

DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-4-5-13

ТРАНСФОРМАЦИИ ПОДХОДОВ В ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМ*

Р. А. Сабитов¹ ✉, Г. С. Смирнова¹, Н. Ю. Елизарова¹, Ш. Р. Сабитов², А. В. Епонешников³, И. С. Григорьев⁴,
А. А. Кутдусов¹

¹ Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Республика Татарстан, Россия

² Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Республика Татарстан, Россия

³ Университет Иннополис, г. Иннополис (Казань), Республика Татарстан, Россия

⁴ Частное учреждение по цифровизации атомной отрасли «Цифрум», г. Москва, Россия

✉ r.a.sabitov@mail.ru

Аннотация

Основным отличием эпохи Индустрии 4.0 является глобальная цифровизация и все возрастающая сложность производственных систем. Для успешной цифровой трансформации всей экономики и отдельных предприятий необходима подготовка инженеров нового поколения. Известными моделями обучения на основе информационных технологий, которые сегодня широко распространены, являются дистанционное обучение и смешанное обучение. Если эти подходы уже проработаны методически, то обучение ИТ на инженерных специальностях вызывает очень много вопросов.

В статье проведен выборочный обзор литературы по обучению инженеров ИТ. Акцентируется внимание на существующих подходах в области обучения программированию, но подчеркивается, что многое еще предстоит реализовать. Очевидно, что современные цифровые технологии могут кардинально изменить методы преподавания и обучения в области ИТ. Это означает прежде всего, что требуется разработка новой теории образования, учитывающей перспективы тотальной цифровизации всех процессов в экономике.

Целью данной статьи является исследование трансформации подходов в обучении ИТ студентов инженерных специальностей и вектора научных разработок в этом направлении.

Ключевые слова: инженерное образование, ИТ, программирование, конструктивизм, коннективизм, Индустрия 4.0, цифровизация.

Для цитирования:

Сабитов Р. А., Смирнова Г. С., Елизарова Н. Ю., Сабитов Ш. Р., Епонешников А. В., Григорьев И. С., Кутдусов А. А. Трансформации подходов в обучении студентов инженерных специальностей информационными технологиями. *Информатика и образование*. 2023;38(4):5–13. DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-4-5-13

TRANSFORMATION OF APPROACHES IN TEACHING INFORMATION TECHNOLOGIES TO ENGINEERING STUDENTS

R. A. Sabitov¹ ✉, G. S. Smirnova¹, N. Yu. Elizarova¹, Sh. R. Sabitov², A. V. Eponeshnikov³, I. S. Grigoriev⁴,
A. A. Kutdusov¹

¹ Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan, The Republic of Tatarstan, Russia

² Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, The Republic of Tatarstan, Russia

³ Innopolis University, Innopolis (Kazan), The Republic of Tatarstan, Russia

⁴ Private Institution for Digitalization of the Nuclear Industry "Cifrum", Moscow, Russia

✉ r.a.sabitov@mail.ru

Abstract

The main difference of the Industry 4.0 era is the global digitalization and the ever-increasing complexity of production systems. The successful digital transformation of the entire economy and individual enterprises requires the training of a new generation of engineers. The well-known models of information technology based training, which are widely used today, are distance learning and

* Материалы к статье можно скачать на сайте ИНФО: https://infojournal.ru/journals/info/info_04-2023/

blended learning. And if these approaches have already been methodically worked out, IT training in engineering specialties raises a lot of questions.

The article provides a selective review of the literature on IT training for engineers. In particular, attention is focused on various existing approaches in the field of teaching programming, but it is emphasized that much remains to be implemented. It is obvious that modern digital technologies can radically change the methods of teaching and learning in IT. This means, first of all, that the development of a new theory of education is required, taking into account the prospects for total digitalization of all processes in the economy.

The aim of the article is to study the transformation of approaches in IT training of engineering students and the vector of scientific developments in this direction.

Keywords: engineering education, IT, programming, constructivism, connectivism, Industry 4.0, digitalization.

For citation:

Sabitov R. A., Smirnova G. S., Elizarova N. Yu., Sabitov Sh. R., Eponeshnikov A. V., Grigoriev I. S., Kutdusov A. A. Transformation of approaches in teaching information technologies to engineering students. *Informatics and Education*. 2023;38(4):5–13. (In Russian.) DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-4-5-13

1. Введение

Основным отличием эпохи Индустрии 4.0 является глобальная цифровизация и все возрастающая сложность производственных систем. Для успешной цифровой трансформации всей экономики и отдельных предприятий требуется подготовка инженеров нового поколения. Поэтому вузы должны быстро научиться качественно готовить современных инженеров с расширенными навыками, продвинутыми компетенциями и практическим опытом.

