

Инженерное образование в эпоху индустриальной революции и цифровой экономики

Чучалин Александр Иванович – д-р техн. наук, проф. E-mail: chai@tpu.ru, chai@kubstu.ru
Томский политехнический университет, Томск, Россия
Адрес: 634050, г. Томск, проспект Ленина, 30
Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия
Адрес: 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2

***Аннотация.** Представлен обзор литературы и других отечественных и зарубежных источников, касающихся современной индустриальной революции и становления цифровой экономики. Актуализированы задачи совершенствования системы образования, в том числе высшего образования и инженерной подготовки. Проанализированы тенденции развития онлайн-технологий в образовании, а также технологии *blended learning*, сочетающей достоинства традиционного и *online*-образования. Отмечены особенности подготовки инженеров и лучшие практики применения технологии *blended learning* в инженерном образовании. Показана необходимость оптимизации технологии *blended learning* за счёт максимального использования преимуществ традиционного и онлайн-образования. Предложена методика использования подхода CDIO применительно к высшим уровням инженерного образования для оптимального проектирования программ бакалавриата, магистратуры и аспирантуры. На конкретных примерах показана возможность цифровой трансформации программ с целью их актуализации и повышения качества подготовки выпускников к комплексной, инновационной и исследовательской инженерной деятельности в современных условиях.*

***Ключевые слова:** индустриальная революция, цифровая экономика, *online*-образование, *blended learning*, инженерное образование, CDIO, оптимизация, модели CDIO-FCDI-FFCD*

***Для цитирования:** Чучалин А.И. Инженерное образование в эпоху индустриальной революции и цифровой экономики // Высшее образование в России. 2018. Т. 27. № 10. С. 47-62. DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2018-27-10-47-62>*

Введение

Современное состояние и тенденции развития производства в последнее время часто называют четвёртой индустриальной революцией [1]. Считается, что она развивается на основе результатов третьей (цифровой) революции, которая произошла в середине XX века и определялась стремительным развитием электроники, информационных технологий и автоматизации производства. Современная индустриальная революция характеризуется конвергенцией физических и биологических технологий с цифровыми технологиями, а также технических, экономических и социальных культур. Размываются границы между ними, за счёт их взаи-

мопроникновения достигаются синергичные эффекты.

Новая революция, по сути, является технологической. Её отличают скорость, масштабность и системность, объём новых знаний растёт экспоненциально, сокращается время превращения знаний в инновации. Производство роботизируется, индивидуализируется, децентрализуется и перемещается к конечным потребителям. Совершенствуется система разделения труда, в том числе в инженерной профессии. В условиях глобализации развиваются сетевые технологии, формируется сетевое общество. Человек учится измерять и моделировать реальный мир, протекающие в нём физические,

биологические, социальные и бизнес-процессы. Происходит становление цифровой экономики [2; 3].

Основными факторами, связанными с цифровыми технологиями, существенно меняющими нашу жизнь, являются: создание киберфизических систем (CPS), развитие систем искусственного интеллекта (AI) и виртуальной реальности (VR), мобильной связи и интернета вещей (IoT), аддитивных технологий с применением 3D-принтеров, нано- и биотехнологий, создание новых материалов, источников и накопителей энергии, квантовых компьютеров, систем анализа больших данных (Big Data) и др. [1]. Технологические инновации сопровождаются изменениями во всех сферах человеческой деятельности.

Новые реалии жизни общества в условиях цифровой экономики определяют новые требования к компетенциям людей, в первую очередь – к профессиональным компетенциям работников, а также ставят новые задачи для системы образования, в том числе высшего [4–8]. Революционное развитие технологий в приоритетном порядке диктует необходимость актуализации высшего инженерного образования [9–13]. Для успешной работы в условиях изменений, неопределённости, сложности и неоднозначности (*VUCA – Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity*) современному инженеру необходимы фундаментальные знания, междисциплинарное, критическое и системное мышление, воображение и творческая инициатива, способность решать неструктурированные задачи, навыки коммуникаций и сотрудничества, профессиональная мобильность и способность быстрой адаптации к новым условиям [10].

Цифровые технологии в образовании

Для приведения системы образования в соответствие с требованиями цифровой экономики необходимо понять, как человек будет жить в цифровую эпоху, какую роль будут играть его навыки, какие навыки потребуются и как их сформировать. Эксперты

указывают на важность приобретения в первую очередь общих информационно-коммуникационных технологических (ICT) навыков и профессиональных ICT-компетенций (работа с компьютерным программным обеспечением, веб-приложениями, использование облачных технологий, систем анализа больших данных и др.), а также комплементарных ICT-навыков (использование социальных сетей, платформ e-коммерции, систем бизнес-планирования и др.) [4].

Работникам потребуются умения быстро и качественно обрабатывать и анализировать информацию для принятия решений в условиях неопределённости. Поскольку в ближайшем будущем ожидается появление новых профессий и рабочих мест, работникам придётся приобретать новые знания и навыки, делать это оперативно (пока они актуальны) с учётом возможных изменений в будущем. Эксперты обращают особое внимание на необходимость формирования когнитивных и системных способностей у обучающихся на всех уровнях образования, а также развития их личностных качеств, навыков общения и управления собственным поведением. Возникает новый тип обучающихся, самостоятельно формирующих свою образовательную траекторию, нацеленных на самообразование и саморазвитие. Эксперты считают, что будущее – за персонализацией образовательного процесса и академической свободой обучающихся в выборе содержания, форм, методов, места и времени обучения [4; 5].

В условиях современной индустриальной революции и цифровой экономики неизбежна «цифровизация» (*digitalization*) системы образования, в том числе высшего, развитие дистанционного обучения (*distance learning*) с применением электронных образовательных ресурсов (*e-learning*) и онлайн-технологий [5–7; 10; 11; 13]. Внедрение технологий *e-learning* началось в 1990-х годах с «оцифровки» учебных материалов. Это был действительно революционный шаг в будущее образования. Американский психолог русского происхождения Бернард

Лускин (Bernard J. Luskin), один из пионеров e-learning, предложил интерпретировать приставку «е» (*electronic* – электронный) также как «*exciting*» (возбуждающий), «*energetic*» (энергичный), «*enthusiastic*» (восторженный), «*emotional*» (волнующий), «*extended*» (расширенный) [14]. В XXI в. дистанционное обучение с использованием электронных образовательных ресурсов и online-технологий стало весьма популярным.

Вопросам применения e-learning и online-технологий в образовании, в том числе в высшем, сравнительному анализу их достоинств и недостатков по отношению к классическому (*on-site, on-campus, face-to-face*) университетскому образованию посвящено много исследований в отечественной и зарубежной литературе [6; 9; 15; 16]. В качестве основных преимуществ классического обучения студентов в университетском кампусе (*on-campus*) отмечается возможность гармоничного сочетания образования и подготовки студента к профессиональной деятельности (формирования компетенций), его социализации (приобретения опыта общения в коллективе) при непосредственном (*face-to-face*) контакте с преподавателями и другими студентами в классе, а также участие студента в спортивных, культурных и других внеклассных мероприятиях, способствующих формированию всесторонне развитой личности. При использовании технологий дистанционного обучения такое сочетание практически невозможно. В то же время дистанционные технологии являются более гибкими. Студент в большинстве случаев может сам выбирать себе удобный темп и ритм обучения, а также вариант освоения образовательной онлайн-программы. При этом ему требуются особая мотивация и ответственность. Студент воспитывает в себе самодисциплину, более строгую и устойчивую, нежели это достигается при обучении в университетском кампусе, где большинство занятий регламентированы расписанием [17; 18].

