

DOI: 10.32517/0234-0453-2022-37-6-5-11

КОНЦЕПЦИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ В ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КЛАСТЕРА

Р. А. Сабитов¹ ✉, Г. С. Смирнова¹, Н. Ю. Елизарова¹, Ш. Р. Сабитов², А. В. Епонешников³, И. С. Григорьев⁴¹ Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Республика Татарстан, Россия² Казанский федеральный университет, г. Казань, Республика Татарстан, Россия³ Университет Иннополис, г. Иннополис (Казань), Республика Татарстан, Россия⁴ Частное учреждение по цифровизации атомной отрасли «Цифрум», г. Москва, Россия

✉ r.a.sabitov@mail.ru

Аннотация

Новый подход к формированию распределенных цифровых образовательных экосистем в территориальных производственных кластерах может не только устранить недостатки традиционной системы образования, но и создать перспективную платформу для новой современной образовательной технологии. Основой для построения такой экосистемы становятся современные достижения в области систем управления, цифровизации и искусственного интеллекта. Быстрое развитие в области искусственного интеллекта и цифровых технологий оказывает серьезное влияние на образовательную сферу, при этом приходится учитывать и непредсказуемые природные катаклизмы и пандемии, а также сложную геополитическую и экономическую ситуацию в мире. В этих условиях для университетов одна из серьезных возможностей сохранения и усиления своих позиций на рынке образования, который будет стремительно меняться в ближайшее время, — это трансформация процессов в рамках новых технологических трендов на базе цифровых платформ производственных кластерных экосистем. Цифровой двойник может использоваться как для принятия решений в режиме реального времени, так и для прогнозирования и планирования процесса на весь период обучения. Университет и предприятия территориального кластера, обеспечивающие часть образовательных услуг в рамках данного подхода, интегрируются в единый механизм для решения задач гибкого индивидуального обучения в соответствии с потребностями кластера в высококвалифицированных кадрах. Также возможно построение гибридной образовательной университетской среды, интегрированной с реальными объектами экономики конкретной территории, которая в этом случае становится важнейшим компонентом цифровой образовательной экосистемы. Предлагаемая концепция позволяет прогнозировать и планировать подготовку нужных специалистов, поскольку вся схема образовательного процесса в данном случае тесно связана с предприятиями реального сектора на весь период обучения. Это становится возможным за счет того, что обучение происходит по гибким обновляемым программам, отражающим постоянно меняющиеся требования предприятий к компетенциям сотрудников.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровой двойник, цифровая образовательная экосистема, территориальный производственный кластер.

Для цитирования:

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. DOI: 10.32517/0234-0453-2022-37-6-5-11

THE TRANSFORMATION EDUCATION CONCEPT IN THE DIGITAL ECOSYSTEM OF A TERRITORIAL PRODUCTION CLUSTER

R. A. Sabitov¹ ✉, G. S. Smirnova¹, N. Yu. Elizarova¹, Sh. R. Sabitov², A. V. Eponeshnikov³, I. S. Grigoriev⁴¹ Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan, The Republic of Tatarstan, Russia² Kazan Federal University, Kazan, The Republic of Tatarstan, Russia³ Innopolis University, Innopolis (Kazan), The Republic of Tatarstan, Russia⁴ Private Institution for Digitalization of the Nuclear Industry "Cifrum", Moscow, Russia

✉ r.a.sabitov@mail.ru

Abstract

A new approach to the formation of distributed digital educational ecosystems in territorial production clusters is proposed. This can not only eliminate the shortcomings of the traditional education system, but also create a promising platform for a new modern