Существенные изменения, происходящие сегодня в сфере образования, — это в первую очередь переход от традиционных методов обучения к активному использованию передовых цифровых технологий. В нашей стране с 2018 года реализуется национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации»*, включающая в себя направление «Кадры для цифровой экономики»**. Программа направлена на активное содействие гражданам страны в освоении ключевых компетенций цифровой экономики, обеспечение массовой цифровой грамотности и персонализацию образования.

Эти изменения сегодня характеризуются массовым использованием ИТ для поддержки процессов обучения на различных уровнях образования — от начальных школ до университетов [1, 2]. Известными и широко распространенными моделями обучения на основе информационных технологий являются дистанционное обучение и смешанное обучение. И если эти подходы уже методически проработаны [3, 4], то обучение ИТ на инженерных специальностях вызывает очень много вопросов.

В последнее время в стране большое внимание уделяется подготовке ИТ-специалистов, поскольку считается, что в России не хватает кадров в этой области. Но сейчас сфера ИТ стала включать в себя огромное количество профессий различных направлений, поэтому важной оказывается не столько подготовка кадров в области программирования (в университетах она поставлена на поток), сколько

необходимость качественно готовить инженеров для различных отраслей промышленности со знаниями в области ИТ. Современные инженеры должны свободно владеть не только практическими навыками в своей предметной сфере, но и основами ИТ, а также практическими навыками в различных разделах программирования.

Необходимо отметить, что структура спроса на специалистов принципиально меняется каждые 10–15 лет, а продолжительность активной деятельности современного человека примерно в три раза больше. Это означает, что если специалист, получивший образование более 10–15 лет назад, не будет повышать квалификацию или не переквалифицируется, не расширит свою профессиональную подготовку, то может оказаться невостребованным в условиях современной цифровой экономики.

Целью данной статьи является исследование трансформации подходов в обучении ИТ студентов инженерных специальностей и вектора научных разработок в этом направлении.

2. Теории обучения

Ученые — и теоретики, и практики — рассматривают различные интерпретации и формулировки понятия «обучение». Общим в них является то, что обучение подразумевает изменение поведения, знаний, навыков, установок, творческих способностей, взглядов. Существуют различные теории обучения: гуманизм, бихевиоризм, когнитивизм, конструктивизм и другие. Обзор литературы показывает, что самой популярной теорией обучения в сфере образовательных технологий является **конструктивизм** [5–8].

Основная идея конструктивизма (лат. *constructio* — построение) состоит в том, что **знание** не передается от учителя к ученику, а представляет собой **активный процесс построения взаимодействия ученика с окружающей средой и осмысления полученного опыта** [9]. Этот процесс становится не только средством обучения, но и средством развития личности. Теоретические основы конструктивизма в нашей стране разрабатывал Лев Выготский, который подчеркивал **фундаментальную роль социального взаимодействия в развитии познания** [10].

* Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/>

** Направление «Кадры для цифровой экономики». <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/866/>

Конструктивистский подход особенно важен для подготовки инженеров, поскольку закрепление практических навыков у них происходит после освоения теоретической базы.

Технология проектного обучения инженеров информационным технологиям также использует преимущества конструктивистской теории, по которой обучение концентрируется на интерпретации и конструировании смысла:

- знание конструируется;
- предварительные знания необходимы и важны в процессе обучения;
- первоначальное понимание является локальным, а не глобальным;
- создание полезных структур знаний требует усилий и целенаправленной деятельности [11–14].

Еще одной современной теорией обучения является **коннективизм** (англ. connect — соединять, связывать). Ее впервые представил Джордж Сименс в онлайн-статье, опубликованной 12 декабря 2004 года, а затем обновленной 5 апреля 2005 года, где назвал коннективизм «теорией обучения для цифровой эпохи» [15]. При этом он жестко противопоставил коннективизм традиционным теориям обучения, которые назвал неадекватными новым и революционным технологиям социальных сетей, затрагивающим поиск, исследования, преподавание и обучение, а также множество других аспектов повседневной жизни [16].

Коннективизм использует **информационную сеть как основу для создания знаний**. Любой объект (им может быть человек, книга, веб-страница, ученое сообщество, мобильное приложение, мысль и т. д.) может стать источником информации, или «узлом» (термин коннективизма). Связи, устанавливающиеся между узлами, или «ссылки», согласно теории коннективизма, и формируют процесс обучения.