Онлайн-обучение с использованием сети Интернет имеет большие возможности с

точки зрения привлечения мировых информационных ресурсов и может быть значительно богаче по содержанию, чем классическое. Разработка и создание электронных учебных материалов для *distance learning* (видео- и аудиоматериалов, интерактивных e-учебников, VR-обучающих программ и тренажеров и др.) требуют значительных затрат. При этом реализация онлайн-образования, как правило, дешевле традиционного [16]. Многие эксперты утверждают, что его результаты не уступают результатам обучения в университетском кампусе. Другие более сдержанны в оценках возможностей онлайн-технологий. Они считают, что не все дисциплины могут быть реализованы в виде онлайн-курсов. Однако энтузиасты e-learning утверждают, что для обучения с использованием Интернета в условиях цифровой экономики ограничений не существует [6; 8; 19–21].

Исследования, проведенные в университетах 11 стран, расположенных на пяти континентах, показали, что 50% преподавателей и студентов считают, что к 2025 г. традиционная университетская модель перестанет существовать и будет создана новая, цифровая модель высшего образования. Уже сейчас более 75% университетов активно занимаются «оцифровкой» своих образовательных ресурсов. Абсолютное большинство (94%) опрошенных университетских руководителей видят основной результат цифровой трансформации учебных материалов в повышении качества подготовки специалистов. Это также соответствует ожиданиям 83% опрошенных студентов [21]. Новая цифровая модель образования, очевидно, будет востребована. По оценкам специалистов, к 2024 г. 90% населения Земли будет доступен Интернет, а к 2033 г. 90% людей во всём мире будут активно пользоваться мобильной связью [8]. Значительные перспективы имеет использование социальных сетей в образовательных целях [9].

К созданию качественных электронных образовательных ресурсов для онлайн- и от-

крытого образования (*open education*) привлекаются все заинтересованные стороны: университеты, государственные структуры, независимые аккредитационные агентства, представители соответствующих отраслей промышленности и бизнес-структур, в особенности ИТ-сектора. Рабочей группой Международного совета по открытому и дистанционному образованию, в которую вошли представители различных заинтересованных сторон, разработаны рекомендации по обеспечению качества онлайн-образования, в том числе принципы актуализации традиционных систем менеджмента качества в вузах с учётом особенностей e-learning и критерии качества открытого образования [20]. Специалисты отмечают, что для организации эффективного онлайн-образования необходимо не только качественно «оцифровать» учебные материалы, но и создать развитую систему сетевых сервисов, обеспечивающих непрерывный мониторинг успеваемости и сохранности контингента студентов, их информационную поддержку, сопровождение всего «жизненного цикла» образовательного процесса, защиту интеллектуальной собственности преподавателей и персональных данных участников образовательного процесса [22]. В этом университетам, как правило, помогают компании, профессионально занимающиеся разработкой и созданием цифровой инфраструктуры организаций [23]. Современный этап развития онлайн-образования связан с созданием массовых открытых онлайн-курсов (*MOOCs*) в различных модификациях [13]. Высшая школа сегодня на пороге создания и массового применения онлайн-технологий на основе *Big Data*, при использовании которых система анализирует большое количество данных об образовательной деятельности обучающихся и предлагает им оптимальный образовательный маршрут.

Инженерное онлайн-образование

Проблемы и дискуссии, связанные с использованием онлайн-технологий и distance

learning в высшей школе весьма актуальны для инженерного образования. Это обусловлено особыми требованиями к материальному обеспечению учебного процесса при подготовке специалистов в области техники и технологий (к использованию реальных приборов, оборудования, материалов и других технических средств) и необходимостью организации работы студентов технических направлений в лабораториях, мастерских, а также в условиях реального производства для приобретения опыта практической инженерной деятельности (*hands-on experience*). Эти требования являются ограничивающими факторами для инженерного онлайн-образования. Тем не менее в США и странах Европы онлайн-технологии активно развиваются и применяются для реализации образовательных программ на всех уровнях инженерного образования [24–27].

Американские университеты предлагают инженерные онлайн-программы на пяти уровнях: *Undergraduate Certificate*, *Associate Degree*, *BSc (BEng)*, *MSc* и *PhD Degree* в области компьютерной техники и информационных технологий, электротехники и энергетики, механики, строительства и др. [24; 25]. Некоторые из них реализуются полностью дистанционно, другие – частично (требуется посещение лабораторий, прохождение практик, публичной защиты диссертаций и др.). Авторитетным американским журналом *US News & World Report* разработана методика рейтинга инженерных онлайн-программ [26]. Качество программ в данном рейтинге на 25% определяется их академической репутацией (по отзывам работодателей), на 25% оценивается эффективностью онлайн-взаимодействия студентов с тьютором и между собой, на 25% зависит от квалификации преподавателей и степени их подготовленности к работе в онлайн-режиме, на 25% определяется качеством сервиса для студентов, в том числе в части информационной поддержки, планировании карьеры и др. Важно заметить, что онлайн-программы в области техники

и технологий в США аккредитуются *ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology)* – мировым лидером в оценке качества инженерного образования по тем же критериям, что и традиционные программы, реализуемые *on-campus* [27].

Популяризацией качественного инженерного онлайн-образования, обеспечиваемого взаимодействием университетов с бизнес-партнёрами, занимается Американское общество инженерного образования *ASEE (American Society for Engineering Education)*. Например, в прошлом году онлайн-курс «Архитектурный и системный инжиниринг», разработанный Массачусетским технологическим институтом (*MIT*) совместно с *Boeing* и *EdX*, получил специально учрежденную *ASEE* награду – *2017 Excellence in Engineering Education Award*. В разработке данной программы на платформе *EdX* приняли участие преподаватели *MIT*, а также сотрудники компаний *Boeing, NASA, IBM, Apple, General Electric, General Motors* и др. [28].

Возвращаясь к проблеме использования лабораторий и мастерских при подготовке инженеров, а также важности приобретения ими навыков практической работы с реальным оборудованием, следует отметить, что при организации онлайн-обучения эта проблема может быть частично решена за счёт использования технологий виртуальной реальности и удалённого доступа к лабораторному оборудованию [29; 30]. Однако большинство исследователей и практиков инженерного образования считают, что для подготовки специалистов в области техники и технологий лучшим вариантом является применение метода смешанного обучения (*BL-blended learning*) с использованием достоинств как современных онлайн-технологий, так и традиционных методов обучения студентов в университетском кампусе, обеспеченном всеми необходимыми материальными ресурсами для *hands-on experience* [10; 31–47].

