

DOI: 10.18721/JHSS.9407
УДК 378

ГЛОБАЛЬНЫЕ ТRENДЫ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ*

А.И. Боровков¹, В.М. Марусева², Ю.А. Рябов¹, Л.А. Щербина¹

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Мюнхенский технический университет, Мюнхен, Федеративная Республика Германия

Рассмотрены глобальные тренды в инженерном образовании. Основными из них являются повышение требований к знаниям и навыкам, которыми должны обладать современные инженеры, и необходимость преодоления разрыва между фундаментальной подготовкой и практическим применением полученных навыков. Повышение требований, предъявляемых к выпускникам инженерных специальностей, обусловлено растущей сложностью производимой продукции и технологических процессов. Для обеспечения необходимого уровня требуется внесение коррективов в образовательный процесс, в котором практико-ориентированный подход играет значительную роль, являясь связующим звеном между теоретическими дисциплинами и реальными задачами. Для наиболее эффективной реализации этого подхода нужно усиливать кооперацию университетов и промышленных предприятий. В статье приведены примеры инициатив и образовательных программ, реализуемых высшими учебными заведениями в разных странах мира с целью решения данных проблем, повышения качества инженерного образования и лучшей подготовки выпускников к решению реальных производственных задач.

Ключевые слова: инженерное образование; базовая кафедра; инженерный спецназ; STEM; CDIO; BYOD (Bring your own device)

Ссылка при цитировании: Боровков А.И. и др. Глобальные тренды в инженерном образовании // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Гуманитарные и общественные науки. Т. 9, № 4. С. 58–76. DOI: 10.18721/JHSS.9407

GLOBAL TRENDS IN ENGINEERING EDUCATION

A.I. Borovkov¹, V.M. Maruseva², Yu.A. Ryabov¹, L.A. Shcherbina¹

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

² Technical University of Munich, Munich, Federal Republic of Germany

This article examines global trends in engineering education, notably including, firstly, the increasing demand for knowledge and competencies which an engineer should

* Работа публикуется при финансовой поддержке РФФИ (конкурс 2017 г. проектов фундаментальных научных исследований, грант № 17-06-00588/18).

possess in today's world and, secondly, the gap between fundamental theoretical knowledge and practical experience. The first trend is regarded as a result of increasing product and manufacturing complexity. In order to maintain the necessary level of education, considerable changes should be brought to existing educational approaches. The practically oriented approach is supposed to play a significant role in this process and should serve as a bridge between theoretical basis and real tasks. In order to implement this approach in the most efficient way, a joint effort of universities and manufacturing companies is required. The article describes various initiatives and educational programs deployed by different universities around the world to solve the arising problems, increase the quality of education and enable better training, which prepares students for real-world engineering challenges.

Keywords: engineering education; joint department with industry partners; special elite forces in engineering; STEM; CDIO; BYOD (Bring your own device)

Citation: A.I. Borovkov, V.M. Maruseva, Yu.A. Ryabov, L.A. Shcherbina, Global trends in engineering education, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Humanities and Social Sciences, 9 (4) (2018) 58–76. DOI: 10.18721/JHSS.9407

Постоянное повышение запросов потребителей, ужесточение конкуренции способствуют постоянному совершенствованию и вместе с тем постоянному усложнению производимой продукции. Это особенно справедливо для наукоемкого сектора промышленности, в частности для таких отраслей, как автомобиле-, авиа- и ракетостроение, судо- и кораблестроение, атомное и энергетическое машиностроение, оборонно-промышленный комплекс. Неуклонность технического прогресса обязывает инженеров обладать всё более разносторонними знаниями, всё более совершенными навыками, иметь в своем арсенале всё большее количество инструментов. Чтобы добиться успеха в реализации значимых технологических проектов, инженер сегодня должен обладать целым рядом дополнительных компетенций.

Стоит сказать, что в России только около 5 % выпускников обладают компетенциями мирового уровня для проектирования и создания в кратчайшие сроки глобально конкурентоспособной и востребованной продукции нового поколения. Если говорить о структуре российского инженерного образования, то в ней можно выделить три уровня (рис. 1).

Первый уровень – инженеры по эксплуатации высокотехнологичного оборудования (они составляют примерно четвертую часть от общего числа инженеров).

Второй уровень – «традиционные» инженеры: конструкторы, расчетчики, технологи,

программисты, экономисты (это самая многочисленная группа, на нее приходится около 70 % всех выпускаемых инженеров).