Дж. Сименс утверждает, что «способность видеть связи между областями, идеями и концепциями является ключевым навыком», и далее объясняет, что «обучение — это акт распознавания паттернов, сформированных сложными сетями» [15].

В эпоху цифровизации и в условиях случившейся и возможных новых пандемий применение сетевых технологий, а значит и идей коннективизма, становится главным способом взаимодействия человека и мира, а также получения обучающимися новых знаний.

3. Тенденции развития обучения инженеров информационным технологиям

3.1. ИТ в образовании

Сфера обучения ИТ стремительно расширяется, и в этом направлении проводится большое количество исследований, что существенно повышает методологическую и теоретическую проработанность

данной области образования. Главное преимущество обучения ИТ заключается в том, что его можно применять в различных условиях и контекстах.

Значительная часть исследований процесса обучения ИТ, как правило, основывается на обучении ИТ именно как специальности. Обучению информационным технологиям студентов других специальностей (например, инженеров) посвящено значительно меньше исследований. Это приводит к стагнации в исследованиях и невозможности выявления отличий в обучении ИТ по различным (в том числе инженерным) специальностям. Кроме того, следует иметь в виду устойчивую тенденцию по привлечению зарубежных студентов (как правило, молодых людей из Азии и Африки) в вузы РФ. В исследованиях по обучению, в частности в методических рекомендациях для учебных программ, необходимо учитывать культурные различия обучающихся.

Вполне естественно, что в силу все нарастающего использования социальных сетей и онлайн-технологий практика обучения ИТ будет тесно связана с внедрением цифровых технологий. Кроме того, значительная часть исследований указывает на быстрое увеличение применения роботов и автоматизированных технологий в обучении, что также делает необходимым проведение дополнительных исследований.

Существуют различные прогнозы, согласно которым в будущем появится целый ряд новых профессий [17, 18]. В связи с этим необходимо изучать возникающие в сфере занятости тенденции и способы обучения необходимым в будущем навыкам.

Современная бизнес-среда динамична, а актуальные технологические достижения оказывают сильное влияние на способы обучения. Нынешний век цифровизации и быстрого развития технологий принес с собой как неопределенность, так и широкие возможности для кардинальных перемен. Роль преподавателя должна постепенно меняться в связи с более активным использованием новых технических устройств. При этом беспрецедентный доступ к данным в любом месте еще больше изменил то, как люди взаимодействуют в обществе.

В последнее время произошел интересный сдвиг в сторону более широкого использования навыков критического мышления в инженерном и ИТ-образовании. Критическое мышление позволяет человеку выявлять актуальные проблемы и вырабатывать возможные пути их решения [19]. Это означает, что человеку необходимо научиться изучать проблему с разных точек зрения, чтобы учитывать всю поступающую информацию. Системно анализируя и оценивая различные возможности, можно значительно лучше интерпретировать информацию [20]. Это важная компонента образовательного опыта для изучающих ИТ студентов, которые смогут анализировать и оценивать идеи таким образом, чтобы развивать свои когнитивные навыки.

Когнитивные функции критического мышления можно отнести к сфере технических рассуждений или философской оценки [21]. *Техническое*

мышление фокусируется на интерпретации научных данных для получения решений. *Критическое мышление* как техническое рассуждение включает в себя ряд действий по когнитивной обработке, таких как:

- активная обработка;
- логическая оценка;
- аналитическое мышление;
- решение проблем [21].

Философская оценка включает в себя размышления о ценности идей, основанных на убеждениях и восприятии. Это означает понимание предположений, а затем их изменение в зависимости от факторов окружающей среды.

Освоение искусственного интеллекта и программирования считается дополнительным преимуществом для становления важных информационных компетенций. С целью повышения цифровой грамотности обучающихся учебные программы различных стран предусматривают развитие цифровых навыков [22, 23]. Это требует глубокой интеграции цифровых технологий в контекст преподавания [24], что является весьма сложным процессом. Однако преподаватели активно используют новые технологии как инструмент, облегчающий обучение. Главный вопрос здесь заключается в том, в какой степени педагоги смогут интегрировать цифровые технологии в образовательную деятельность [25].

3.2. ИТ в инженерном образовании

Для понимания тенденций развития обучения инженеров ИТ-дисциплинам рассмотрим результаты сравнительного анализа научных статей, посвященных инженерному образованию. Для исследования использовались источники из базы данных научных статей и публикаций *Scopus* и программное обеспечение *VOSviewer*, которое применялось для анализа и визуализации библиометрических данных.

