

DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-2-5-15

ПРОГРАММА МАГИСТРАТУРЫ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМОЙ ПРЕДПРИЯТИЯ» КАК СОВРЕМЕННАЯ ИННОВАЦИОННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПЛАТФОРМА

С. Г. Григорьев¹, Г. С. Смирнова², Р. А. Сабитов²✉, Е. А. Коробкова², Н. Ю. Елизарова², Ш. Р. Сабитов³, А. В. Епонешников³

¹ Московский городской педагогический университет, г. Москва, Россия

² Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Республика Татарстан, Россия

³ Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Республика Татарстан, Россия

✉ r.a.sabitov@mail.ru

Аннотация

Развитие цифровизации и повсеместное интенсивное внедрение цифровых экосистем являются неотъемлемой частью успешного экономического развития предприятий и регионов страны в целом. Однако следует отметить, что для большей части трудового коллектива данный процесс сопровождается определенными издержками и трудностями. Современные технологии, такие, например, как искусственный интеллект, роботизация и автоматизация процессов, не только повышают эффективность и производительность труда, но и требуют от сотрудников предприятий новых навыков и компетенций.

В условиях цифровизации перед вузами встает задача подготовить кросс-функциональных специалистов, обладающих знаниями в области информатики, математики, экономики и способных при этом решать задачи цифровой трансформации бизнеса и производства. Для решения подобных задач необходимо использовать не только новые педагогические технологии, но и новые программы подготовки будущих специалистов.

Представленная в статье программа «Интеллектуальные системы управления цифровой экосистемой предприятия» для подготовки магистров по направлению 09.04.03 «Прикладная информатика» нацелена на практико-ориентированное обучение в условиях индустрии 4.0, а также на развитие междисциплинарных компетенций студентов в сфере управления ИТ-решениями, системной инженерии и экономики. Программа разрабатывалась с учетом потребностей рынка труда и при активном взаимодействии представителей вузов и производственных предприятий, что нашло отражение в ее структуре. В частности, основная часть учебного процесса по программе ориентирована на практику: подготовку проектов и научно-исследовательскую работу.

Ключевые слова: инженерное образование, цифровая экосистема, производственная система, ролевое обучение, образовательная программа, прикладная информатика, магистратура, индустрия 4.0, цифровизация.

Для цитирования:

Григорьев С. Г., Смирнова Г. С., Сабитов Р. А., Коробкова Е. А., Елизарова Н. Ю., Сабитов Ш. Р., Епонешников А. В. Программа магистратуры «Интеллектуальные системы управления цифровой экосистемой предприятия» как современная инновационная образовательно-производственная платформа. *Информатика и образование*. 2024;39(2):5–15. DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-2-5-15.

THE MASTER'S DEGREE PROGRAM "INTELLIGENT MANAGEMENT SYSTEMS FOR ENTERPRISE DIGITAL ECOSYSTEM" AS A MODERN INNOVATIVE EDUCATIONAL AND PRODUCTION PLATFORM

S. G. Grigoriev¹, G. S. Smirnova², R. A. Sabitov²✉, E. A. Korobkova², N. Yu. Elizarova², Sh. R. Sabitov³, A. V. Eponeshnikov³

¹ Moscow City University, Moscow, Russia

² Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan, The Republic of Tatarstan, Russia

³ Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, The Republic of Tatarstan, Russia

✉ r.a.sabitov@mail.ru

© Григорьев С. Г., Смирнова Г. С., Сабитов Р. А., Коробкова Е. А., Елизарова Н. Ю., Сабитов Ш. Р., Епонешников А. В., 2024

Abstract

The development of digitalization and the widespread intense implementation of digital ecosystems are an integral part of the successful economic development of enterprises and regions of the country as a whole. However, it should be noted that for the majority of the workforce, this process is accompanied by certain costs and difficulties. Modern technologies, such as artificial intelligence, robotics, and automation of processes, not only increase efficiency and productivity but also require new skills and competencies from the employees of enterprises.

In the context of digitalization, universities are faced with the task of training cross-functional specialists with knowledge in informatics, mathematics, and economics, who can meet the challenges of digital transformation of business and production. To solve such problems it is necessary to use not only new pedagogical technologies but also new training programs for future specialists. The program “Intelligent management systems for enterprise digital ecosystem” presented in the article for master’s degree training in 09.04.03 “Applied Informatics” is aimed at practice-oriented training in the conditions of Industry 4.0 and developing students’ interdisciplinary competencies in the field of IT solutions management, systems engineering, and economics. The program was developed taking into account labor market needs and active cooperation with manufacturing enterprises, which is reflected in its structure. In particular, the main part of the educational process under the program is focused on practice: project preparation and research work.

Keywords: engineering education, digital ecosystem, production system, role-based learning, educational program, applied informatics, master’s degree, Industry 4.0, digitalization.

For citation:

Grigoriev S. G., Smirnova G. S., Sabitov R. A., Korobkova E. A., Elizarova N. Yu., Sabitov Sh. R., Eponeshnikov A. V. The master’s degree program “Intelligent management systems for enterprise digital ecosystem” as a modern innovative educational and production platform. *Informatics and Education*. 2024;39(2):5–15. (In Russian.) DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-2-5-15.