educational technology. The basis for building such an ecosystem are modern achievements in the field of control systems, digitalization and artificial intelligence. Currently, the education market is seriously influenced by scientific results in the field of artificial intelligence and the rapid development of digital technologies. As practice has shown, it is necessary to take into account quite unpredictable natural disasters and pandemics, as well as the complex geopolitical and economic situation in the world. In these conditions, one of the few serious opportunities for universities to maintain and strengthen their positions in the education market, which will change rapidly in the near future, is the transformation of processes within the framework of new technological trends based on digital platforms of industrial cluster ecosystems. The digital twin can be used both for real-time decision-making and for forecasting and planning the process for the entire training period. The university and the enterprises of the territorial cluster that provide part of the educational services under this approach are integrated into a single mechanism for solving the tasks of flexible individual training in accordance with the needs of the cluster in highly qualified personnel. Within the framework of the proposed approach, it is possible to build a hybrid educational university environment integrated with the real objects of the territory's economy, which in this case becomes the most important component of the digital educational ecosystem. The proposed concept makes it possible to predict and plan the training of the right specialists, since the entire scheme of the educational process in this case is closely connected with the enterprises of the real sector for the entire period of training. This becomes possible due to the fact that training takes place according to flexible, updated programs that reflect the constantly changing requirements of enterprises to the competencies of employees.

Keywords: artificial intelligence, digital twin, digital educational ecosystem, territorial production cluster.

For citation:

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.) DOI: 10.32517/0234-0453-2022-37-6-5-11

1. Введение

В последнее время стало очевидно, что существующий формат образования должен уступить место каким-то новым образовательным технологиям, но каким именно — спрогнозировать сложно. Быстрое развитие цифровизации привело к новым форматам не только общения, но и обучения. При этом, существующие подходы и образовательные программы сильно устарели и компетентный человек в наше время должен владеть совершенно другими навыками, чем представители предшествующих поколений. За последние годы существенно изменились и требования рынка труда. Большим спросом пользуются выпускники вузов, обладающие отличными знаниями предметной области, глубоким пониманием современных методов работы, техническим мышлением, инженерной интуицией, навыками решения сложных проблем. Кроме хорошо развитых профессиональных навыков, у специалистов должны быть и способности к общению и работе в команде.

Предлагаемая концепция формирования цифровой образовательной экосистемы в территориальном производственном кластере своими корнями уходит в известную еще с советских времен систему подготовки инженеров «завод — высшее техническое учебное заведение». В настоящее время активно усиливаются гибкие взаимосвязи между различными субъектами рынка, развиваются цифровые цепочки создания стоимости, формируются киберфизические системы. Это делает целесообразным рассмотрение цифровых трансформаций в экономике с позиций экосистемного подхода. Экосистема здесь рассматривается как взаимозависимая группа акторов, совместно использующих в процессе развития стандартизированные цифровые платформы для достижения различных целей. В мировой экономике цифровые экосистемы являются инновационной формой взаимодействия различных субъектов рынка и эффективным инструментом цифровизации, увеличения производительности, конкурентоспособности и гибкости входящих в них субъектов.

Некоторые предложения, вошедшие в данную концепцию, появились на основе полуторагодового опыта интенсивного дистанционного преподавания ряда университетских дисциплин и результатов длительной работы по внедрению технологий ПоТ (промышленного интернета вещей) на ведущих производственных предприятиях страны. Цифровая экосистема, по мнению авторов, может предоставить хорошую возможность не только устранить присущие различным известным образовательным технологиям недостатки, но и создать предпосылки построения новой полноценной образовательной технологии на базе цифровых платформ территориальных производственных кластеров. Основой построения подобной цифровой экосистемы могут стать современные научные достижения в различных фундаментальных областях знаний.

На сегодняшний день в области образования сформировались три основные задачи:

- идентифицировать и понять реалии сегодняшнего дня и определить необходимые для качественной жизни и устойчивого развития знания и компетенции;
- определить и исследовать наиболее перспективные образовательные модели, которые могут использоваться людьми и сообществами для обучения в течение всего жизненного цикла;
- сформировать понимание, каким образом образовательные системы могут стать инструментом позитивного развития мирового сообщества [1, 2].