Была проведена выгрузка библиографических данных *статей по инженерному образованию*. Полученные результаты загрузили в систему *VOSviewer*, которая, используя алгоритм кластеризации, сгруппировала статьи по похожим темам и сформировала кластеры. Данные визуализированы в виде карты, которая показывает кластеры статей, связанные друг с другом на основе ключевых слов и алгоритма кластеризации.

Проанализировав кластеры, мы получили наглядное представление о научной литературе по инженерному образованию. Это позволило выявить:

- ключевые темы и тенденции;
- соотношение между различными темами;
- направления дальнейших исследований.

Для выявления глобальных тенденций выборка статей проводилась по различным временным интервалам. Ниже представлены карта за 2014–2016 годы (рис. 1) и карта за 2020–2022 годы (рис. 2). Обе карты можно рассмотреть подробнее в приложении к данной статье на сайте ИНФО: https://infojournal.ru/journals/info/info_04-2023/

Кластер «инженерное образование» включает в себя следующие понятия:

- «электронное обучение» (*англ.* e-learning, Electronic Learning);
- «образовательные технологии»;
- «мобильное обучение»;
- «цифровые девайсы».

Они имеют непосредственное отношение к обучению. Речь идет об эффективном использовании современных технологий для улучшения образовательного процесса и обучения студентов.

Понятия «программная инженерия», «компьютеры», «компьютерное образование» выделены в другой кластер — **кластер программной инженерии и компьютеров**. Они являются более специальными и связаны с разработкой программного обеспечения, аппаратными средствами и компьютерной наукой. Хотя они также имеют отношение к образованию в области инженерии, но все же фокусируются на более узкой области знаний и навыков.

Следовательно, оба кластера понятий имеют прямое отношение к инженерному образованию, но сконцентрированы на разных аспектах. *Кластер инженерного образования* — на современных технологиях и методах, которые могут быть использованы для улучшения процесса обучения, а *кластер программной инженерии и компьютеров* — на разработке программного обеспечения, аппаратных средств и компьютерных систем, которые непосредственно используются в инженерной деятельности.

С 2014 по 2016 годы мы видим *разделение тем и понятий на разные кластеры, но их взаимосвязь ярко выражена, что позволяет заметить наличие исследований в направлении организации взаимодействия ИТ и подготовки инженеров*.

Если рассматривать такой же трехлетний период, но со сдвигом на шесть лет позже — с 2020 по 2022 годы, то **кластер «инженерное образование»** уже включает в себя следующие понятия:

- «искусственный интеллект» (*англ.* Artificial Intelligence, AI);
- «большие данные» (*англ.* Big Data);
- «Индустрия 4.0» (*англ.* Industry 4.0);
- «интернет вещей» (*англ.* Internet of Things, IoT);
- «машинное обучение» (*англ.* Machine Learning);
- «информационный менеджмент» (*англ.* Information Management).

Значит, вектор направления исследований в области инженерного образования с 2016 года претерпел существенные изменения. За последние три года применение ИТ в инженерном образовании существенно активизировалось.

Отношения между вышеперечисленными понятиями в рамках кластера «инженерное образование» можно интерпретировать, например, как связи между концепциями в области инженерии, искусственного интеллекта, технологии и образования.