1. Введение

Текущий уровень организации производства и происходящих в нем изменений современные исследователи и ученые определяют как индустрию 4.0 (или четвертую промышленную революцию), в которой процессы автоматизации и обмена данными привели к созданию и использованию киберфизических систем, интернета вещей, а также облачных вычислений и множества других ключевых технологий (например, аналитики больших данных, цифровых двойников, автономных роботов, имитационного моделирования, дополненной реальности (AR) и виртуальной реальности (VR), аддитивного производства, машинного обучения, кибербезопасности, интеграции горизонтальных и вертикальных систем и др. [1]). Эти технологии способствуют устойчивому развитию современных производственных систем и поддерживают деятельность человека посредством облегчения мониторинга, анализа и принятия решений в режиме реального времени, что, в свою очередь, приводит к улучшению производственных процессов, повышению конкурентоспособности и гибкости реагирования на волатильность рынка и постоянно изменяющийся спрос на продукцию, изготовленную по индивидуальному заказу [2, 3].

Предполагается, что предприятия, стремящиеся быть лидерами в настоящее время, должны в первую очередь обеспечить соответствующий уровень информационной прозрачности в области автоматизации и роботизации производства. В этих условиях создание цифровых экосистем становится важным этапом устойчивого развития современных производственных предприятий.

Развитие цифровизации и внедрение цифровых экосистем, несомненно, приносят значительные преимущества для организаций, однако этот переход создает и определенные сложности, в первую очередь — для работников этих организаций. Современные технологии, такие, например, как искусственный интеллект, роботизация и автоматизация процессов, повышают эффективность и производительность

труда, но при этом требуют от сотрудников совершенно новых навыков и компетенций. В частности, в условиях цифровой трансформации существенно возрастает потребность в работниках, обладающих способностью к коммуникации и кооперации, высокой адаптивностью к изменениям, а также владеющих навыками непрерывного саморазвития и самообучения. И работодатели оказываются не просто заинтересованы в поиске и найме сотрудников, соответствующих новым производственным реалиям, но должны создавать условия для их обучения и развития. Кроме того, в условиях жесткой конкуренции российские предприятия все чаще сталкиваются с необходимостью существенного повышения гибкости и инновационности производства.

Способность предприятий эффективно реализовывать все эти изменения зависит в первую очередь от наличия высококвалифицированных кадров, подготовка которых в последние десятилетия была явно недостаточной для развития, внедрения и обслуживания современных технологически сложных производств. В результате многие российские промышленные компании говорят о значительном дефиците высококвалифицированного персонала, а почти все технические университеты — об отсутствии квалифицированных преподавателей, способных удовлетворить современные кадровые потребности промышленности. И это явление, похоже, достигло опасной критической отметки, причем во многих странах.

Растущий разрыв между кадровыми потребностями промышленности и возможностями образовательных организаций является одной из самых актуальных проблем современного общества. Разрозненные усилия представителей вузов и бизнеса, предпринимаемые в последнее время в нашей стране, не позволяют решить эту проблему в полной мере. Можно назвать следующие основные причины:

- нежелание представителей бизнеса принимать участие в комплексной модернизации образовательных программ в университетах;

- недостаточная гибкость основной массы руководителей университетов и преподавателей;
- замедленное реагирование обеих сторон (вузов и промышленных предприятий) на изменение запросов экономики и рынка труда;
- формальный характер взаимодействия учебных заведений и предприятий, низкая заинтересованность сторон в налаживании продуктивного сотрудничества;
- недостаточное бюджетное финансирование программ развития прикладных компетенций и практической подготовки студентов.

Для удовлетворения потребностей передовых производителей необходим стратегический альянс правительства, образования и промышленности в создании реального практико-ориентированного обучения.

Устранение описанного разрыва требует принятия серьезных комплексных мер, включающих в себя модернизацию образовательных стандартов, развитие системы практик и стажировок для студентов, а также налаживание тесного взаимодействия между учебными заведениями и ведущими предприятиями.

Важно отметить, что возникает потребность и в новых междисциплинарных подходах, где цифровые навыки являются определяющими [3, 4]. В этом контексте важную роль играют профессиональные инженеры, которые будут адаптировать современные технологии к своим повседневным задачам. В частности, это задачи формирования цифровой экосистемы предприятия и управления ею, которые, среди прочего, требуют решения вопросов промышленной и системной инженерии и открывают для университетов реальную возможность пересмотра учебных программ с акцентом на развитие студентов именно в контексте цифровой трансформации и индустрии 4.0. В этом смысле **обновление образовательного контента должно быть направлено на подготовку кросс-функциональных специалистов, владеющих знаниями в области математики, информатики, экономики, способных заниматься поддержкой принятия решений** для управления эффективностью бизнеса и экосистемой предприятий, организацией работы с информационными системами на всех этапах их жизненного цикла, промышленной и системной инженерией. Подобный специалист будет готов к междисциплинарной работе и развитию необходимых компетенций в области цифровизации.

Цель статьи — обосновать необходимость обучения специалистов, обладающих знаниями и навыками в области внедрения и разработки цифровых экосистем предприятий, по новой образовательной программе «Интеллектуальные системы управления цифровой экосистемой предприятия» в рамках обучения в магистратуре по направлению подготовки 09.04.03 «Прикладная информатика».

Научные исследования по данной теме ведутся авторами на протяжении длительного времени

и в тесном взаимодействии с промышленными предприятиями различных отраслей экономики. Работа над самой программой была начата в 2020/2021 учебном году. В настоящее время программа сформирована и планируется к реализации в нескольких университетах.

