маркетинг Менеджмент Право
Естественно-научные дисциплины	Математика Элементы дискретной математики Теория вероятностей и статистика Информатика Физика Химия Экология Теоретическая механика	Математика Дискретная математика Теория вероятностей и статистика Физика Алгоритмы и структуры данных Информатика и программирование Методы оптимизации	Математика Дискретная математика Теория вероятностей и статистика Методы оптимизации Информатика Статистика Анализ данных Эконометрика
Технологические дисциплины	Инженерная и компьютерная графика Технология программирования Интеллектуальные технологии Системный анализ, оптимизация и принятие решений Управление в организационных системах	Технология программирования Интеллектуальные технологии и системы Языки программирования Современные средства программирования WEB-технологии Сетевые технологии	Программирование Корпоративные ИС Моделирование бизнес-процессов Архитектура предприятия Информационная безопасность Сетевые технологии
Инженерные дисциплины	Основы системной инженерии Базы данных Моделирование систем Проектирование ИС	Основы программной инженерии Управление ИТ-проектами Базы данных Проект разработки ПО Экономика ПИ	Управление жизненным циклом ИС Базы данных Управление проектами Разработка ИС (ПО)
ПРАКТИКИ			
ГОСУДАРСТВЕННАЯ ИТОГОВАЯ АТТЕСТАЦИЯ			

Рис. 4. Структура образовательных программ по трем ИТ-направлениям подготовки

Для того чтобы оценить, насколько образовательные программы ведущих отечественных университетов соответствуют современным международным практикам инженерной подготовки бакалавров, обратимся к опыту одного из лучших университетов мира – Массачусетского технологического университета (MIT), а именно опыту факультета электроинженерии и компьютерных наук. К ним относятся следующие (см. рис. 5).

- Системная инженерия: программа 6-1 в области электроинженерии и инженерии и программа 6-2 в области электроинженерии, инженерии и компьютерных наук (аккредитованы Советом по аккредитации инженеров и технологий, ABET).

- Программная инженерия: программа 6-3 в области компьютерных наук и инженерии (аккредитована Комиссией по инженерной и вычислительной аккредитации, АВЕТ).
- Бизнес-информатика: программа 6-14 в области компьютерных наук, экономики и науки о данных.

Все эти программы базируются на общих требованиях института в области естественных и гуманитарных наук и построены следующим образом: обязательными предметами являются шесть научных дисциплин (математика – 2 раздела, физика – 2 раздела, химия и биология), восемь гуманитарных и социальных дисциплин (HASS), две технологические дисциплины, один лабораторный практикум (комплексный проект) и физкультура. Вводный раздел направления по каждой области требует значительной работы в лаборатории. Этот раздел дополняется разделом математики, за которым следует выбор из трех базовых разделов из набора дисциплин, которые обеспечивают основу для последующей специализации. Студенты определяют свою специализацию, выбирая из обширного набора возможностей от трех до четырех основных разделов направления, два предмета с углубленным изучением и один-два предмета из общей инженерии. Количество дисциплин в каждом семестре не ограничивается, так как четко определенного количества лет для получения степени бакалавра нет. В среднем бакалавриат занимает 4 года, но все зависит от нагрузки, которую себе выбирает сам студент. Выпускного экзамена и выпускной работы на уровне бакалавриата тоже нет, студент, набравший нужное количество кредитов, может подавать запрос на получение диплома.

Для всех четырех рассматриваемых программ характерны соответствие подходу STEAM, междисциплинарность, практико-ориентированность и проектное обучение, взаимосвязь основных и базовых дисциплин, нацеленность на формирование личностных и межличностных навыков и навыков 4К. Обеспечена привязка предметов к жизненному циклу систем и разработки, эти предметы изучаются только на выборной основе и далеко не всеми студентами. Например, к таким дисциплинам относятся «Инженерия программного обеспечения», «Системы баз данных», «Проектирование систем обратной связи».

На рисунке 5 представлены структура и перечень обязательных дисциплин для четырех рассматриваемых образовательных программ. Анализ содержания программ учебных дисциплин показывает, что блоки естественно-научных и инженерных дисциплин МПТ по своему содержательному наполнению значительно проигрывают российским университетам, а блоки гуманитарных и технологических дисциплин, наоборот, представлены значительно большим объемом, разнообразием и обеспечены более современной лабораторной базой.

Обязательные дисциплины для всех направлений	Естественно-научные дисциплины (6): <ul style="list-style-type: none"> • Математика (разделы I и II) • Физика (разделы I и II) • Химия и Биология 	Гуманитарные, искусство и социальные дисциплины HASS (8)	Ограниченные факультативы в области науки и техники (2)	Лаборатории (1 комплексный проект)
--	---	---	--	---

	Электротехника 6.1	Инженерия 6.2	Компьютерные науки 6.3	Экономика и наука о данных 6.14
Вводные разделы направления	Дифференциальные уравнения	Введение в инженерию и информатику	Введение в программирование Дискретная математика	Линейная алгебра Теория вероятностей и статистика
Базовые разделы направления	Электрические схемы Сигналы	Вычислительные структуры	Программирование Алгоритмы	Микроэкономика Эконометрика
Основные разделы направления	Нанoeлектроника Электромагнитизм Электромагнитные поля Сигналы, системы и выводы	Машинное обучение	Вычислительная техника Конструирование ПО Искусственный интеллект Алгоритмы и вычисления	Мезoeкономика Методы оптимизации и моделирование
Дисциплины направления с углубленным изучением	Дисциплин с углубленным изучением - 2	Дисциплин с углубленным изучением - 2	Дисциплин с углубленным изучением - 2	Дисциплин с углубленным изучением - 3

КУРСЫ ПО ВЫБОРУ

Рис. 5. Структура образовательных программ в области системной и программной инженерии и бизнес-информатики Массачусетского технологического института

Заключение

Таким образом, обобщая отечественный опыт в инженерной подготовке бакалавров по ИТ-направлениям и учитывая их схожесть, можно дать следующие рекомендации.