При проектировании и реализации инженерных программ *BL*-методом существует возможность оптимального сочетания инновационных онлайн- и классических *on-campus*-технологий для достижения синергетического эффекта и реального повышения качества подготовки выпускников к профессиональной деятельности. При этом в зависимости от учебного плана и содержания дисциплин и междисциплинарных курсов могут применяться различные варианты их сочетания. Например, часть дисциплин учебного плана может быть реализована *on-campus*, а другая часть – полностью онлайн с использованием электронных образовательных ресурсов. В других случаях в пределах одной дисциплины часть материала может быть реализована *on-campus*, а другая часть – онлайн. Возможны также различные решения для различных видов занятий. Например, лекции могут читаться онлайн в формате изучения видеоматериалов, а лабораторные, практические и семинарские занятия проводятся непосредственно в аудиториях (*face-to-face*). При этом может использоваться метод «перевернутого класса» (*flipped classroom*), стимулирующий опережающую самостоятельную работу студентов. Возможны другие принципы определения оптимального соотношения онлайн- и *on-campus*-технологий. Главное – максимально использовать достоинства каждой из них [31–35; 47; 48]. Известны примеры успешного применения *BL*-метода при проектировании и реализации инженерных программ в области текстильного производства, механики и строительства [36–40]. В качестве примера лучшей практики создания и реализации совместных инженерных программ *BL*-методом можно отметить деятельность Центра инженерного образования *4TU Centre for Engineering Education* в составе четырёх голландских университетов: *TU Delft, University of Twente, Wageningen University & Research* и *Eindhoven University* [41]. Перспективы применения *BL*-метода связаны с его оптимизацией.

Применение BL-метода и моделей CDIO-FCDI-FFCD

Рассмотрим возможность использования хорошо зарекомендовавшего себя подхода *CDIO* к совершенствованию инженерного образования для проектирования программ с оптимальным сочетанием технологий классического и дистанционного образования. Процесс проектирования образовательных программ, в том числе инженерных, начинается, как правило, с определения целей и планирования результатов обучения по программе в целом, по модулям и по каждой дисциплине (курсу) в отдельности [42]. При использовании BL-метода оцениваются перспективы достижения запланированных результатов обучения с применением традиционных *on-campus*- и онлайн-технологий [43–46]. В условиях становления цифровой экономики и «всеобщей цифровизации» естественно стремление разработчиков к увеличению доли *e-learning* в реализации проектируемых программ. Однако при этом необходимо тщательно изучить и оценить возможность и целесообразность применения той или иной технологии с точки зрения достижения каждого из запланированных результатов обучения.

Как уже отмечалось, планированию компетенций выпускников инженерных программ, соответствующих требованиям нового технологического уклада, уделяется большое внимание в зарубежных и российских университетах [10–12; 33]. Современный системный подход к совершенствованию базового инженерного образования на уровне *BEng* изложен в концепции *CDIO*, а применительно к его более высоким уровням (*MSc* и *PhD*) – в моделях *FCDI* и *FFCD* [49; 50]. Модели *CDIO-FCDI-FFCD* адаптированы к требованиям ФГОС ВО и учитывают особенности подготовки выпускников бакалавриата, магистратуры и аспирантуры к комплексной, инновационной и исследовательской инженерной деятельности в соответствии с требованиями системы разделения труда в инженерной профессии [51]. Ниже

представлена методика применения модели *CDIO-FCDI-FFCD* для проектирования уровневых инженерных программ и определения степени их оптимальной «цифровизации» с целью максимального использования достоинств *on-campus*- и онлайн-технологий обучения. Предполагается, что онлайн-обучение осуществляется исключительно дистанционно с использованием сети Интернет. Применение электронных образовательных ресурсов для поддержки учебного процесса в университетском кампусе (*on-campus*) в данном случае таковым не считается.

Бакалавриат. Программы базового инженерного образования разрабатываются на основе модели *CDIO* для подготовки выпускников к комплексной инженерной деятельности: планированию (*Conceive*), проектированию (*Design*), производству (*Implement*) и применению (*Operate*) технических объектов, процессов и систем. Содержание работы на данных стадиях различно и требует различной подготовки (компетенций выпускников). В зависимости от направленности (профиля) программы её ориентация на *CDIO*-составляющие комплексной инженерной деятельности может быть также различной. Ориентация программы определяется планируемыми результатами обучения, которые оцениваются в кредитах *ECTS* (зачетных единицах). Разработчики программ, как правило, привлекают экспертов – представителей всех заинтересованных сторон – для планирования результатов обучения, которые необходимы для успешной работы выпускника на каждой стадии (*C-D-I-O*) комплексной инженерной деятельности [51].

При проектировании программы с последующей реализацией BL-методом эксперты должны оценить перспективы применения *on-campus*- и онлайн-технологий обучения для достижения результатов освоения программы исходя из их особенностей. В качестве примера на рисунке 1 представлена диаграмма экспертной оценки целесообразности обучения студентов *on-campus* и онлайн

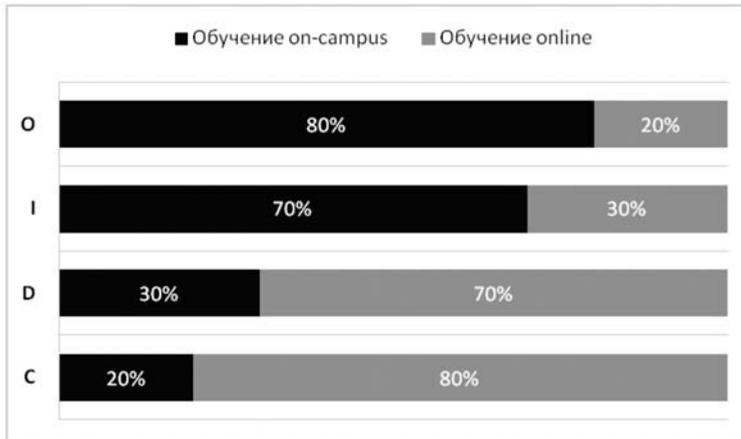


Рис. 1. Оп-сампус- и онлайн-подготовка к CDIO-комплексной инженерной деятельности

с целью достижения соответствующих результатов при формировании компетенций, необходимых для успешной работы на всех (C-D-I-O) стадиях комплексной инженерной деятельности (доли оп-сампус- и онлайн-обучения указаны в процентах).

Из диаграммы на рисунке 1 следует, что для подготовки бакалавров к инженерной деятельности на стадии планирования (C), по экспертным оценкам, онлайн-обучение может достигать 80%. Эксперты обосновывают это тем, что для достижения большинства компетенций, необходимых для изучения запросов потребителей, оценки технологических возможностей и определения стратегии производства, а также для концептуального, технического и бизнес-планирования объектов, процессов и систем, присутствие студентов в университетском кампусе не обязательно. Тем не менее для формирования некоторых компетенций требуется оп-сампус-обучение (до 20%). Напротив, для подготовки бакалавров к инженерной деятельности на стадии применения (O) технических объектов, процессов и систем обучение в университетском кампусе, по мнению экспертов, должно составлять не менее 80%. Это обусловлено необходимостью получения студентами практических навыков управления оборудованием, его об-

служивания, усовершенствования, ремонта и выполнения других эксплуатационных операций. Лишь некоторые знания и умения (до 20%), требуемые для работы на данной стадии, могут быть получены дистанционно. Что касается подготовки бакалавров к успешной деятельности на стадии проектирования (D) технических объектов, процессов и систем (описание проекта, выполнение чертежей, разработка алгоритмов и др.), онлайн-обучение может достигать 70%. А для подготовки бакалавров к их производству (I) потребуется 70% оп-сампус-обучения для освоения студентами современных технологий производства, изучения оборудования и программного обеспечения, испытания и проверки созданных технических объектов, процессов и систем. Это возможно только с использованием современной материальной базы университета и (или) предприятий-партнёров.