2. Развитие цифровой экосистемы предприятия

2.1. Значение цифровой трансформации для современного бизнеса

В настоящее время имеется лишь немного исследований о том, может ли цифровая трансформация повысить эффективность предприятий, и выводы этих исследований различны. Некоторые авторы считают, что использование традиционных цифровых технологий не оказывает существенного влияния на производительность предприятия (см., например, [5]). Однако другие ученые отвечают на этот вопрос положительно, опираясь на данные качественного и количественного анализа производственной системы предприятий [6, 7]. Ряд исследователей отмечают, что чем выше качество цифровой трансформации, тем выше производственная эффективность организации [3, 8]. Активное использование цифровых технологий и формирование цифровой экономики меняют пути развития традиционных отраслей. Новые методы производства и эксплуатации дорогостоящего производственного оборудования, появляющиеся в результате цифровой трансформации, быстро распространяются среди предприятий и дают ряд несомненных преимуществ. Среди прочего, **цифровая трансформация позволяет:**

- **внедрять новые рациональные способы производства** на предприятии, повышать производительность труда;
- **реализовать интеллектуальное управление производством** с интенсивным использованием данных и улучшать внутренний контроль над всей производственной системой [9];
- **анализировать потребности пользователей в режиме реального времени**, что способствует организации инновационной и производственной деятельности в соответствии с индивидуальными запросами потребителей (клиент-ориентированный бизнес), и увеличивать добавленную стоимость продукции;
- **формировать цифровую экосистему предприятия.**

2.2. Цифровая экосистема:

возникновение термина, основные признаки

Теоретики и практики управления предприятиями для описания и характеристики окружающей среды компаний обычно используют термины «сек-

тор», «отрасль», «рынок». Совсем недавно в качестве их полноправного синонима стало употребляться понятие, заимствованное из биологии, — «экосистема». В литературе по менеджменту оно впервые было использовано Джеймсом Муром в середине 1990-х годов при попытке объяснить, как компании могут добиваться устойчивого конкурентного преимущества путем опережения соперников в области инноваций [10]. С тех пор термин «экосистема» не только ассоциируется с инновациями, но и широко используется среди ученых в сфере управления различными системами.

Согласно Дж. Муру [10, 11], бизнес-экосистема — это экономическое сообщество, поддерживаемое несколькими взаимодействующими субъектами, которые сотрудничают для создания ценности, которую ни один из них не смог бы создать самостоятельно [12]. Теория, представленная в статье «Хищники и жертвы: новая экология конкуренции» [10], а затем развитая в книге «Смерть конкуренции: лидерство и стратегия в эпоху бизнес-экосистем» [11], показывает, что в любой крупной бизнес-среде несколько экосистем могут соперничать за выживание и доминирование. Примерами могут служить экосистемы IBM и Apple в сфере персональных компьютеров или X5 Group («Пятерочка», «Перекресток», «Чижик» и др.) и «Магнит» в сфере розничной торговли со скидками. Именно конкуренция между бизнес-экосистемами (а не отдельными компаниями) порождает новые многопрофильные структуры, которые выполняют взаимодополняющие виды деятельности, объединяют ресурсы и способствуют созданию разнородных возможностей, одновременно конкурируя между собой за присвоение своей доли результирующей ценности [13].

В 1990-е годы экосистемное мышление распространилось на многие научные области за пределами экологии. Параллельно с бизнес-экосистемой на стыке исследований искусственной жизни и информатики возникла идея «цифровой экосистемы» как результат метафоры биологической жизни кибернетических машин [14]. Это связано с разработанной Томасом Рэем системой программ компьютерного моделирования Tierra [15–17]. Рэй охарактеризовал Tierra как вычислительную «экосистему», состоящую из «цифровых организмов» [16] и опирающуюся на методы и концепции генетических алгоритмов и цифрового биоразнообразия.

На протяжении последних тридцати лет понятие «цифровая экосистема» развивалось, эволюционировало, уточнялось и интерпретировалось. Сейчас под цифровой экосистемой можно понимать распределенную социотехническую систему, обладающую свойствами адаптивности, самоорганизации и устойчивости, функционирующую в условиях конкуренции и сотрудничества между различными субъектами данной системы (автоматизированными системами и экономическими субъектами), в которой осуществляется обмен знаниями для эволюционного развития самой системы [18]. Циф-

ровая экосистема функционирует на основе компьютерной сетевой инфраструктуры с использованием цифровых технологий управления. Таким образом, **цифровая экосистема промышленного предприятия является адаптируемой производственной системой и должна удовлетворять следующим требованиям:**

1. Экосистема предприятия **должна обладать механизмами оперативной реконфигурации и моментальной адаптации**, позволяющими быстро перенастраивать ее на выпуск различной продукции или корректировки ее объемов, что требует гибкости в общей архитектуре системы. Этому способствуют распределенные системы управления, использование данных в режиме реального времени и гибкая автоматизация.
2. Производственная система **должна поддерживать масштабируемость производственных мощностей** в обе стороны, а также настройку под разнообразные производственные задачи. Использование стандартизированных интерфейсов и модульных компонентов может этому эффективно способствовать.
3. При необходимости реконфигурации системы **время переналадки должно быть минимизировано**. Применение быстросъемной оснастки, безопасных стратегий и гибких систем транспортировки может обеспечить быструю переналадку.
4. Система **должна демонстрировать высокую производительность** при выпуске широкой номенклатуры продукции в различных объемах производства, от крупных партий до единичного производства.
5. Система **должна интегрировать передовые производственные технологии** для повышения адаптивности и реактивности, например, аддитивное производство, гибкую автоматизацию, искусственный интеллект и др.
6. Производство в цифровой экосистеме **должно быть более гибким и адаптивным за счет самонастройки и оптимизации процессов на основании анализа данных**, проводимого в режиме реального времени, а не на основе заранее определенных параметров.
7. Система **должна легко интегрировать новые производственные технологии**, не требуя существенной реконфигурации. Использование открытых архитектур и стандартов способствует интеграции.
8. Система **должна поддерживать быстрое и недорогое прототипирование новых изделий с применением методов типа аддитивного производства**. Это содействует ускоренной разработке продукции и возможности кастомизации.