При этом должны обеспечиваться непрерывное личностное развитие, персонализация на основе больших данных и искусственного интеллекта, постоянное обновление знаний, навыков и компетенций, освоение современных технологий, формирование новых навыков. Персонализированные системы цифрового обучения позволяют преподавателям адаптировать задания к потребностям и возможностям каждого обучающегося. Обратная связь играет решающую роль в сценариях персонализированного

обучения. При этом адаптивная обратная связь является одной из наиболее часто используемых и исследуемых целей адаптации в цифровом обучении [3]. Адаптивная и персонализированная обратная связь может повысить успеваемость учащихся, выявить потребности учащихся в развитии и мотивации и дать им возможность самостоятельного обучения. Для решения таких задач можно, например, на основе системного подхода использовать определенные технологии искусственного интеллекта [4, 5].

2. Цифровые экосистемы территориальных кластеров

Мировая экономика в последнее время испытывает серьезное влияние достижений в области искусственного интеллекта, а также быстрого развития цифровых технологий. Все это происходит на фоне непредсказуемых природных катаклизмов и пандемий, а также очень сложной экономической ситуации. Для производственных компаний единственной возможностью сохранения и усиления своих позиций на рынке становится трансформация процессов в рамках новых технологических трендов и интегрированных сетевых кластерных экосистем. Несмотря на очень сложную ситуацию в мире, продолжающийся прогресс информационных технологий и связанных с ними областей должен резко изменить как содержание трудовой деятельности, так и образ жизни в целом. Потенциальная мощь объединения технологий искусственного интеллекта и Индустрии 4.0 приводит к глобальным последствиям и вызовам, которые уже сейчас необходимо оперативно преодолевать с целью сохранения и развития бизнеса и системы подготовки специалистов, внося необходимые изменения в методологию подготовки квалифицированных кадров.

В современном машиностроении, например, происходит активное внедрение интеллектуальных интегрированных технологий во всей производственной и распределительной цепочке создания стоимости [6]. Эта взаимосвязь объединила практически весь спектр цифровых и физических систем: от проектирования и планирования продукции до цепочки поставок и производства. Основные причины такого подхода: короткий жизненный цикл производимой продукции, высокий уровень клиентоориентированности, сложные цепочки управления поставками. Описанные изменения происходят в условиях жесткой конкуренции и непрерывного поиска квалифицированных специалистов [7].

Возможности в области цифровизации становятся важными для обеспечения деятельности совместных производственных сетей, которые могут лучше адаптироваться к будущим динамическим рынкам. Производственные системы постепенно превращаются в так называемые киберфизические производственные системы. Они включают в себя сеть автономных компонентов с локальным интеллектуальным контролем. Эти компоненты могут общаться с другими

устройствами, машинами, производственными модулями и продуктами через открытые сети и семантические описания. Таким образом, традиционное жесткое иерархическое производство заменяется децентрализованной самоорганизацией, где реинжиниринг позволит создавать значительно более гибкие производственные системы [8, 9].

3. Трансформация образования в цифровой экосистеме территориального производственного кластера

Всякий раз, когда экономическая среда подвергается быстрому и драматическим изменениям, в каждой сфере появляются победители и те, кто отстал. Учитывая это, необходимо действовать уже сейчас, чтобы стать возглавить и повести за собой серьезные рыночные перемены. Для правильного использования возможностей цифровых экосистем нужно тщательно и критически оценить, какую модель образования мы представляем и на какой стадии мы хотели бы находиться, когда «умный университет» как киберфизическая система начнет становиться объективной реальностью. Отказ от решения этих проблем — в данном случае неподходящий вариант: конкуренты будут активизироваться и заставят остальных участников рынка или следовать их примеру, или выбывать из соревнования. Создание ценности в этом случае — ключ к успеху. На рынке останутся только инновационные, гибкие и ориентированные на клиента конкуренты. Таким образом, изменение модели образования и собственного подхода является задачей, которую нужно начинать решать сейчас, чтобы не отстать навсегда.