1. Учебный план должен содержать дисциплины, привязанные к жизненному циклу продуктов, процессов и систем, развитие и реализация которых происходят в рамках модели «планирование – проектирование – производство – применение». При этом необходимо учитывать, какие именно системы входят в круг рассмотрения при подготовке по

конкретному виду ИТ-направления, поскольку от вида системы зависит, как именно реализуются фазы ее жизненного цикла.

2. Учебный план должен быть направлен на интеграцию науки, технологий, инженерии, гуманитарного компонента, математики и информатики, обеспечивая не только навыки создания продуктов, процессов и систем, но и интеграцию личностных и межличностных навыков, а также развитие таких навыков, как критическое мышление, креативность, коммуникация, командная работа.

3. Основной технологией обучения должно являться проектное обучение, которое включает в себя командные, междисциплинарные и индивидуальные проекты и дополняется такими активными методами, как интегрированное обучение, контекстное обучение, обучение, основанное на задачах, обучение, основанное на ошибках, тематические исследования и др. Для независимой оценки профессиональных компетенций настоятельно рекомендуется участие студентов во внешних конкурсах и олимпиадах.

4. Чрезвычайно важным является использование в учебном процессе персонализации обучения и индивидуальных образовательных траекторий, технологий командного и индивидуального обучения, открытых образовательных ресурсов обучения, приглашенных преподавателей, являющихся практикующими инженерами – разработчиками систем.

5. Особое внимание необходимо уделить созданию рабочего пространства для инженерной деятельности и лабораторий для практического освоения методов создания продуктов, процессов, систем, возможности выбора и использования современных инструментов (программных и аппаратных) для разработки программного обеспечения.

Результаты проведенного анализа и обобщения могут быть использованы для повышения качества подготовки студентов не только в рамках бакалавриата по указанным направлениям, но и для магистратуры.

Список литературы

1. ИТ-кадры для цифровой экономики в России. Оценка численности ИТ-специалистов в России и прогноз потребности в них до 2024 г. [Электронный ресурс]. URL: https://www.apkit.ru/files/it-personnel%20research_2024_APKIT.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
2. Передовые инженерные школы. [Электронный ресурс]. URL: <https://engineers2030.ru/> (дата обращения: 10.10.2022).

3. Форма N ВПО-1 «Сведения об организации, осуществляющей образовательную деятельность по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры». Сведения за 2021 год. [Электронный ресурс]. URL: <https://minobrnauki.gov.ru/action/stat/highed/> (дата обращения: 19.10.2022).
4. Трищенко Д.А. О мотивации использования метода проектного обучения // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Философия. Психология. Педагогика. 2021. Т. 21. № 3. С. 349-353.
5. Чучалин А.И. Оценка компонентов учебных планов инженерных программ на соответствие рекомендациям CDIO-FCDI-FFCD Standards // Высшее образование в России. 2020. Т. 29. № 7. С. 9-21. DOI: 10.31992/0869-3617-2020-29-7-9-21.
6. Чубик П.С., Марков Н.Г., Мирошниченко Е.А., Петровская Т.С. Системная инженерия и её внедрение в образовательные программы Томского политехнического университета// Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323. № 5. С. 176-181.
7. Конюшенко С.М., Жукова М.С., Мошева Е.А. STEM vs STEAM - образование: изменение понимания того, как учить // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки. 2018. № 2 (44). С. 99-103.
8. Анисимова Т.И., Бочкарева Т.Н., Шатунова О.В. STEAM в подготовке кадров для цифровой экономики// Современный ученый. 2020. № 2. С. 37-43.
9. Radberg K.K., Lundqvist U., Malmqvist J., Svensson H.O. From CDIO to challenge-based learning experiences – expanding student learning as well as societal impact. European Journal of Engineering Education. 2020. vol. 45:1. P. 22-37. DOI: 10.1080/03043797.2018.1441265.
10. Yang P., Lai S., Guan H., Wang J. Teaching Reform and Practice Using the Concept of Outcome-Based Education: A Case Study on Curriculum Design for a Microcontroller Unit Course. International Journal of Emerging Technologies in Learning. 2022. vol. 17 (3). P. 68-82.
11. Комаров А.В., Петров А.Н., Сартори А.В. Модель комплексной оценки технологической готовности инновационных научно-технологических проектов// Экономика науки. 2018. Т. 4. № 1. С. 47-57.
12. Зубарева Е.В., Сухомлин В.А. Таксономия направлений диверсификации программ подготовки бакалавров и магистров в области информационных технологий // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2012. № 8. С. 146-158.
13. Батоврин В.К. Образование в системной инженерии – проблемы подготовки специалистов для создания конкурентоспособных систем // Открытое образование. 2010. № 6. С. 164-172.

14. Гусева А.И., Калашник В.М., Каминский В.И., Киреев С.В. Исследовательское лидерство программы «Приоритет-2030»: факторы успеха // Высшее образование в России. 2022. Т. 31. № 1. С. 42-58. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-1-42-58.
15. Гусева А.И., Калашник В.М., Каминский В.И., Киреев С.В. Анализ деятельности групп университетов трека «Территориальное и отраслевое лидерство» программы «Приоритет-2030» // Высшее образование в России. 2022. Т. 31. № 4. С. 9-28. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-4-9-28.