3. Основные задачи специалистов по цифровой экосистеме предприятия

Ввиду постоянно возрастающей сложности производственных систем все более важным становится наличие у специалистов (системных инженеров, системных аналитиков и т. п.) достаточных знаний для понимания последствий, к которым принимаемые ими решения приведут в смежных областях. Не менее важно научить специалистов использовать программные средства для передачи данных между функциональными единицами и для оказания влияния на решения в смежных областях путем нахождения компромиссов. Это требует не только технических знаний (например, понимания взаимосвязей между функциями), но и профессиональных навыков (например, умения выявлять проблемные вопросы и влиять на принятие решений) [19]. Так, модульный подход при проектировании может привести к снижению затрат на поддержку работы производственных систем, поскольку ремонт и модернизация готовых систем, как правило, обходятся дешевле приобретения новых, но в то же время может увеличить затраты на проектирование и разработку.

Кроме профессиональных навыков, для работы в цифровых экосистемах предприятий требуются специализированные навыки и компетенции. В частности, необходимо владение навыками эффективного управления ИТ-проектами различного масштаба и принятия обоснованных проектных решений в условиях высокой степени неопределенности, обусловленной постоянными изменениями и рисками, а также с учетом воздействия организационного окружения проекта.

Кроме того, важно уметь формулировать задачи проектирования, разработки и внедрения информационных технологий различного уровня сложности, разрабатывать технико-коммерческие предложения на выполнение проектных работ, проводить технико-экономическое обоснование эффективности информационных систем, а также оценивать ресурсы проекта и риски. Необходимы навыки организационно-управленческого и технологического обеспечения разработки информационных систем и реинжиниринга бизнес-процессов организации; умение использовать и развивать методы научных исследований и применять инструменты проектирования и управления информационными системами.

Ключевыми задачами специалиста по цифровой экосистеме предприятия являются:

- **разработка и внедрение цифровой стратегии предприятия** — определение целей и задач цифровизации бизнес-процессов, выбор инструментов и технологий, планирование этапов ее реализации;
- **проектирование и создание цифровой архитектуры предприятия** — интегрированной ИТ-инфраструктуры, включающей в себя облачные сервисы, корпоративные

информационные системы, промышленный интернет вещей;

- **управление данными предприятия** — разработка политики, процессов и инструментов для сбора, хранения, обработки и анализа данных, обеспечение их качества и информационной безопасности;
- **внедрение цифровых технологий в бизнес-процессы**: автоматизация рутинных операций, роботизация, использование технологий искусственного интеллекта;
- **обучение и повышение цифровой грамотности сотрудников предприятия** для эффективного использования новых технологий;
- **анализ эффективности внедрения цифровых решений и корректировка стратегии развития предприятия**.

4. Разработка образовательной программы подготовки специалистов по цифровой экосистеме предприятия

4.1. Этапы разработки образовательной программы

Программа магистратуры «Интеллектуальные системы управления цифровой экосистемой предприятия» по направлению подготовки 09.04.03 «Прикладная информатика» включает в себя занятия преимущественно по моделированию бизнес-процессов производственного предприятия, изучению технологий искусственного интеллекта и управления проектами. Эти направления являются основой дальнейшего самообразования в названных областях, позволяют узнать специфику предприятий, понять принципы организации и функционирования производственных процессов, а также различные виды инструментов, используемых в управлении предприятием, формировании ИТ-стратегий и ИТ-инфраструктуры. Такие знания служат фундаментом для развития компетенций в области более продвинутых методов, знаний в сфере цифровизации и, как следствие, в разработке и внедрении цифровых экосистем.

Отправной точкой для создания магистерской образовательной программы являлось взаимодействие разработчиков с крупными отечественными машиностроительными компаниями в рамках научно-исследовательских проектов магистрантов. В результате представители предприятий осознали дефицит производственных специалистов, владеющих междисциплинарными знаниями и способных обеспечивать и реализовать его цифровую трансформацию. Особенно нужны такие специалисты на малых и средних предприятиях, важных для экономики.

Значимым фактором для магистрантов стало осознание необходимости приобретения новых компетенций, позволяющих объединить учебу и работу, а также применить знания на практике. В процессе дискуссий с преподавателями и представителями предприятий

Таблица 1 / Table 1

Укрупненные этапы формирования образовательной программы**Enlarged stages of the formation of the educational program**

Этап	Содержание этапа
Этап 1	Появление в условиях индустрии 4.0 новых требований рынка
	Выявление образовательных потребностей обучающихся
	Выявление потребностей работодателей
Этап 2	Разработка образовательной магистерской программы
	Обсуждение и согласование образовательной программы с заинтересованными сторонами предприятия и университета
	Доработка полной версии образовательной программы
Этап 3	Получение поддержки отдельных групп заинтересованных сторон: обсуждение со студентами, получение положительной рецензии от предприятий
	Утверждение программы в университете
Этап 4	Начало реализации программы

студенты высказывали предпочтения относительно областей знаний, которые желали бы углубить с учетом как теоретических, так и практических аспектов.