Нужна корпоративная стратегия, которая в конечном итоге и будет обеспечивать устойчивый рыночный успех, предлагая необходимую ценность для обучающихся. Предложения «ценность и полезность» будут основной целью и будущим отличительным преимуществом, которое необходимо для достижения цели и общения с обучающимися.

Ценность и полезность — это значительно больше, чем просто модные слова: это ценные предложения в адрес наших студентов, позволяющие выделиться на фоне образовательных организаций-конкурентов. Именно эти два фактора станут решающими для будущего успеха на рынке образования. Очевидно, что образовательные продукты становятся все более взаимозаменяемыми с технической стороны. В буквальном смысле уже не имеет значения, какой, например, университет вы выбираете, поскольку большинство образовательных предложений практически идентичны.

Поэтому «личный» образовательный процесс в цифровой экосистеме с учетом требований будущего работодателя будет отличительным преимуществом данного университета перед конкурентами. Для получения этого преимущества необходимо инвестировать, в том числе и работодателю, что создаст

возможность оперативно удовлетворять имеющиеся запросы. Современные цифровые достижения позволяют быстро налаживать основные рабочие процессы, мгновенно включать и отключать различные функции с помощью одной кнопки и инициировать программу обучения, как только будет согласована его окончательная модель.

Децентрализованное обучение и аутсорсинг [10] могут стать двумя ключевыми функциями для успешного применения искусственного интеллекта в образовании. Сегодня уже существуют необходимые инструменты, позволяющие внедрять методы искусственного интеллекта в процесс организации обучения. Однако необходимо иметь локализованное гибкое учебное пространство с децентрализованными мощностями для работы в непосредственной близости с обучающимися. При этом обучение должно быть в достаточной степени «умным», чтобы автоматически принимать и выполнять заказы с помощью интеллектуальной системы, уменьшая или полностью устраняя необходимость вмешательства человека, помимо принятия первоначальных решений [11].

4. Управление обучением в условиях цифровой трансформации

Трансформация экосистемы обучения предполагает радикальные изменения: меняются модели обучения, появляются новые университеты, новые образовательные бренды. Обучающиеся тоже быстро скорректировали свое поведение: им нужен индивидуальный подход, уникальные программы обучения, новейшие компетенции [12].

Фактическая потребность в управлении образовательным процессом в этом случае будет сведена к управленческим и бизнес-функциям, зависящим от индивидуальных решений и предпочтений. Этот «бережливый» подход к управлению образованием может быть реализован только с помощью сочетания искусственного интеллекта и цифровизации, причем в значительной зависимости посредством сетевого аутсорсинга в рамках цифровой платформы производственно-образовательного кластера [13]. Создание децентрализованной модели образования в рамках цифровой экосистемы кластера избавит от необходимости удерживать невостребованные образовательные мощности, которые фактически начнут становиться бременем, а не активом.

Все это создаст необходимость в новых управленческих функциях, а также изменит наполнение и перечень обязанностей для всех подразделений университета. Естественно, эти функции будут в перспективе в значительной степени поддерживаться системами искусственного интеллекта, а вмешательство человека, если оно вообще необходимо и желательно, должно будет осуществляться только на самой последней стадии.

Как известно, основная идея развития Индустрии 4.0 и CPPS (киберфизических производственных систем) — это создание высокоуровневых

динамических сетевых образовательных структур, позволяющих в рамках затрат на массовое, поточное образование эффективно обеспечивать аутсорсинг и индивидуальные учебные программы на протяжении всего периода гибкого обучения. Эта тенденция уже отчетливо просматривается не только в образовании, но и во многих ключевых отраслях мировой экономики, и политические решения во многом определяются все более жесткой борьбой за рынки сбыта инновационной продукции и услуг.