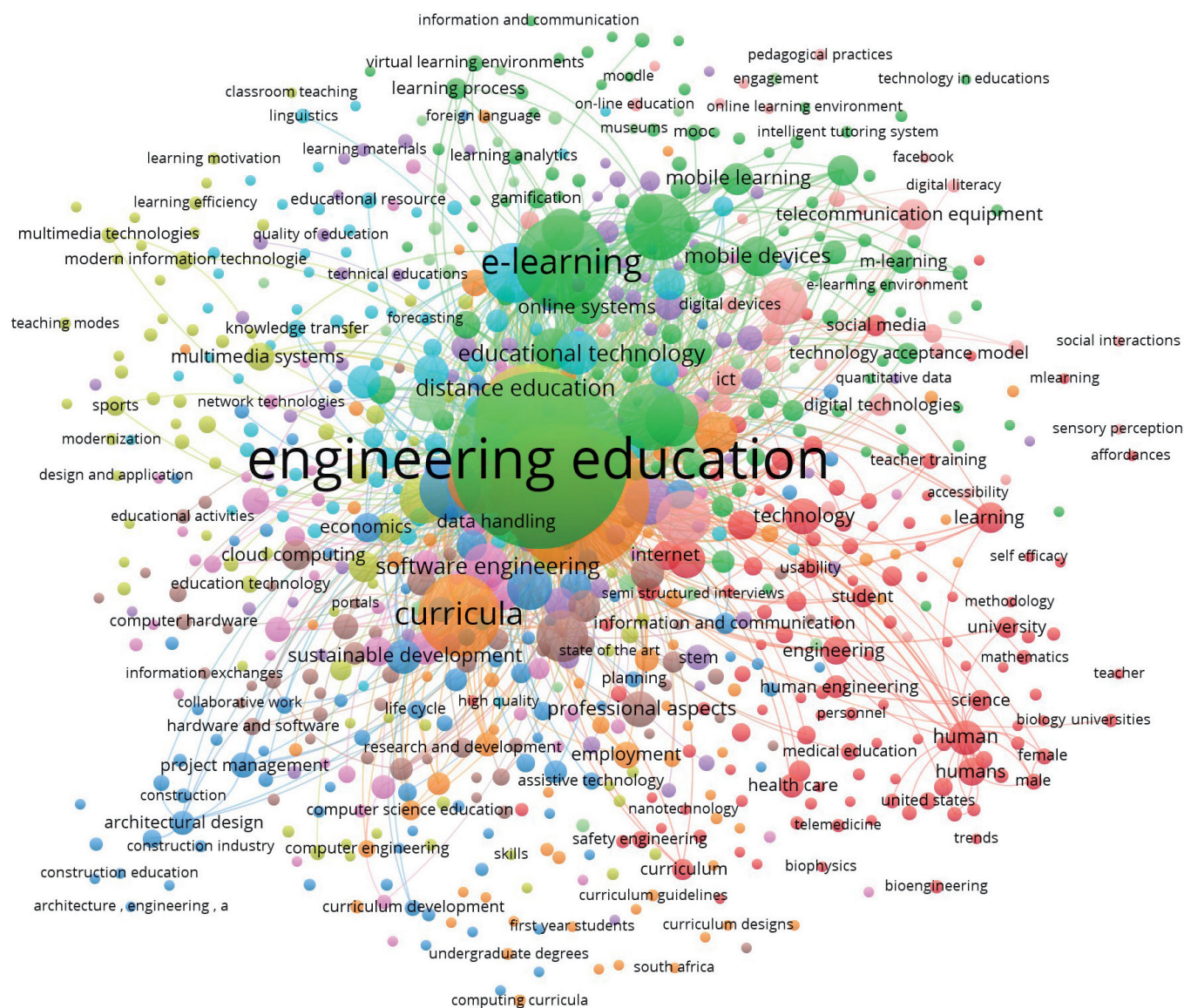


Рис. 1. Карта за 2014–2016 годы

Fig. 1. Map for 2014–2016

В результате *кластер «инженерное образование»* к 2023 году представляет собой *симбиоз преподавания и изучения инженерных принципов*, с одной стороны, и *практик и понятий искусственного интеллекта*, с другой стороны, *что подразумевает разработку и применение алгоритмов и систем, которые могут имитировать процессы принятия решений и интеллектуальную деятельность человека.*

Понятие «большие данные», например, относится к сбору, обработке и анализу больших и сложных наборов данных с целью выявления закономерностей и инсайтов, которые могут обуславливать принятие решений. Понятие «Индустрия 4.0» относится к четвертой промышленной революции, которая характеризуется интеграцией киберфизических систем, интернета вещей и аналитики больших данных с промышленными процессами. «Машинное обуче-

ние» является подмножеством ИИ и включает в себя разработку и применение алгоритмов, которые могут учиться на данных и на основе этих данных делать прогнозы или принимать решения. «Информационный менеджмент» включает в себя процессы сбора, хранения, обработки и распространения информации с целью поддержания бизнес-процессов и принятия решений.

Исследование показывает, что на данном этапе развития цифровизации в мире инженерам необходимо четкое понимание этих концепций и техник, а значит их изучение должно стать важнейшей частью инженерного образования. Инженерам необходимо уметь применять эти знания и навыки в своей работе, чтобы разрабатывать и реализовывать инновационные технологии и системы, которые могут повышать производительность и эффективность в различных отраслях и областях экономики.

программы для обучения проектированию сети теплообменников [28], термодинамике [29, 30] и управлению технологическими процессами [31, 32]. В статье S. Koolmanojwong и B. Boehm «Educating software engineers to become systems engineers» [33] описывается опыт разработки и развития учебной программы по программной инженерии для непрограммистов.

В России практическая реализация активной цифровизации инженерного образования началась с сентября 2022 года. В 115 российских университетах были созданы «цифровые кафедры» в рамках федерального проекта «Развитие кадрового потенциала ИТ-отрасли»*. Проект «Цифровые кафедры» направлен на формирование цифровых компетенций у студентов различных специальностей. Предполагается, что студенты, например, инженерных специальностей смогут получить дополнительное образование в области информационных технологий. Заместитель председателя правительства Российской Федерации по вопросам цифровой экономики и инновациям Д. Н. Чернышенко отметил: «Получить дополнительную квалификацию в области ИТ смогут более 80 тысяч молодых людей. Каждый вуз ведет разработку образовательных программ дополнительной профессиональной переподготовки»**.