С учётом экспертных оценок, приведённых выше, могут быть спроектированы модульная структура и содержание образовательной программы, а также выбраны технологии для реализации каждого модуля с целью наиболее эффективного достижения запланированных результатов обучения и определения оптимального соотношения между оп-сампус- и онлайн-обучением. На

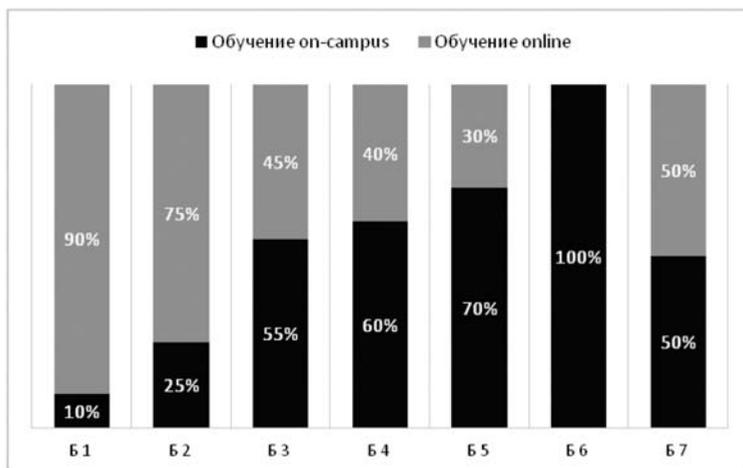


Рис. 2. Распределение on-campus- и онлайн-обучения по модулям программы бакалавриата

рисунке 2 приведена диаграмма, иллюстрирующая эти соотношения применительно к программе бакалавриата, состоящей из семи модулей: Б1 – социально-экономический и гуманитарный модуль (30 ECTS), Б2 – модуль естественных наук и математики (60 ECTS), Б3 – модуль базовых инженерных наук (25 ECTS), Б4 – обязательный профессиональный модуль (26 ECTS), Б5 – вариативный профессиональный модуль (66 ECTS), Б6 – модуль практик (26 ECTS), Б7 – модуль итоговой аттестации (9 ECTS). Для примера взят проект программы подготовки бакалавров (240 ECTS) в Кубанском государственном технологическом университете по направлению 19.03.02 «Продукты питания из растительного сырья» (профиль – технологии жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов) [51].

Как видно из диаграммы на рисунке 2, максимальное использование онлайн-технологий (до 90%) возможно при реализации модуля Б1 (гуманитарные и социально-экономические дисциплины). Далее следует модуль Б2 (естественнонаучные и математические дисциплины), который может быть освоен онлайн на 75%. Напротив, модуль Б6 (практики), по мнению разработчиков программы и экспертов, вообще не может быть реализован

онлайн, а вариативный профессиональный модуль Б5 целесообразно реализовать онлайн лишь на 30%. Что касается модулей Б3 (базовые инженерные дисциплины) и Б4 (обязательные профессиональные дисциплины), то их большую часть рекомендуется изучать в университетском кампусе. Итоговая аттестация студентов (Б7 – выпускная квалификационная работа, её защита и экзамен) может быть организована на 50% в университете и на 50% – дистанционно.

На основе рекомендаций, приведённых выше, могут быть спроектированы все элементы учебного плана (дисциплины, междисциплинарные курсы, практики и др.) в пределах каждого модуля программы с оптимальным соотношением между on-campus- и онлайн-обучением. При этом могут быть выбраны различные варианты распределения технологий как между элементами учебного плана, так и между отдельными частями этих элементов. Главное – максимально использовать преимущества освоения программы в университетском кампусе и дистанционного обучения с использованием электронных ресурсов и сети Интернет для наиболее эффективного достижения запланированных результатов.

Принимая во внимание кредитную оценку запланированных результатов обучения

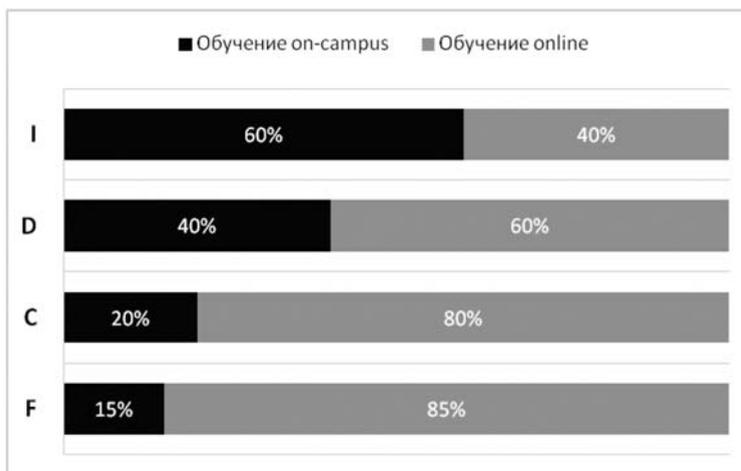


Рис. 3. Он-саampus- и онлайн-подготовка к FCDI-инновационной инженерной деятельности

и оптимальный выбор технологий реализации каждого модуля программы (рис. 2), не представляет труда подсчитать, что за счёт «цифровизации» подготовка бакалавров к комплексной инженерной деятельности, соответствующая концепции CDIO, может быть на 40% реализована онлайн со всеми вытекающими последствиями.

Магистратура. Магистерские программы в области техники и технологий разрабатываются на основе модели FCDI для подготовки выпускников к инновационной инженерной деятельности: прогнозированию (*Forecast*), планированию (*Conceive*), проектированию (*Design*) и производству (*Implement*) технических объектов, процессов и систем [51]. Магистерские программы, как и программы бакалавриата, могут иметь различный профиль, который определяется компетенциями выпускников, необходимыми для успешной работы на FCDI-стадиях инновационной инженерной деятельности. От профиля программы зависит то, насколько программа может быть «оцифрована» и реализована дистанционно.

На рисунке 3 представлена диаграмма экспертной оценки перспектив применения он-саampus- и онлайн-технологий для достижения результатов обучения с целью фор-

мирования компетенций, соответствующих всем (FCDI) стадиям инновационной инженерной деятельности.