Внедрение цифровых экосистем в образовании активно тормозится целым рядом факторов, среди которых можно отметить недостаточную квалификацию обучающихся и обучаемых на всех уровнях, отсутствие эффективных бизнес-процессов и стандартов использования преимуществ цифрового подхода. Предлагаемая методика может дать новые возможности для создания востребованных образовательных программ. В рамках цифровой экосистемы распределенного производственного кластера существенно легче и экономически целесообразно обеспечить глобальную автоматизацию, информатизацию и интеллектуализацию основных образовательных технологий. Это будет выгодно для университетов, поскольку при соответствующем уровне гибкости обучения, его производительности и в целом эффективности работы учебного заведения естественным образом будет постоянно расти численность учащихся. При этом, как уже отмечалось выше, широкое внедрение и массовое использование новейших цифровых технологий и киберфизических систем может быть связано со сложностями в силу неопределенных факторов различного рода.

Здесь, как и в случае производственных предприятий и систем управления сложными динамическими объектами, анализ неопределенности и принятие решений могут базироваться на мультиагентном подходе, многоуровневых игровых моделях, методах нечеткой логики. Это может позволить практически реализовывать принципы управления конфликтами и учитывать влияние так называемых «мягких», трудно формализуемых общечеловеческих факторов [14, 15]. По аналогии с управлением сложными цепочками поставок с многоуровневой распределенной логистикой цифровая революция в управлении цепочками образовательных программ и аутсорсингом в цифровой экосистеме может привести к реальному повышению эффективности работы университетов, а также к существенному улучшению качества получаемого образования, что весьма актуально в данное время.

Очень часто даже ведущие университеты используют самодельные информационные системы управления образовательными процессами, что приводит к существенным затратам и потерям времени. Гораздо целесообразнее использовать поддерживаемую серьезным оператором многофункциональную обновляемую платформу (в конкретном случае это может быть и цифровая платформа территориального производственного кластера), создавая при

этом единое пространство для сотрудничества всех участников.

Технические возможности киберфизической цифровой экосистемы позволяют университету эффективно формировать полный набор необходимых технологий для создания динамической сети аутсорсинга и цифровых образовательных цепочек, идентифицируя при этом модель состояния всех процессов в режиме реального времени в рамках цифрового двойника образовательного процесса. Цифровой двойник — это неразрывно связанные между собой виртуальные представления физического объекта (продукта или процесса) в каждый момент времени. Цифровые двойники используются на протяжении всего жизненного цикла объекта для моделирования, прогнозирования и оптимизации процессов. В каждый момент времени цифровой двойник отображает состояние процессов аутсорсинга и образовательных цепочек в университете. Эти данные сравниваются с фактическими данными планирования, подготовки необходимого оборудования, непосредственно подготовки образовательных программ, загрузки преподавателей, учета и контроля результатов обучения и т. п. При этом цифровой двойник может использоваться как для принятия решений в режиме реального времени, так и для прогнозирования и планирования аутсорсинга. Университет и предприятия, обеспечивающие аутсорсинговые услуги в рамках данного подхода, интегрируются в единый механизм для решения задач гибкого индивидуального обучения [10, 11]. Если, например, в образовательной цепочке имеет место нештатная ситуация, это отклонение может быть замечено инструментом мониторинга данных о рисках и передано имитационной модели для формирования альтернативных вариантов. Симуляция в цифровом двойнике может помочь показать распространение влияния чрезвычайных событий в системе и обеспечить эффективную адаптацию планов действий в соответствии с ситуацией практически в режиме реального времени.

5. Преимущества предлагаемой экосистемной концепции

В настоящее время значение искусственного интеллекта и машинного обучения для различных областей исследуется в глобальном масштабе, что и привлекло внимание к этой теме многих образовательных учреждений. Существующий искусственный интеллект может имитировать, а в некоторых случаях и полностью заменять людей при выполнении определенных действий. Многие предприятия, например, Amazon, Microsoft, Google, крупные машиностроительные предприятия России, уже давно внедрили элементы искусственного интеллекта и машинного обучения. Между тем искусственный интеллект и машинное обучение активно применяются также в сфере образования и обучения для развития технологической грамотности. Такое их применение является жизненно важным факто-

ром цифровизации и трансформации образования. Участники цифровой образовательной экосистемы должны хорошо понимать основные тренды и вызовы ее развития.