Таким образом, данное направление развивается и получает практическую реализацию. Однако в процессе преподавания программирования для инженеров возникают два важных вопроса:

1. Получают ли студенты достаточные цифровые навыки для решения задач в предметной инженерной области, или они просто привыкают к синтаксису определенного языка программирования на первых курсах образовательной программы?
2. После того, как студенты изучили специальные предметы в рамках своей специализации, не столкнулись ли они с проблемами при получения продвинутого навыков программирования в своей предметной области из-за перерыва в изучении и применении ИТ?

Ответы на эти вопросы лежат в практической плоскости реализации образовательных программ. Например, изучение базового программирования на первом курсе может быть дополнено освоением усложненного программирования для старших курсов (по выбору). На старших курсах студенту может быть дана возможность предложить свои собственные цифровые решения проблем предметной области. Мы считаем, что полноценный подход в обучении программированию предполагает постепенную детализацию знаний на протяжении всего периода обучения. Если на первом курсе стартовать с базовой общей части, то уже начиная со второго курса необходимо продвинутое обучение и постепенная

интеграция программирования с предметами специализации.

Мы считаем, что ознакомление студентов с современными и передовыми инструментами программирования может открыть новые возможности для тех, кто уже имеет или хочет иметь навыки программирования. Кроме того, изучение программирования обычно требует самостоятельного решения проблем, систематического мышления, навыков планирования и творчества. Таким образом, программирование играет важную роль в формировании инженерного образования, не только позволяя решать технические задачи, но и формируя те компетенции, которые действительно необходимы молодому специалисту.

5. Заключение

Очевидно, что обучение инженеров информационным технологиям вызывает большой теоретический и практический интерес. В данной статье проведен выборочный обзор литературы по обучению инженеров информационным технологиям. Акцентируется внимание на различных существующих подходах в области обучения программированию, но подчеркивается, что многое еще предстоит реализовать. Очевидно, что современные цифровые технологии могут кардинально изменить технологию преподавания и обучения в области ИТ. Это означает, что прежде всего требуется разработка новой теории образования, учитывающей перспективы тотальной цифровизации всех процессов в экономике. При этом также необходимо продолжить активное изучение связей между цифровыми компетенциями и образованием, чтобы лучше применять цифровые методы обучения. Несмотря на большое количество статей, цифровизация образования нуждается в еще более глубоком изучении, так как новые модели преподавания ИТ у инженеров должны быть связаны с решением практических задач по соответствующей специальности.

В процессе подготовки данной статьи у многих наших университетских коллег возникал вполне резонный вопрос: может ли трансформация обучения по ИТ-дисциплинам дать дополнительный мультипликативный эффект при соответствующем изменении образовательных программ по математике, физике, теоретической механике, сопротивлению материалов, теории устойчивости и другим курсам инженерной подготовки? И смогут ли в этом случае выпускники специалитета и магистратуры технических университетов сразу же включиться в креативную работу в рамках цифровой экосистемы ведущих производственных предприятий? Авторы попытаются в следующих публикациях начать обсуждение этой актуальной для экономики всей страны проблемы.

Список источников / References

1. 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. EDN: LMWOIT. DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-5-15-23

* Направление «Развитие кадрового потенциала ИТ-отрасли». <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/1085/>

** Свыше 80 тысяч студентов получают дополнительную ИТ-квалификацию. *Regnum*. 20 мая 2022 года. <https://regnum.ru/news/3596396>