Из диаграммы следует, что для подготовки магистров к инженерной деятельности на стадии прогнозирования (F), по экспертным оценкам, онлайн-обучение может достигать 85%. Это объясняется тем, что для получения большинства компетенций, необходимых для анализа рынка и изучения потребностей основных заинтересованных сторон, оценки рисков и неопределённостей, определения наиболее востребованных и конкурентоспособных технических объектов, процессов и систем, присутствие магистрантов в университетском кампусе не обязательно. Аналогично для планирования (C) инновационных разработок (технико-экономический анализ, моделирование, создание ресурсов для проектирования) требуемые компетенции могут быть сформированы в основном дистанционно (до 80%). Необходимые знания и навыки для проектирования (D) инновационной продукции с учётом жёстких технических, экономических, экологических и других ограничений, по мнению экспертов, могут быть на 60% сформированы онлайн. Однако для управления производством (I), включающим технический и технологический контроль,

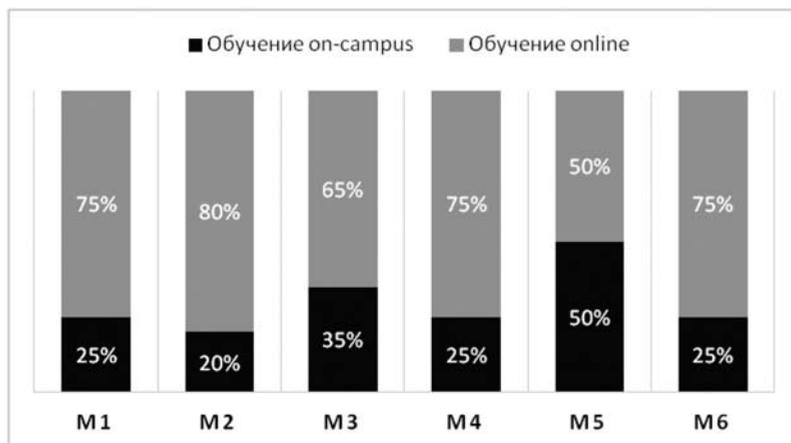


Рис. 4. Распределение on-campus- и онлайн-обучения по модулям магистерской программы

потребуется подготовка в большей части (60%) в университете и на предприятиях-партнёрах.

С учётом приведённых выше экспертных оценок могут быть спроектированы модульная структура магистерской программы и её содержание, выбраны технологии дистанционного и традиционного обучения для реализации каждого модуля. На рисунке 4 приведена диаграмма, иллюстрирующая соотношения между on-campus- и онлайн-обучением применительно к магистерской программе, состоящей из шести модулей: M1 – модуль фундаментальных наук (15 ECTS), M2 – модуль инженерных наук (15 ECTS), M3 – модуль обязательной профессиональной подготовки (20 ECTS), M4 – вариативный модуль (8 ECTS); M5 – модуль научных исследований и практики (53 ECTS); M6 – модуль итоговой аттестации (9 ECTS). В качестве примера использован проект программы подготовки магистров (120 ECTS) в Кубанском государственном технологическом университете по направлению 19.04.02 «Продукты питания из растительного сырья» (профиль – современные направления развития технологий жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов [51].

Как следует из диаграммы на рисунке 4, максимальное использование онлайн-техно-

логий (75–80%) планируется при изучении магистрантами фундаментальных и инженерных наук (M1 и M2), при освоении ими вариативного модуля (M4), а также при организации итоговой аттестации (M6). Профессиональные компетенции магистрантов (M3) на 35% должны быть сформированы в университетском кампусе, а научные исследования и практики потребуют их присутствия on-campus на 50%. На основе данных рекомендаций проектируются все элементы учебного плана в пределах каждого модуля программы. Результаты показали, что подготовка магистрантов к инновационной инженерной деятельности, соответствующей модели FCDI, за счёт оптимального использования онлайн-технологий может на 60% осуществляться дистанционно. Это позволит создать благоприятные условия для индивидуализации обучения и повышения академической мобильности магистрантов, что положительно скажется на качестве их подготовки к профессиональной деятельности в условиях современной динамики развития инновационных технологий.

Аспирантура. Программы подготовки кадров высшей квалификации к исследовательской инженерной деятельности с целью создания научных основ для про-

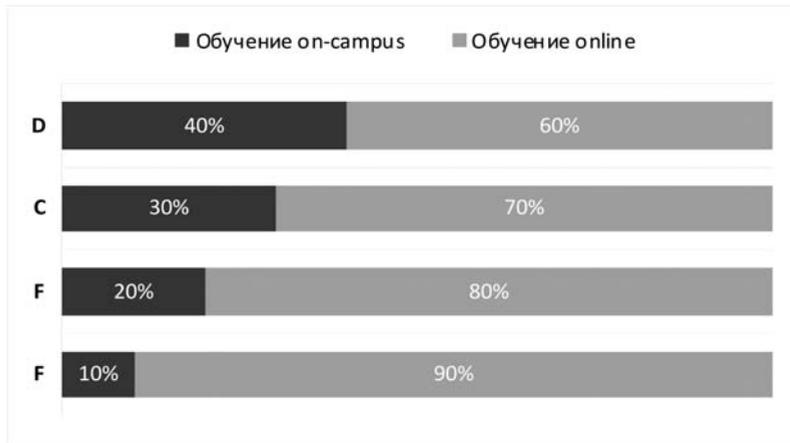


Рис. 5. Он-сампус- и онлайн-подготовка к FFCD-исследовательской инженерной деятельности

ектирования инновационной продукции целесообразно разрабатывать на основе модели FFCD, включающей: предвидение (*Foresight*), прогнозирование (*Forecast*), планирование (*Conceive*) и проектирование (*Design*) технических объектов, процессов и систем. Программы аспирантуры могут быть значительно диверсифицированы в рамках укрупнённых групп направлений подготовки и научных специальностей, а также за их пределами. Профиль программы определяет её приоритеты в части ориентации на FFCD-стадии исследовательской инженерной деятельности. От профиля аспирантуры зависят требования к компетенциям выпускников и, соответственно, возможная доля дистанционной работы аспиранта над освоением программы. На рисунке 5 представлена диаграмма экспертной оценки предпочтительного применения он-сампус- и онлайн-технологий для достижения результатов обучения с целью формирования компетенций, требуемых на FFCD-стадиях исследовательской инженерной деятельности.

Из диаграммы на рисунке 5 следует, что для подготовки к научно-техническому предвидению тенденций развития общества и его потребностей, планированию исследований, технологическому форсайту, анализу «критических» технологий (F) присутствие

аспирантов в университетском кампусе может ограничиться приобретением лишь 10% результатов обучения. Большая часть компетенций может быть сформирована дистанционно. Подготовка к прогнозированию (F) инноваций (управлению знаниями, исследованиям и генерированию новых знаний, критическому анализу научных данных, оценке необходимости разработки наукоёмких технологий) потребует до 20% знаний, умений и опыта, приобретаемых он-сампус. Для планирования (C) инноваций (создания научных основ разработки инновационных технических объектов, процессов и систем, разработки наукоёмких технологий), по экспертным оценкам, необходимы компетенции, которые могут быть на 70% сформированы онлайн. Для участия в проектировании (D) инновационных объектов, процессов и систем (научное сопровождение разработок и проектирования инновационной продукции) от аспирантов потребуются до 40% подготовки пройти в университетском кампусе.