Описанные тенденции особенно важны для России в плане децентрализации сферы образования, поскольку оценка качества образования будет осуществляться работодателем. Сегодня, когда природные богатства перестают быть базой и залогом успеха в условиях глобальной геополитической конкуренции, необходимо сфокусировать все внимание на развитии человеческого потенциала во всех его проявлениях [16, 17]. Предлагаемая экосистемная концепция может на практике эффективно использовать все известные достижения в области образования.

В настоящее время многие крупные компании, несмотря на наличие системы внутрикорпоративной подготовки и адекватный уровень оплаты труда, столкнулись с дефицитом кадров и вынуждены предпринимать различные меры для его устранения. Одним из вариантов и может быть участие в подобной экосистеме. Малым и средним предприятиям также очень часто не хватает мощностей и финансов для создания собственных обучающих программ и тренингов. Кроме того, нынешнее и будущее поколения студентов, изучающие дисциплины, связанные с производством, например, бизнес, машиностроение, промышленная инженерия, технологии производства и т. п., должны получить реальные практические навыки в своей предметной области.

Преимуществами предлагаемого формата обучения для студентов являются, например, создание ценности на основе цифровой трансформации, работа с современными интерфейсами, обработка и анализ данных, а также приобретение компетенций в области информационных и коммуникационных технологий [18, 19].

Наиболее близок к представленной концепции подход обучающей фабрики School of Engineering Practice and Technology (SEPT) в Штутгарте. На ней демонстрируется будущее обрабатывающей промышленности, и студенты инженерных специальностей могут на практике развивать свои технические навыки. Помимо самой обучающей фабрики, имеется ее портативная модель на основе микроконтроллера IoT, в которую интегрированы такие программы, как IoT Home Lighting, основные датчики и устройства вывода или Smart Motor Control. Все модели могут использоваться и расширяться силами учащихся даже за пределами учебной фабричной среды [20].

В рамках цифровой экосистемы появляются преимущества в виде модульного подхода в сочетании с микрообучением, нестандартный характер процесса обучения при этом приводит к более быстрому успеху и повышает мотивацию участников.

Спрос на хорошо обученных работников и студентов, обладающих навыками и знаниями в сфере интернета вещей и искусственного интеллекта, становится более востребованным и в промышленности. Это приводит к тому, что образовательные учрежде-

ния и предприятия должны активно сотрудничать и обмениваться опытом. Очевидно, что в настоящее время срочно требуется внедрение новых подходов в обучении, простых для понимания, адаптируемых к различным ситуациям, гибких к местоположению, ориентированных на различные уровни образования и при этом предполагающих активное взаимодействие с производственными компаниями.

Предлагаемая концепция обеспечивает существенное повышение мотивации обучающихся, развитие у них самостоятельности, открытость обучения, индивидуальный подход к каждому студенту и, что также очень важно, создает необходимую гибкость образовательного процесса.

6. Заключение

В рамках рассматриваемого подхода предлагается интеграция цифровых образовательных экосистем университетов в экосистемы территориальных производственных кластеров. Таким образом обеспечивается формирование образовательной среды, базирующейся на реальных потребностях производственных объектов региональной экономики. Для территорий с высокой концентрацией производственных предприятий и университетов данная модель позволяет формировать интегрированную экосистему с учетом реального взаимодействия предприятий и университетов. Такой подход позволяет планировать подготовку необходимых для регионов специалистов, поскольку модель работы образовательной системы тесно связана с предприятиями реального сектора экономики. Это происходит за счет того, что обучение осуществляется по гибким программам, отражающим постоянно меняющиеся требования предприятий к компетенциям своих сотрудников. В результате повышается эффективность и качество подготовки специалистов, появляется возможность оперативно разрабатывать новые, актуальные учебные программы и курсы. Совместная работа университетов и предприятий позволяет быстро осваивать компетенции, востребованные реальным сектором экономики, и обеспечивает экономическую эффективность для всех ее участников.