2. Vostroknutov I., Grigoriev S., Surot L. Modern challenges of humanity and the search for a new paradigm of education. *Proc. 4th Int. Conf. on Informatization of Education and E-learning Methodology: Digital Technologies in Education (IEELM-DTE 2020)*. Krasnoyarsk, 2020;2770:49–54. EDN: QRXNZM. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2770/paper7.pdf>
3. Sabitov R., Smirnova G., Sabitov S., Elizarova N., Korobkova E. Planning, building and development distributed integrated blended education ecosystem at different levels. *Proc. 4th Int. Conf. on Informatization of Education and E-learning Methodology: Digital Technologies in Education (IEELM-DTE 2020)*. Krasnoyarsk, 2020;2770:79–86. EDN: KIYFBN. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2770/paper11.pdf>
4. Сабитов Р. А., Смирнова Г. С., Елизарова Н. Ю., Коробкова Е. А., Сабитов Ш. Р., Сиразетдинов Б. Р. Концепция интегрированной университетской подготовки по техническим специальностям в условиях цифровой трансформации. *Информатика и образование*. 2018;(10):20–28. EDN: YQVPXV. DOI: 10.32517/0234-0453-2018-33-10-20-28
- [Sabitov R. A., Smirnova G. S., Elizarova N. U., Korobkova E. A., Sabitov Sh. R., Sirazetdinov B. R. The concept of integrated university training in technical specialties in the context of digital transformation. *Informatics and Education*. 2018;(10):20–28. (In Russian.) EDN: YQVPXV. DOI: 10.32517/0234-0453-2018-33-10-20-28]
5. Савичева И. А. Современные теории обучения. *ЦИТИСЭ*. 2019;(3):1–15. EDN: TWWOIX
- [Savicheva I. A. Contemporary theories of learning. *CITISE*. 2019;(3):1–15. (In Russian.) EDN: TWWOIX]
6. Фасоля А. А., Гузеев М. С., Уварина Н. В. Особенности организации образовательного процесса в контексте конструктивистской концепции обучения. *Современная высшая школа: инновационный аспект*. 2021;13(1):86–92. EDN: WKUNFR. DOI: 10.7442/2071-9620-2021-13-1-86-92
- [Fasolya A. A., Guzeev M. S., Uvarina N. V. Features of the organization of the educational process in the context of the constructivist concept of learning. *Contemporary Higher Education: Innovative Aspects*. 2021;13(1):86–92. (In Russian.) EDN: WKUNFR. DOI: 10.7442/2071-9620-2021-13-1-86-92]
7. Prince M. J., Felder R. M. Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *The Journal of Engineering Education*. 2006;95(2):123–138. DOI: 10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x
8. Garzón J., Kinshuk, Baldiris S., Gutiérrez J., Pavón J. How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*. 2020;31(3):1–19. DOI: 10.1016/j.edurev.2020.100334
9. Schunk D. H. Learning theories: An educational perspective. Boston, Pearson; 2012. 561 p.
10. Vygotsky L. S. Mind in society: Development of higher psychological processes. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press; 1978. 159 p.
11. Hein G. Constructivist learning theory. *CECA (International Committee of Museum Educators) Conference*. Jerusalem, Israel; 1991:1–10. Available at: <https://www.exploratorium.edu/IFI/resources/constructivistlearning.html>
12. Moreno L., González C., Castilla I., González E., Sigut J. Applying a constructivist and collaborative methodology approach in engineering education. *Computers & Education*. 2007;49(3):891–915. DOI: 10.1016/j.compedu.2005.12.004
13. Sweller J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*. 1988;12(2):257–285. DOI: 10.1016/0364-0213(88)90023-7
14. Yilmaz K. Constructivism: Its theoretical underpinnings, variations, and implications for classroom instruction. *Educational Horizons*. 2008;86(3):161–172. Available at: <https://www.jstor.org/stable/42923724>
15. Siemens G. Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*. 2005;(1):1–9. Available at: https://www.itdl.org/Journal/Jan_05/article01.htm
16. Siemens G. Knowing knowledge. 2006. 176 p. Available at: https://amysmooc.files.wordpress.com/2013/01/knownknowledge_lowres-1.pdf
17. Кривчанская А. В., Шпакова А. Е. Будущее профессий в Индустрии 4.0. *Социально-психологические, управленческие и маркетинговые направления развития цифровой экономики. Сборник материалов международных научно-практических конференций по проблемам социальной психологии, управления персоналом, менеджмента и маркетинга*. Москва: ООО «СВИВТ»; 2018;2:22–37. EDN: YGHDOR
- [Krivchanskaya A. V., Shpakova A. E. The future of professions in Industry 4.0. *Socio-Psychological, Managerial and Marketing Directions of Digital Economy Development. Proc. of Int. Scientific and Practical Conferences on the Problems of Social Psychology, Personnel Management, Management and Marketing*. Moscow, SVIVT LLC; 2018;2:22–37. (In Russian.) EDN: YGHDOR]
18. Абрамова О. А. Профессии будущего: какие компетенции будут необходимы сотрудникам? *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2017;(11):102–105. EDN: ZWJLJLX
- [Abramova O. A. Professions of the future: What competencies will be needed for employees? *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2017;(11):102–105. (In Russian.) EDN: ZWJLJLX]
19. Abrami Ph. C., Bernard R. M., Borokhovski E., Wade C. A., Surkes M. A., Tamim R., Zhang D. Instructional interventions affecting critical thinking skills and dispositions: A stage 1 meta-analysis. *Review of Educational Research*. 2008;78(4):1102–1134. DOI: 10.3102/0034654308326084
20. Abrami Ph., Bernard R., Borokhovski E., Wadlington D. I., Wade C. A., Persson T. Strategies for teaching students to think critically: A meta-analysis. *Review of Educational Research*. 2015;85(2):275–314. DOI: 10.3102/0034654314551063
21. Dahl A. J., Peltier J. W., Schibrowsky J. A. Critical thinking and reflective learning in the marketing education literature: A historical perspective and future research needs. *Journal of Marketing Education*. 2018;40(2):101–116. DOI: 10.1177/0273475317752452
22. Flórez F. B., Casallas R., Hernández M., Reyes A., Restrepo S., Danies G. Changing a generation's way of thinking: Teaching computational thinking through programming. *Review of Educational Research*. 2017;87(4):834–860. DOI: 10.3102/0034654317710096
23. Olszewski B., Crompton H. Educational technology conditions to support the development of digital age skills. *Computers & Education*. 2020;150(C):103849. DOI: 10.1016/j.compedu.2020.103849
24. Sabitov R. A., Smirnova G. S., Sirazetdinov B. R., Elizarova N. U., 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. EDN: XMOIPW
25. 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
- [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 Educa-*