С учётом приведённых экспертных оценок проектируется модульная структура программы аспирантуры, её содержание и технологии реализации каждого модуля. На рисунке 6 приведена диаграмма, иллюстрирующая соотношения между он-сампус- и онлайн-обучением применительно к про-

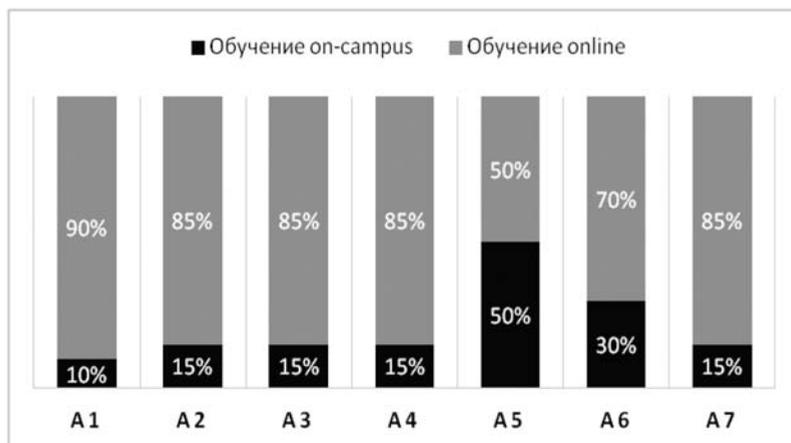


Рис. 6. Распределение on-campus- и онлайн-обучения по модулям программы аспирантуры

грамме, состоящей из семи модулей: A1 – модуль фундаментальных наук (9 ECTS), A2 – модуль инженерных наук (7 ECTS), A3 – модуль обязательной профессиональной подготовки (8 ECTS), A4 – вариативный модуль (6 ECTS); A5 – модуль практики (2 ECTS); A6 – модуль научных исследований (201 ECTS); A7 – модуль итоговой аттестации (9 ECTS). В качестве примера использован проект программы подготовки аспирантов (240 ECTS) в Кубанском государственном технологическом университете по направлению 19.06.01 «Промышленная экология и биотехнология» (профиль – технологии жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов) [51].

Из диаграммы на рисунке 6 следует, что все модули программы аспирантуры, за исключением практик (A7), в большей части (на 70–90%) рекомендуется реализовывать онлайн. Результаты практик, в том числе педагогической, на 50% достигаются в университете или организациях-партнёрах. С учётом рекомендаций проектируются все элементы учебного плана в пределах каждого модуля программы. Результаты, соответствующие приведённой выше кредитной оценке модулей и распределению on-campus- и онлайн-технологий (рис. 6), показали, что подготовка аспирантов к исследовательской

инженерной деятельности, соответствующая модели FFCD, на 70% может производиться дистанционно. Это даст возможность аспирантам гибко выстраивать учебный процесс, активно использовать мировые информационные ресурсы, перемещаться в пространстве во время обучения и проводить исследования не только в своём университете, но и в других ведущих отечественных и зарубежных научных центрах, работать в составе распределённых научных групп, участвовать во всероссийских и международных научных конференциях, общаться с коллегами и обмениваться знаниями. Все это значительно повысит качество результатов научной работы аспирантов и их подготовки к будущей исследовательской деятельности в эпоху индустриальной революции и цифровой экономики.

Заключение

Индустриальная революция и становление цифровой экономики требуют актуализации системы образования, в том числе высшего, в новых условиях. Подготовка инженеров нового поколения нуждается в трансформации в приоритетном порядке. Одной из тенденций совершенствования системы образования является развитие дистанционного обучения с применением онлайн-техно-

логий и электронных образовательных ресурсов. В инженерном образовании, требующем соответствующей материальной базы для практической подготовки выпускников к инженерной деятельности, предпочтительным является метод *blended learning*, сочетающий достоинства традиционного и онлайн-образования. Перспективы VL-метода связаны с его оптимизацией и максимальным использованием достоинств классического и дистанционного образования.

Разработана методика использования моделей CDIO-FCDI-FFCD для проектирования инженерных программ бакалавриата, магистратуры и аспирантуры, направленных на подготовку выпускников VL-методом к комплексной, инновационной и исследовательской инженерной деятельности соответственно. Методика позволяет определить оптимальное соотношение on-campus- и онлайн-технологий при реализации уровневых программ различного профиля в зависимости от планируемых результатов обучения. Показано, например, что подготовка бакалавров на основе концепции CDIO может осуществляться дистанционно на 40%, подготовка магистров (модель FCDI) – на 60%, а подготовка кадров высшей квалификации в аспирантуре (модель FFCD) – на 70%. Значительная доля онлайн-обучения позволит студентам, магистрантам и аспирантам индивидуализировать свои образовательные траектории, повысить академическую мобильность и обеспечить качественную подготовку к профессиональной деятельности в новых условиях.

Литература/References

1. Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum, Geneva, Switzerland, 184 p.
2. Digital Economy: Innovation, Growth and Social Prosperity. OECD Ministerial Meeting. Cancun, Mexico 21–23 June 2016. Available at: <http://www.oecd.org/internet/ministerial/STI-Cancun-2016-ENG.pdf>
3. Цифровая Россия: новая реальность. Digital/McKinsey. ООО «Мак-Кинзи и Компания

СиАйЭс», 2017. 132 с. [Digital Russia: The New Reality. Digital/McKinsey. (2017). McKinsey & Company LLC. 132 p. (In Russ.)]

4. Куприяновский В.П., Сухомлин В.А., Добрынин А.П., Райков А.Н., Шкуров Ф.В., Дрожжинов В.И., Федорова Н.О., Намиот Д.Е. Навыки в цифровой экономике и вызовы системы образования // International Journal of Open Information Technologies. 2017. № 1. С. 19–25. [Kupriyanovsky, V.P., Sukhomlin, V.A., Dobrynin, A.P., Raikov, A.N., Shkurov, F.V., Drozhzhinov, V.I., Fedorova, N.O., Namiot, D.E. (2017). Skills in the Digital Economy and the Challenges for the Education System. *International Journal of Open Information Technologies*. No. 1, pp. 19-25. (In Russ.)]
5. Кондаков А. Образование в эпоху четвёртой промышленной революции // Вести образования. 2017. № 9 (147). [Kondakov, A. (2017). Education in the Era of the Fourth Industrial Revolution. *Vesti obrazovaniya = News of education*. No. 9 (147). (In Russ.)]
6. Алексанков А.М. Четвёртая промышленная революция и модернизация образования: международный опыт // Стратегические приоритеты. 2017. № 1 (13). С. 53–70. [Aleksakov, A.M. (2017). The Fourth Industrial Revolution and the Modernization of Education: International Experience. *Strategicheskie priority = Strategic Priorities*. No. 1 (13), pp. 53–70. (In Russ.)]
7. Reis, J., Amorim, M., Melro, N., Matos, P. (2018). Digital Transformation: A Literature Review and Guidelines for Future Research. Springer International Publishing AG 2018. B. Rocha et al. (Eds.): WorldCIST'18 2018, AISC 745, pp. 1–11.
8. Higher Education in the Era of the Fourth Industrial Revolution. Gleason, Nancy. (Ed.). Springer Nature Singapore Pte. Ltd., 2018. 238 p.
9. Baran, E. (2013). Connect, Participate and Learn: Transforming Pedagogies in Higher Education. *Bulletin of the IEEE Technical Committee on Learning Technology*. Vol. 15. No. 1.
10. Kamp, A. Engineering Education in the Rapidly Changing World. *Rethinking the Vision for Higher Engineering Education*. 2nd Rev. Ed. TU Delft, June 2016.
11. Иванов В.Г., Кайбияйнен А.А., Мифтахутдинова Л.Т. Инженерное образование в цифровом мире // Высшее образование в России. 2017. № 12 (218). С. 136–143. [Ivanov, V.G., Kaybiyaynen, A.A., Miftakhutdinova, L.T.