Таким образом, очевидно, что при разработке содержания программы необходимо учитывать требования всех заинтересованных сторон.

На основе этих требований был сформирован подход к разработке образовательной программы, которая должна обеспечивать комплексную и качественную подготовку конкурентоспособных, высококвалифицированных специалистов, готовых к реализации цифровой трансформации предприятий и внедрению цифровых технологий в их бизнес-процессы на базе формирования интеллектуальной цифровой экосистемы.

Поэтапный процесс внедрения образовательной программы представлен в таблице 1.

4.2. Взаимодействие университета и предприятий в процессе разработки образовательной программы

Разработка программы подготовки востребованных на современном рынке специалистов с учетом перспектив развития экономики требует тесного взаимодействия заинтересованных сторон — университета и предприятий. В процессе исследования потребностей обеих сторон формулируется и последовательно реализуется следующий план работ.

1. Идентификация и оценка потребностей:

- сбор данных для формирования критериев, позволяющих отбирать для участия в программе предприятия различных отраслей с учетом особенностей производственных процессов;
- определение потенциальных партнеров из разных отраслей, подходящих под критерии сотрудничества.

2. Изучение производственных операций:

- оценка и изучение производственных операций на предприятиях;
- анализ планировки цехов, типов процессов (ручные, автоматизированные, частично автоматизированные) и продуктовых семейств.

3. Характеристика продуктовых и технологических линий:

- определение конкретных продуктов, компонентов и операций производственного процесса;
- оценка возможности цифровизации производства с опорой на существующие направления цифровизации.

4. Составление перечня потенциальных проектов:

- определение конкретных целей, ожидаемых результатов и типов итоговых материалов для проектов;
- установление типа проекта: групповой или индивидуальный.

5. Соотнесение целей проекта с образовательной средой университета:

- сравнение направлений цифровизации предприятия с учебными планами университета;
- определение потенциальных тематических областей проектов в соответствии с учебными программами и имеющимися ресурсами предприятий;
- разработка новой магистерской образовательной программы.

6. Определение необходимых ресурсов:

- идентификация требуемой инфраструктуры, оборудования, материалов и параметров технической поддержки для реализации проектов;

- поиск необходимых лабораторных помещений и других инфраструктурных ресурсов.
7. **Согласование производственной задачи с образовательными целями:** преобразование производственной задачи в академический проект, соответствующий образовательным целям.
8. **Набор студентов и запуск образовательной программы:**
- создание групп студентов, соответствующих требованиям проекта;
 - запуск программы и курирование вузом активного взаимодействия студентов и представителей предприятий.

Разработка и запуск совместной образовательной программы требует постоянного обмена информацией, наличия обратной связи и согласованности между стейкхолдерами на всех этапах работы.

4.3. Структура образовательной программы как инструмента формирования практико-ориентированной среды подготовки специалистов

В последние годы в вузах все больше представлены практико-ориентированные технологии обучения: интерактивная обучающая среда, «учебные фабрики», проектное обучение и т. п. Однако чаще всего большинство программ обучения по какой-либо специальности сосредоточено на освоении соответствующих этой специальности компетенций, а междисциплинарные знания и навыки остаются на обочине учебного процесса. Такие знания обычно приобретаются непосредственно на рабочем месте, что может потребовать много лет.

Представляемая образовательная программа сочетает разнообразные форматы обучения, в том числе лекции, лабораторные работы и семинары, но **сосредотачивается на проектной деятельности**, которая способствует практическому приобретению навыков студентами, а также на **эмергентном обучении** [20]. Эмергентное обучение — это приобретающий все большую популярность системный подход к использованию возможностей информационно-коммуникационных технологий, электронного обучения и традиционного (контактного) преподавания в аудитории, который позволяет обучающимся выбирать индивидуальную траекторию обучения в рамках учебного плана [21].

Учебный план для студентов очной формы обучения предусматривает 1107 часов контактной работы (преподаватель — обучающийся) при нормативном сроке обучения 2 года (4320 учебных часов) в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом по данному направлению подготовки¹.

¹ Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 сентября 2017 года № 916 (ред. с изм. и доп. от: 26.11.2020, 08.02.2021) «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования — магистратура по направлению

С учетом междисциплинарного подхода к обучению и широкого спектра требований индустрии 4.0 образовательная программа базируется на трех основных модулях (см. рис.):

- искусственный интеллект;
- моделирование бизнес-процессов и системная инженерия;
- проектное управление и технико-экономическое обоснование.

Лекции занимают не более 40 % от общего объема занятий, а основная часть учебного процесса ориентирована на практические и лабораторные занятия. Выполнение лабораторных работ, предусмотренных учебным планом образовательной программы, занимает около 50 % от общего времени, отведенного на освоение дисциплин.



Рис. Основные модули магистерской образовательной программы

Fig. The main modules of the master's degree program

Немаловажную роль при подготовке магистров играет научно-исследовательская работа, позволяющая не только формировать необходимые компетенции в области цифровизации предприятий, но также исследовать и отрабатывать новые практики и технологии (табл. 2).

В данной магистерской программе студентам предлагается гибридный формат обучения и возможности построения индивидуальной образовательной траектории. Такой подход позволяет эффективно комбинировать традиционные форматы обучения с онлайн-курсами, тренажерами и виртуальной проектной работой для достижения индивидуальных образовательных целей. Проиллюстрируем это на примере некоторых дисциплин (табл. 3).