Список источников / References

1. Коляда М. Г., Бугаева Т. И. Искусственный интеллект как движущая сила совершенствования и инновационного развития в образовании и педагогике. *Информатика и образование*. 2018;33(10):21–30. DOI: 10.32517/0234-0453-2018-33-10-21-30
[Koliada M. G., Bugayeva T. I., Artificial intelligence as a moving force of improvement and innovative development in education and pedagogy. *Informatics and Education*. 2018;33(10):21–30. (In Russian.) DOI: 10.32517/0234-0453-2018-33-10-21-30]
2. Андрюшкова О. В., Григорьев С. Г. Методика оценки качества обучения на основе негэнтропии. *Информатика и образование*. 2019;34(10):37–45. DOI: 10.32517/0234-0453-2019-34-10-37-45
[Andryushkova O. V., Grigoriev S. G. Methodology for assessment of the quality of learning based on negentropy.

Informatics and Education. 2019;34(10):37–45. (In Russian.) DOI: 10.32517/0234-0453-2019-34-10-37-45]

3. Martin F., Chen Y., Moore R.L., Westine C.D. Systematic review of adaptive learning research designs, context, strategies, and technologies from 2009 to 2018. *Educational Technology Research and Development*. 2020;68(4):1903–1929. DOI: 10.1007/s11423-020-09793-2

4. Андрюшкова О. В., Григорьев С. Г. Эмергентное обучение в информационно-образовательной среде. М.: Образование и Информатика; 2018. 104 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41518855>

[Andryushkova O. V., Grigoriev S. G., Emergent learning in the information-educational environment. Moscow, Education and Informatics; 2018. 104 p. (In Russian.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41518855>]

5. Dolgui A., Bakhtadze N., Smirnova G., Sabitov R., Elpashev D. Identification and simulation models in logistics control systems for production processes and freighting. *IFAC-PapersOnLine*. 2017;50(1):14638–14643. DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.1903

6. Паркинсон Б. На пути к интеллектуальному производству. *Control Engineering Russia*. 2017;72(6):58–60. Режим доступа: <https://controlengrussia.com/internet-veshhej/intellektualnoe-proizvodstvo/>

[Parkinson B. On the way to intelligent production. *Control Engineering Russia*. 2017;72(6):58–60. (In Russian.) Available at: <https://controlengrussia.com/internet-veshhej/intellektualnoe-proizvodstvo/>]

7. Larabell J. T. The rise of the robots. *The New American*. 2016;32(21):10–17. Available at: <https://thenewamerican.com/the-rise-of-the-robots/>

8. Sadler P. Sustainable growth in a post-scarcity world: consumption, demand, and the poverty penalty. London, Routledge; 2010. 264 p. DOI: 10.4324/9781315611518

9. Frey C. B., Osborne M. A. The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation. *Technological Forecasting and Social Change*. 2017;114:254–280. DOI: 10.1016/j.techfore.2016.08.019

10. Grigoriev S. G., Sabitov R. A., Smirnova G. S., Sabitov Sh. R. The concept of the formation and development of a digital intellectual ecosystem of blended university learning. *Informatics and Education*. 2020;35(5):15–23. DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-5-15-23

11. Sabitov R., Smirnova G., Sabitov S., Elizarova N., Korobkova E. Planning, building and development distributed integrated blended education ecosystem at different levels. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020:79–86. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45072043>

12. Vostroknutov I., Grigoriev S., Surot L. Modern challenges of humanity and the search for a new paradigm of education. *Proceedings of the 4th International Conference on Informatization of Education and E-learning Methodology: Digital Technologies in Education (IEELM-DTE 2020)*. Krasnoyarsk, Russia. 2020;2770:49–54. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2770/paper7.pdf>