- (2017). Engineering Education in Digital World. *Vysshee obrazovanie v Rossii* = Higher Education in Russia. No. 12 (218), pp. 136-143. (In Russ., abstract in Eng.)]
12. Александров А.А., Федоров И.Б., Медведев В.Е. Инженерное образование сегодня: проблемы и решения // Высшее образование в России. 2013. № 12. С. 3–8. [Alexandrov, A.A., Fedorov, I.B., Medvedev, V.E. (2013). Engineering Education Today: Problems and Solutions. *Vysshee obrazovanie v Rossii* = Higher Education in Russia. No. 12, pp. 3–8. (In Russ., abstract in Eng.)]
 13. Rauf, A.S., Daud, M.F., Said, M.N.H.B.M. MOOCs in Engineering Education – a literature review. *Proceedings of the Regional Conference in Engineering Education 2016*, Kuala Lumpur, Malaysia.
 14. Luskin, B. (2010). Think “Exciting”: E-Learning and the Big “E”. *EDUCAUSE Review*, March 3. Available at: <https://er.educause.edu/articles/2010/3/think-exciting-elearning-and-the-big-e>
 15. McKeown, K. (2012). Can Online Learning Reproduce the Full College Experience? The Heritage Foundation. Available at: <https://www.heritage.org/education/report/can-online-learning-reproduce-the-full-college-experience>. March 13.
 16. 2014 Comparison of Online vs. Traditional Learning. Available at: <https://potomac.edu/learning/online-learning-vs-traditional-learning/>
 17. Erstad, W. (2017). Online vs. Traditional Education: What You Need to Know. 8/16/2017. Available at: <https://www.rasmussen.edu/student-life/blogs/college-life/online-vs-traditional-education-answer-never-expected/>
 18. Miller, G. (2014). On-Campus vs. Online Degrees: Which One is Better? Available at: <https://www.worldwidelearn.com/education-articles/online-vs-campus.htm>. (Retrieved July 24).
 19. Stewart, W. (2013). Outcome, Not Process, Matters in the On-Campus vs Online Education Debate. 2013/09/19. Available at: <https://evolution.com/opinions/outcome-process-matters-on-campus-vs-online-education-debate/>
 20. Ossiannilsson, E., Williams, K., Camilleri, A.F., Brown, M. (2015). Quality Models in Online and Open Education Around the Globe. State of the Art and Recommendations. International Council for Open and Distance Education. Oslo, Norway. 52 p.
 21. Digital Transformation in Higher Education. Navitas Ventures. Available at: https://www.navitasventures.com/wp-content/uploads/2017/08/HE-Digital-Transformation-Navitas_Ventures_-EN.pdf
 22. Morshed, J. (2017). 5 Ways to Speed up Digital Transformation in Higher Education. *Microsoft in Education*. August 9. Available at: <https://educationblog.microsoft.com/2017/08/tips-digital-transformation-higher-ed/>
 23. Digital Transformation in Higher Education. VMware, Inc. 2017. Available at: <https://www.vmware.com/content/dam/digitalmarketing/vmware/en/pdf/solutions/industry/vmware-digital-transformation-in-higher-education.pdf>
 24. Complete Guide to Best Online Engineering Degrees. Available at: <https://www.guidetoonline-schools.com/degrees/engineering>
 25. Online Studies. Available at: <https://www.onlinestudies.com> (Retrieved July 2018).
 26. Brooks, E., Morse, R. (2018). Methodology: Best Online Engineering Programs Rankings. Jan. 8. Available at: <https://www.usnews.com/education/online-education/articles/engineering-methodology>
 27. Online Programs Accredited by ABET. Available at: <http://www.abet.org/accreditation/new-to-accreditation/online-programs/#online>
 28. Online Program Wins Engineering Education Award. June 30, 2017. Available at: <http://news.mit.edu/2017/mit-boeing-online-architecture-and-systems-engineering-program-receives-award-excellence-engineering-education-0630>
 29. Вешнева И.В., Сингатулин Р.А. Трансформация образования: тенденции, перспективы // Высшее образование в России. 2016. № 2 (198). С. 142–147. [Veshneva, I.V., Singatulin, R.A. (2016). Transformation of the Education System: Reasons, Tendencies, Perspectives. *Vysshee obrazovanie v Rossii* = Higher Education in Russia. No. 2 (198), pp. 142-147. (In Russ., abstract in Eng.)]
 30. Richert, A., Shehadeh, M., Willicks, F., Jeschke, S. (2016). Digital Transformation of Engineering Education – Empirical Insights from Virtual Worlds and Human-Robot-Collaboration. *International Journal of Engineering Pedagogy*. Vol. 6. No. 4.
 31. Захарченко Е.А., Тумакова Н.А. К вопросу о проблемах и перспективах дистанционного инженерного образования // Мо-

- лодой учёный. Педагогика. 2015. № 8 (88). [Zakharchenko, E.A., Tumakova, N.A. (2015). On the Problems and Prospects of Distance Engineering Education. *Molodoi uchyonyi. Pedagogika* = Young Scientist. Pedagogy. No. 8 (88). (In Russ.)]
32. Douglas, K.T., Ionescu, D., Petrolito, J., Mainali, B. (2016). Is Blended Learning the Answer to Enhance Learning of Engineering Students? *Proceedings of International Conference on Engineering Education and Research*, 21–24 November School of Computing, Engineering and Mathematics, Western Sydney University, Sydney, Australia.
33. Graham, R. (2018). *The Global State of the Art in Engineering Education*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA. 163 p.
34. Alammary, A., Sheard, J., Carbone, A. (2014). Blended Learning in Higher Education: Three Different Design Approaches. *Australasian Journal of Educational Technology*. No. 30(4).
35. Brown, M.G. (2015). Mapping the Study of Blended Learning in Engineering Education. *122nd ASEE Annual Conference and Exposition*, June 14–17, 2015, ASEE, Seattle, US.
36. Charitopoulos, A., Vassiliadis, S., Rangoussi, M., Koulouriotis, D. (2017). E-learning and Blended Learning in Textile Engineering Education: A Closed Feedback Loop Approach. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 17th World Textile Conference AUTEX 2017 – *Textiles – Shaping the Future*, 29–31 May 2017 on the island of Corfu, Greece.
37. Harris, J., Park, C. (2016). A Case Study on Blended Learning in Engineering Education. *Proc. of the Canadian Engineering Education Association Conference*, June 19–22, Dalhousie University, Canada.
38. Rahman, A. (2016). A Blended Learning Approach to Teach Fluid Mechanics in Engineering. *European Journal of Engineering Education*. Vol. 42. No. 3, pp. 252–259.
39. Shrestha, S. (2015). Implementation of Blended Learning Strategies in a Core Civil Engineering Subject: An Experience. (Eds: A. Oo, A. Patel, T. Hilditch, S. Chandran). *Proc. 26th Annual Conf. of the Australasian Association for Engineering Education – AAEE 2015*, 6–9 December, Geelong, Australia.
40. Ahrens, A., Zašcerinska, J., Andreeva, N. (2018). Engineering Students' Blended Learning in Higher Education. *Proc. Int. Sci. Conf. "Society. Integration. Education"*, May 25–26. Vol. I. Rezekne Academy of Technology, Latvia.
41. 4TU Centre for Engineering Education. Available at: <https://www.4tu.nl/cee/en/> (Retrieved July 2018).
42. Чучалин А.И. Цели и результаты освоения профессиональных образовательных программ // Высшее образование в России. 2014. № 2. С. 5–16. [Chuchalin, A.I. (2014). Academic Program Objectives and Learning Outcomes. *Vysshee obrazovanie v Rossii* = Higher Education in Russia. No. 2, pp. 5–16. (In Russ., abstract in Eng.)]
43. Леган М.В., Яцевич Т.А. Комбинированная модель обучения студентов на базе системы дистанционного обучения // Высшее образование в России. 2014. №4. С. 136–140. [Legan, M.V., Yatsevich T.A. (2014). Implementation of Blended Learning Model Based on Distance Learning System. *Vysshee obrazovanie v Rossii* = Higher Education in Russia. No. 4, pp. 136–140. (In Russ., abstract in Eng.)]
44. Jones, L.J.N., Chew, E. (2014). Blended Learning in Engineering Education: Curriculum Redesign and Development. In: Tang S., Logonnathan L. (Eds) *Taylor's 7th Teaching and Learning Conference Proceedings*. Springer, Singapore.
45. Liyanapathirana, S., Mirza, O. (2016). Blended Learning in Engineering Education: Students' and Lecturers' Perceptions and Achieving Learning Outcomes (Eds: A. Rahman, V. Ilic) *Proc. Int. Conf. on Engineering Education and Research*, 21–24 November, Western Sydney University, Parramatta Campus, Sydney, Australia.
46. van Puffelen, E.A.M. (2017). Designing Blended Engineering Courses. *Proc. 45th SEFI Annual Conference*, 18–21 September, Azores, Portugal.
47. Айдрус И.А.-З., Асмятуллин Р.Р. Мировой опыт использования технологий дистанционного образования // Высшее образование в России. 2015. № 5. С. 139–145. [Aidrous, I., Asmyatullin, R.R. (2015). World Experience in Usage of Distance Learning Technologies. *Vysshee obrazovanie v Rossii* = Higher Education in Russia. No. 5, pp. 139–145. (In Russ., abstract in Eng.)]
48. Велединская С.Б., Дорофеева М.Ю. Смешанное обучение: технология проектирования учебного процесса // Открытое и дистанционное образование. 2015. № 2. С. 12–19. [Veledinskaya, S.B, Dorofeeva, M.Yu. (2015). Blended Learning: Technology of Designing the