Результатом обучения по предлагаемой программе являются разработанные цифровые модели предприятий, проекты внедрения интеллектуальных систем управления бизнес-процессами, а также прототипы программных решений.

подготовки 09.04.03 «Прикладная информатика»». https://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Mag/090403_M_3_17062021.pdf

Таблица 2 / Table 2

Задачи профессиональной деятельности, осваиваемой в магистерской программе**Tasks of professional activity covered by the master's degree program**

Тип задач профессиональной деятельности	Перечень задач
Проектно-ориентированная деятельность	Моделирование бизнес-процессов цифровой экосистемы предприятия
	Проектирование архитектуры цифровой экосистемы предприятия
	Организационно-управленческое и технологическое обеспечение разработки информационных систем
	Анализ, реинжиниринг и роботизация бизнес-процессов
	Управление проектами в области ИТ любого масштаба, управление аналитическими работами и подразделением
Научно-исследовательская деятельность	Исследование и разработка методов искусственного интеллекта для цифровых производственных экосистем
	Разработка методов анализа и идентификации цифровых производственных экосистем
	Исследование передовых методов разработки цифровых экосистем
	Системный анализ и математическое моделирование в цифровых экосистемах
	Анализ данных для моделирования и прогнозирования результатов деятельности

Таблица 3 / Table 3

Пример использования различных форматов обучения в магистерской программе**An example of using different learning formats in the master's degree program**

№ семестра	Тема	Формат обучения		
		Традиционный	Электронный	Гибридный
1	Методология исследований и проектное управление	Лекции по темам «Философские проблемы науки и техники» и «Методология научных исследований»	Онлайн-курсы по интеллектуальному анализу данных (Data Mining). Виртуальные лабораторные работы по моделированию бизнес-процессов	Аудиторные лекции и практические работы по управлению проектами в ИТ. Онлайн-упражнения по программированию в цифровых экосистемах. Семинары с использованием кейсов по технико-экономическому обоснованию ИТ-проектов
2	Погружение в методы искусственного интеллекта и реинжиниринг процессов	Лекции по системному анализу и математическому моделированию. Лабораторные работы по организационному обеспечению разработки информационных систем	Онлайн-курсы по прикладным методам искусственного интеллекта (машинное обучение, компьютерное зрение и т. д.). Виртуальные тренажеры по роботизации бизнес-процессов	—
3	Углубленное изучение проектирования интеллектуальных систем управления	Лекции по методологии проектирования интеллектуальных систем управления. Семинары по управлению инвестициями и жизненным циклом цифровых экосистем	Онлайн-курс по прикладной системной инженерии. Вебинары отраслевых экспертов по информационной архитектуре	Аудиторные занятия по архитектуре ИТ-решений. Виртуальные проектные группы по прогнозированию результатов деятельности предприятия
4	Выполнение итогового проекта по заданию предприятия под руководством преподавателей и представителей предприятия			

Приведем **примеры проектов, которые реализуются магистрантами:**

1. Построение модели организации единого логистического информационного пространства предприятия.
2. Интеллектуальная система повышения эффективности использования автотранспортных средств на международных автоперевозках.
3. Моделирование работы сборочного производства машиностроительного предприятия.
4. Цифровые записи жизненного цикла как инструмент управления знаниями внутри компании.
5. Концепция и система управления интермодальным складским робототехническим комплексом сборочного машиностроительного предприятия.

Реализация комплексной проектной работы предусматривает взаимодействие университета и базовых предприятий, а также использование их производственной инфраструктуры и информационно-технологических платформ. Процесс работы над проектом реализуется по следующему алгоритму:

1. Заключается договор о сотрудничестве между университетом и предприятиями-партнерами.
2. Формируются проектные группы из числа обучающихся под руководством научных руководителей из профессорско-преподавательского состава университета.
3. Представители предприятий определяют актуальные задачи и формулируют техническое задание для проектной группы. Со стороны предприятия назначаются эксперты-консультанты.
4. На базе университета организуются рабочие места для проектных групп с доступом к облачным ИТ-платформам, системам виртуализации, вычислительным мощностям и программному обеспечению, необходимому для выполнения проекта.
5. Организуются семинары с участием представителей предприятий, научных руководителей и обучающихся для согласования целей, сроков, методологии и распределения ролей.
6. В течение семестра проектные группы регулярно собираются в аудиториях университета для проведения мозговых штурмов, обсуждения промежуточных результатов и консультаций с руководителями и экспертами.
7. При необходимости организуются выездные сессии на производственные площадки предприятий для сбора данных, ознакомления с процессами, согласования технических решений.
8. Защита проекта проводится как командой (с указанием роли каждого члена команды и его участием в ответе на вопросы), так и индивидуально (каждый защищает свою часть проекта). Выступление проходит перед экспертными комиссиями, в состав которых входят представители предприятий и преподаватели.

Данная образовательная программа формирует практико-ориентированную среду обучения каждого магистранта: обучающийся берет на себя обязанности системного инженера и аналитика по разработке и внедрению интеллектуальной системы управления цифровой экосистемой предприятия. В рамках этих обязанностей он должен не только разбираться в проблемах соответствующей предметной области, но и взаимодействовать с различными заинтересованными лицами (представителями предприятий, университета, экспертного сообщества) для понимания последствий принимаемых решений в сфере реализации цифровых экосистем.