tion. 2022;37(6):5–11. (In Russian.) EDN: PCQODC. DOI: 10.32517/0234-0453-2022-37-6-5-11]

26. Cartaxo S.J.M., Silvino P.F.G., Fernandes F.A.N. Transient analysis of shell-and-tube heat exchangers using an educational software. *Education for Chemical Engineers*. 2014;9(3):e77–e84. DOI: 10.1016/j.ece.2014.05.001

27. Dos Santos M. T., Vianna Jr. A. S., Carillo Le Roux G. A. Programming skills in the industry 4.0: Are chemical engineering students able to face new problems? *Education for Chemical Engineers*. 2018;22(1):69–76. DOI: 10.1016/j.ece.2018.01.002

28. Martín Á., Mato F. A. Hint: An educational software for heat exchanger network design with the pinch method. *Education for Chemical Engineers*. 2008;3(1):e6–e14. DOI: 10.1016/j.ece.2007.08.001

29. Castier M., Amer M. M. XSEOS: An evolving tool for teaching chemical engineering thermodynamics. *Education for Chemical Engineers*. 2011;6(2):e62–e70. DOI: 10.1016/j.ece.2010.12.002

30. Martín Á., Bermejo M. D., Mato F. A., Cocero M. J. Teaching advanced equations of state in applied thermodynamics courses using open source programs. *Education for Chemical Engineers*. 2011;6(4):e114–e121. DOI: 10.1016/j.ece.2011.08.003

31. Rahman N. A., Hussain M. A., Jahim J. M., Kamaruddin S. K., Sheikh Abdullah S. R., Kamaruddin M. Z. F. Integrating computer applications into undergraduate courses: Process control and utility design. *Education for Chemical Engineers*. 2013;8(2):e45–e57. DOI: 10.1016/j.ece.2013.02.003

32. Ospino J., Sánchez M. E., Secchi A. R. Implementation of a block-oriented model library for undergraduate process control courses in EMSO simulator. *Education for Chemical Engineers*. 2017;18(1):45–57. DOI: 10.1016/j.ece.2016.08.002

33. Koolmanojwong S., Boehm B. Educating software engineers to become systems engineers. *Proc. 24th Conf. Software Engineering Education and Training (CSEET)*. Honolulu, HI, USA, 2011:209–218. DOI: 10.1109/CSEET.2011.5876089

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, 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, 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

Кутдусов Айдар Алмазович, студент 4-го курса направления «Прикладная информатика», профиль «Прикладная информатика в экономике», Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Республика Татарстан, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5829-1815>; e-mail: aydar2k@mail.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 (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, a 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 Administrative Support Group of the Project Management Office, Private Institution for the Digitalization of the Nuclear Industry “Cifrum”, Moscow, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1931-1864>; e-mail: Ivansgrigoriev@yandex.ru

Aydar A. Kutdusov, a 4th year student of the education program “Applied Informatics”, profile “Applied Informatics in Economics”, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan, The Republic of Tatarstan, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5829-1815>; e-mail: aydar2k@mail.ru

Поступила в редакцию / Received: 13.03.23.

Поступила после рецензирования / Revised: 19.05.23.

Принята к печати / Accepted: 23.05.23.