- Educational Process. *Otkrytoe i distantsionnoe obrazovanie* = Open and Distance Education. No. 2, pp. 12-19. (In Russ.)
49. Переосмысление инженерного образования. Подход CDIO / Э.Ф. Кроули, Й. Малмквист, С. Остлунд, Д. Р. Бродер, К. Эдстрем; пер. с англ. С. Рыбушкиной; под науч. ред. А. Чучалина. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2015. 504 с. [Crawley, E., Malmqvist, J., Ostlund, S., Brodeur, D., Edström, K. Rethinking Engineering Education, the CDIO Approach, Second Edition. Springer, 2014].
50. Chuchalin, A. (2018). Evolution of the CDIO approach: BEng, MSc and PhD level. *European Journal of Engineering Education*. Published online: 04 Jan 2018.
51. Чучалин А.И. Модернизация трёхуровневого высшего образования на основе ФГОС 3++ и CDIO ++ // Высшее образование в России. 2018. Т. 27 № 4. С. 22–32. [Chuchalin, A.I. (2018). Modernization of the Three-Cycle Engineering Education Based on FSES 3++ and CDIO++. *Vysshee obrazovanie v Rossii* = Higher Education in Russia. Vol. 27. No. 4, pp. 22-32. (In Russ., abstract in Eng.)]
- Статья поступила в редакцию 31.07.18
Принята к публикации 28.08.18*

Engineering Education in the Epoch of Industrial Revolution and Digital Economy

Alexandr I. Chuchalin – Dr. Sci. (Engineering), Prof., e-mail: chai@tpu.ru, chai@kubstu.ru
Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
Address: 30, Lenin prosp., Tomsk, 634050, Russian Federation
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
Address: 2, bld. A, Moskovskaya str., Krasnodar, 350072, Russian Federation

Abstract. The paper presents a review of literature and other sources of information concerning the fourth industrial revolution and the development of the digital economy. The tasks of improving the education system including higher education and engineering training are actualized. The author analyzes the development of online technologies in education, as well as blended learning, combining the advantages of traditional and online education. The paper dwells on the peculiarities of training engineers and the best practices of applying blended learning in engineering education, shows the need to optimize blended learning by maximizing the benefits of traditional and online education. A technique for using the CDIO approach, further developed for engineering education of the top levels, is proposed for the optimal blended learning design of the Bachelor, Master and PhD programs. The author adduces the concrete examples, which show the possibility of digital transformation of engineering programs with the purpose of their actualization and improving the quality of graduates' training for complex, innovative and research engineering activity.

Keywords: industrial revolution, digital economy, online education, blended learning, engineering education, CDIO, optimization, CDIO-FCDI-FFCD models

Cite as: Chuchalin, A.I. (2018). [Engineering Education in the Epoch of Industrial Revolution and Digital Economy]. *Vysshee obrazovanie v Rossii* = Higher Education in Russia. No. 10, pp. 47-62. (In Russ., abstract in Eng.)

DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2018-27-10-47-62>



Рейтинг репутации вузов по укрупненным направлениям (2018 год)

Место	Название вуза	Рейтинговый функционал
Топ-5 вузов в сфере «технические, естественно-научные направления и точные науки»		
1	Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова	95,67
2	Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)	55,98
3	Московский физико-технический институт (государственный университет)	39,21
4	Санкт-Петербургский государственный университет	32,36
5	Национальный исследовательский Томский политехнический университет	29,04
Топ-5 вузов в сфере «экономика и управление»		
1	Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова	93,42
2	Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»	83,86
3	Санкт-Петербургский государственный университет	36,26
4	Финансовый университет при правительстве РФ	32,06
5	Российская академия народного хозяйства и государственной службы при президенте РФ	29,05
Топ-5 вузов в сфере «технические науки, инжиниринг и технологии»		
1	Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)	84,99
2	Национальный исследовательский Томский политехнический университет	44,13
3	Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого	36,66
4	Московский физико-технический институт (государственный университет)	33,89
5	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»	30,37
Топ-5 вузов в сфере «математика и естественные науки»		
1	Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова	98,96
2	Санкт-Петербургский государственный университет	38,19
3	Московский физико-технический институт (государственный университет)	31,83
4	Новосибирский национальный исследовательский государственный университет	31,68
5	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»	16,26
Топ-5 вузов в сфере «гуманитарные и социальные направления»		
1	Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова	96,56
2	Санкт-Петербургский государственный университет	54,94
3	Московский государственный институт международных отношений (университет) МИД РФ	37,18
4	Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»	36,98
5	Российский государственный гуманитарный университет	16,58
Топ-5 вузов в сфере «медицина»		
1	Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова Министерства здравоохранения РФ	96,92
2	Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова Министерства здравоохранения РФ	49,01
3	Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова Министерства здравоохранения РФ	36,59
4	Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова	26,29
5	Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова Министерства здравоохранения РФ	19,06

Источник: RAEX (РАЭК-Аналитика)