5. Заключение

Формирование и разработка новых образовательных программ в соответствии с требованиями ускоренного экономического развития и запросами представителей всех заинтересованных сторон (и вузов, и производственных предприятий) представляет значительную сложность. Педагогические технологии последних лет демонстрируют явную тенденцию к сокращению объема и роли традиционных форм преподавания (в виде лекций, например). Актуальная методика освоения новых знаний часто представлена созданием проектов, тогда как лекции призваны давать базовые знания, необходимые для их выполнения. Процесс перехода от традиционной модели обучения к модели, основанной на проектах, является сложным и предъявляет весьма высокие требования к образовательным ресурсам.

Именно поэтому представленная в данной статье технология создания программы «Интеллектуальные системы управления цифровой экосистемой предприятия» для обучения в магистратуре по направлению подготовки 09.04.03 «Прикладная информатика» должна обладать гибкостью и способностью адаптироваться к изменяющимся условиям производственной среды. Авторы надеются, что при разработке этой технологии в значительной степени удалось учесть многочисленные пожелания внешних заинтересованных сторон: и обучающихся (в части увеличения количества практических, лабораторных занятий и сокращения лекций), и вузов (в части формирования практико-ориентированного подхода для эффективной подготовки магистрантов), и предприятий (в части подготовки квалифицированных и компетентных специалистов, необходимых на производстве современного уровня).

Авторы стремятся поделиться с коллегами своим опытом в этой области, начать продвижение данной образовательной программы в более широком академическом сообществе и поддержать аналогичные начинания в других образовательных организациях. Авторы надеются, что данная статья также позволит получить обратную связь от других университетов для дальнейшего совершенствования представленной учебной программы и разработки новых современных программ.

Список источников / References

1. Drath R., Horch A. Industrie 4.0: Hit or hype? *IEEE Industrial Electronics Magazine*. 2014;8(2):56–58. DOI: 10.1109/MIE.2014.2312079.
2. Arvindhan M. Possibilities of industrial trends and business benefits with industry 4.0 technology: A survey. *Artificial Intelligence for a Sustainable Industry 4.0*. Springer Cham; 2021:1–18. DOI: 10.1007/978-3-030-77070-9_1.
3. Сабитов Р. А., Смирнова Г. С., Елизарова Н. Ю., Сабитов Ш. Р., Епонешников А. В., Григорьев И. С. Концепция трансформации образования в цифровой экосистеме территориального производственного кластера. *Информатика и образование*. 2022;37(6):5–11. EDN: PCQODC. DOI: 10.32517/0234-0453-2022-37-6-5-11.
4. [Sabitov R. A., Smirnova G. S., Elizarova N. Yu., Sabitov Sh. R., Eponeshnikov A. V., Grigoriev I. S. The transformation education concept in the digital ecosystem of a territorial production cluster. *Informatics and Education*. 2022;37(6):5–11. (In Russian.) EDN: PCQODC. DOI: 10.32517/0234-0453-2022-37-6-5-11.]
5. Ustundag A., Cevikcan E. Industry 4.0: Managing the digital transformation. Springer Cham; 2018. 294 p. DOI: 10.1007/978-3-319-57870-5.
6. Curran D. Risk, innovation, and democracy in the digital economy. *European Journal of Social Theory*. 2018;21(2):207–226. DOI: 10.1177/1368431017710907.
7. Moretti F., Biancardi D. Inbound open innovation and firm performance. *Journal of Innovation & Knowledge*. 2020;5(1):1–19. DOI: 10.1016/j.jik.2018.03.001.
8. Taques F. H., López M. G., Basso L. F., Areal N. Indicators used to measure service innovation and manufacturing innovation. *Journal of Innovation & Knowledge*. 2021;6(1):11–26. DOI: 10.1016/j.jik.2019.12.001.
9. Пономарева С. В., Корюшов Н. В. Влияние цифровой трансформации на эффективность бизнес-процессов и конкурентоспособность предприятий. *Индустриальная экономика*. 2022;(5–6):518–524. EDN: PPSEMM. DOI: 10.47576/2712-7559_2022_5_6_518.
10. [Ponomareva S. V., Koriushov N. V. The impact of digital transformation on the efficiency of business processes and the competitiveness of enterprises. *Industrial Economics*. 2022;(5–6):518–524. (In Russian.) EDN: PPSEMM. DOI: 10.47576/2712-7559_2022_5_6_518.]
11. Bakhtadze N., Chereshko A., Elpashev D., Suleykin A., Purtov A. Predictive associative models of processes and situations. *IFAC-PapersOnLine*. 2022;55(2):19–24. DOI: 10.1016/j.ifacol.2022.04.163.
12. Moore J. F. Predators and prey: A new ecology of competition. *Harvard Business Review*. 1993;71(3):75–86.
13. Moore J. F. The death of competition: Leadership and strategy in the age of business ecosystems. New York, USA, Harper Paperbacks; 1997. 320 p.
14. Iansiti M., Levien R. Strategy as ecology. *Harvard Business Review*. 2004;82(3):68–78.
15. West J., Wood D. Evolving an open ecosystem: The rise and fall of the Symbian platform. *Collaboration and Competition in Business Ecosystems (Advances in Strategic Management)*. 2014;30:27–67. DOI: 10.1108/S0742-3322(2013)0000030005.
16. Kelly K. Out of control: The new biology of machines, social systems, and the economic world. New York, USA, Basic Books; 2009. 531 p.
17. Ray T. S. Evolution, ecology and optimization of digital organisms. *Santa Fe Institute Working Papers*. 1992:1–48.
18. Helmreich S. Silicon second nature: Culturing artificial life in a digital world, updated with a new preface. Berkeley, California, USA, University of California Press; 1998. 334 p.
19. Ray T. S. A proposal to create a network-wide biodiversity reserve for digital organisms. *ATR Human Informa-*

tion Processing Research Laboratories. Technical Report TR-H-133. 1995.