13. Smirnova G., Sabitov R., Morozov B., Sabitov Sh., Sirazetdinov B., Elizarova N. To the problem of dynamic modeling and management in an integrated environment of the industrial cluster. *IFAC-PapersOnLine*. 2015;48(3):1230–1235. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.252

14. Bakhtadze N., Suleykin A. Industrial digital ecosystems: predictive models and architecture development issues. *Annual Reviews in Control*. 2020;51(1):56–64. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2020.11.001

15. Bakhtadze N., Elpashev D., Suleykin A., Pyatetsky V. Digital ecosystem situational control based on a predictive model. *IFAC-PapersOnLine*. 2021;54(1):300–306. DOI: 10.1016/j.ifacol.2021.08.035

16. Лукаш П., Кубиста Дж., Ласло А., Попович М., Нуненко И. Образование для сложного общества. Доклад Global Education Futures 2018. 232 с. Режим доступа:

<http://vcht.center/wp-content/uploads/2019/06/Obrazovanie-dlya-slozhnogo-obshhestva.pdf>

[Luksha P., Kubista J., Laszlo A., Popovic M., Ninenko I. Education for a complex society. Report for Global Education Futures 2018. 232 p. (In Russian.) Available at: <http://vcht.center/wp-content/uploads/2019/06/Obrazovanie-dlya-slozhnogo-obshhestva.pdf>]

17. *Sirazetdinov P. T., Brazhkina A. A.* Универсальная структурная модель типового экономического кластера. *Управление большими системами*. 2010;(29):152–166. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15101914>

[Sirazetdinov P. T., Brazhkina A. A. Universal structural model of a standard economic cluster. *Large-Scale Systems Control*. 2010;(29):152–166. (In Russian.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15101914>]

18. *Sabitov R. A., Smirnova G. S., Elizarova N. U., Sabitov Sh. R.* Intelligent management of supply chains and outsourcing in mechanical engineering under “Industry 4.0” conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;570(1). DOI: 10.1088/1757-899X/570/1/012081

19. *Kuhn Ch., Luckea D.* Supporting the digital transformation: a low-threshold approach for manufacturing related higher education and employee training. *Procedia CIRP*. 2021;104:647–652. DOI: 10.1016/j.procir.2021.11.109

20. *Singh I., Centea D., Elbestawi M.* IoT, IIoT and cyber-physical systems integration in the SEPT learning factory. *Procedia Manufacturing*. 2019;31:116–122. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.03.019

Информация об авторах

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

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

Елизарова Наталья Юрьевна, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры динамики процессов и управления, 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 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, магистрант направления «Информатика и вычислительная техника», профиль «Анализ данных и искусственный интеллект», Университет Иннополис, г. Иннополис (Казань), Республика Татарстан, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-1974-2963>; *e-mail*: sashah275@gmail.com

Григорьев Иван Сергеевич, руководитель направления аналитики в Группе административного сопровождения Проектного офиса управления проектами, частное учреждение по цифровизации атомной отрасли «Цифрум», г. Москва, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-1931-1864>; *e-mail*: Ivansgrigoriev@yandex.ru

Information about the authors

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

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

Natalia Yu. Elizarova, Candidate of Sciences (Economic), 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 Technology, Kazan 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, master student of the education program “Informatics and Computer Engineering”, profile “Data analysis and artificial intelligence”, InnoPolis University, InnoPolis (Kazan), The Republic of Tatarstan, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-1974-2963>; *e-mail*: sashah275@gmail.com

Ivan S. Grigoriev, Head of Analytics in the Group of Administrative Support of the Project Management Office, Private Institution for Digitalization of the Nuclear Industry “Cifrum”, Moscow, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-1931-1864>; *e-mail*: Ivansgrigoriev@yandex.ru

Поступила в редакцию / Received: 21.08.2022.

Поступила после рецензирования / Revised: 06.11.2022.

Принята к печати / Accepted: 08.11.2022.