18. Bakhtadze N., Suleykin A. Industrial digital ecosystems: Predictive models and architecture development issues. *Annual Reviews in Control*. 2021;51:56–64. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2020.11.001.

19. Sabitov R. A., Smirnova G. S., Elizarova N. Yu., Si-razetdinov B. R., Eponeshnikov A. V. The concept of intelligent tutoring for enterprise staff as a component of integrated manufacturing control system development. *Advances in Systems Science and Applications*. 2017;17(1):1–8. DOI: 10.25728/assa.2017.17.1.243.

20. Андрюшкова О. В., Григорьев С. Г. Эмергентное обучение в информационно-образовательной среде. М.: Образование и Информатика; 2018. 104 с. EDN: FDIXPQ.

[Andryushkova O. V., Grigoriev S. G. Emergent learning in the information-educational environment: A monograph. Moscow, Education and Informatics; 2018. 104 p. (In Russian.) EDN: FDIXPQ.]

21. Аникеева М. А. Применение графов знаний в образовательной среде для персонализированного обучения. *Информатика и образование*. 2021;36(10):33–42. EDN: PNBMPС. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-10-33-42.

[Anikieva M. A. The use of knowledge graphs in the educational environment for personalized learning. *Informatics and Education*. 2021;36(10):33–42. (In Russian.) EDN: PNBMPС. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-10-33-42.]

Информация об авторах

Григорьев Сергей Георгиевич, чл.-корр. РАО, доктор тех. наук, профессор, профессор департамента информатики, управления и технологий, Институт цифрового образования, Московский городской педагогический университет, г. Москва, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-0034-9224>; *e-mail*: grigorsg@yandex.ru

Смирнова Гульнара Сергеевна, канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры динамики процессов и управления, Институт компьютерных технологий и защиты информации, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Республика Татарстан, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-8880-4473>; *e-mail*: seyl@mail.ru

Сабитов Рустэм Адиевич, канд. тех. наук, ст. научный сотрудник, доцент кафедры динамики процессов и управления, Институт компьютерных технологий и защиты информации, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Республика Татарстан, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-3792-3218>; *e-mail*: r.a.sabitov@mail.ru

Коробкова Екатерина Александровна, канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры динамики процессов и управления, Институт компьютерных технологий и защиты информации, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Республика Татарстан, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-4313-1823>; *e-mail*: korobkova@list.ru

Елизарова Наталья Юрьевна, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры динамики процессов и управления, Институт компьютерных технологий и защиты информации, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Республика Татарстан, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-0204-8705>; *e-mail*: enu1604@mail.ru

Сабитов Шамиль Рустэмович, канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры анализа данных и технологий программирования, Институт вычислительной математики и информационных технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Республика Татарстан, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-6403-4291>; *e-mail*: sh.r.sabitov@gmail.com

Епонешников Александр Вячеславович, аспирант кафедры радиопизики, Институт физики, Казанский (Приволж-

ский) федеральный университет, г. Казань, Республика Татарстан, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-1974-2963>; *e-mail*: sashah275@gmail.com

Information about the authors

Sergey G. Grigoriev, Corresponding Member of the RAE, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor at the Department of IT, Management and Technology, Institute of Digital Education, Moscow City University, Moscow, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-0034-9224>; *e-mail*: grigorsg@yandex.ru

Gulnara S. Smirnova, Candidate of Sciences (Engineering), Docent, Associate Professor at the Department of Dynamics of Processes and Control, Institute for Computer Technologies and Information Protection, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan, The Republic of Tatarstan, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-8880-4473>; *e-mail*: seyl@mail.ru

Rustem A. Sabitov, Candidate of Sciences (Engineering), Senior Research Fellow, Associate Professor at the Department of Dynamics of Processes and Control, Institute for Computer Technologies and Information Protection, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan, The Republic of Tatarstan, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-3792-3218>; *e-mail*: r.a.sabitov@mail.ru

Ekaterina A. Korobkova, Candidate of Sciences (Engineering), Docent, Associate Professor at the Department of Dynamics of Processes and Control, Institute for Computer Technologies

and Information Protection, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan, The Republic of Tatarstan, Russia; *https://orcid.org/0000-0002-4313-1823*; *e-mail*: korobkova@list.ru

Natalia Yu. Elizarova, Candidate of Sciences (Economics), Docent, Associate Professor at the Department of Dynamics of Processes and Control, Institute for Computer Technologies and Information Protection, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan, The Republic of Tatarstan, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-0204-8705>; *e-mail*: enu1604@mail.ru

Shamil R. Sabitov, Candidate of Sciences (Engineering), Docent, Associate Professor at the Department of Data Analysis and Operations Research, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, The Republic of Tatarstan, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-6403-4291>; *e-mail*: sh.r.sabitov@gmail.com

Alexander V. Eponeshnikov, postgraduate student at the Department of Radiophysics, Institute of Physics, Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, The Republic of Tatarstan, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-1974-2963>; *e-mail*: sashah275@gmail.com

Поступила в редакцию / Received: 02.02.24.

Поступила после рецензирования / Revised: 11.03.24.

Принята к печати / Accepted: 12.03.24.