Наконец, «верхушка айсберга» – те самые 5 % инженеров нового поколения, «инженерный спецназ», фактически системные инженеры нового поколения, владеющие передовыми наукоемкими мультидисциплинарными и кросс-отраслевыми/кросс-рыночными технологиями, обладающие множеством soft skills и т. д. Самое главное, что «инженерный спецназ» способен работать в принципиально



Рис. 1. Структура инженерного образования в России (источник: Центр НТИ СПбПУ)

Fig. 1. Structure of engineering education in Russia

новой парадигме проектирования и создания глобально конкурентоспособной высокотехнологичной продукции нового поколения в рамках IV промышленной революции. Эти специалисты обладают мировым уровнем компетенций, который, в свою очередь, значительно выше того, что есть в российской высокотехнологичной промышленности [1].

Наиболее уязвимой на данный момент является позиция «традиционных» инженеров: в условиях принципиальной смены парадигмы производства того набора знаний и навыков, которыми они обладают, оказывается недостаточно. Происходит потеря конкурентоспособности, что в силу многочисленности представителей этой группы представляет серьезную проблему. Более того, сложившаяся ситуация осложняется и другими вызовами.

Во-первых, «традиционные» инженеры начинают испытывать конкуренцию со стороны «инженеров по эксплуатации» – высококвалифицированных специалистов сквозных рабочих и инженерных профессий, подготовленных на основе международных стандартов WorldSkills.

Во-вторых, стремительное развитие передовых производственных технологий грозит если не уничтожить, то, по крайней мере, радикально снизить потребность в специалистах как отдельных профессий, так и целых направлений.

Проиллюстрировать данный тренд можно на примере развития компьютерных технологий оптимизации (*Computer-Aided Optimization, CAO*) – математического подхода, основанного на описании пространственной (3D) задачи оптимизации с помощью уравнений в частных производных. Технологии оптимизации позволяют получить дизайн изделия, который максимально близок к оптимальному, т. е. недостижим при помощи интуитивных методов, основанных на уже существующих решениях (например, спроектированных ранее конструкциях, прототипах). Кроме того, такой подход позволяет снизить затраты на изменения первоначального варианта, необходимость в которых выяснилась в ходе испытаний. Раньше технологии оптимизации использовались, как правило, на завершающих стадиях, уже после того, как спроектированная конструкция прошла все испытания, смоделированные на компьютере, а теперь такие технологии применяются еще при разработке концепта. По-

степенно технологии оптимизации и компьютерного моделирования становятся основой, а затем и локомотивом (драйвером) проектирования в промышленности, выражением чего служит парадигма (*Simulation & Optimization*)-*Driven Design*.

Суть этой концепции заключается в том, что проектирование изделия производится на базе первичных инженерных расчетов. Это значительно облегчает дальнейшую работу, которая строится на полученной посредством оптимизации геометрии, могущей служить стартовой площадкой для более эффективного использования методов математического программирования (из-за существенно меньшего числа переменных, конечных элементов и требуемых расчетов целевой функции заметно экономятся финансовые средства и время, снижаются требования к вычислительной мощности компьютеров).

Такой подход значительно сокращает сроки разработки продукта и ощутимо удешевляет этот процесс, позволяя одновременно повысить технико-эксплуатационные характеристики изделия. При этом возрастает роль инженеров-расчетчиков и сокращается потребность в конструкторской работе, так как изначальный дизайн обеспечивает компьютерная оптимизация. Это ведет, в частности, к радикальному изменению соотношения между инженерами-конструкторами и инженерами-расчетчиками, занятыми в отдельно взятом проекте. Если ранее требовался лишь один расчетчик для проверки решений нескольких конструкторов, то теперь, в рамках новой парадигмы проектирования, соотношение изменилось в обратную сторону. Наиболее ярко данный тренд проявляется в высокотехнологичном секторе промышленности, в котором компании-лидеры уже сегодня уходят от традиционной цепочки разработки продукции (см. рис. 2).

Одной из главных проблем при подготовке высококвалифицированных инженеров является разрыв между фундаментальной академической подготовкой и практическими навыками. Чрезмерное углубление в теорию приводит к тому, что выпускники имеют солидную академическую базу, но не умеют применять полученные знания на практике. Более того, профессора, преподающие фундаментальные научные дисциплины, не всегда могут с уверен-

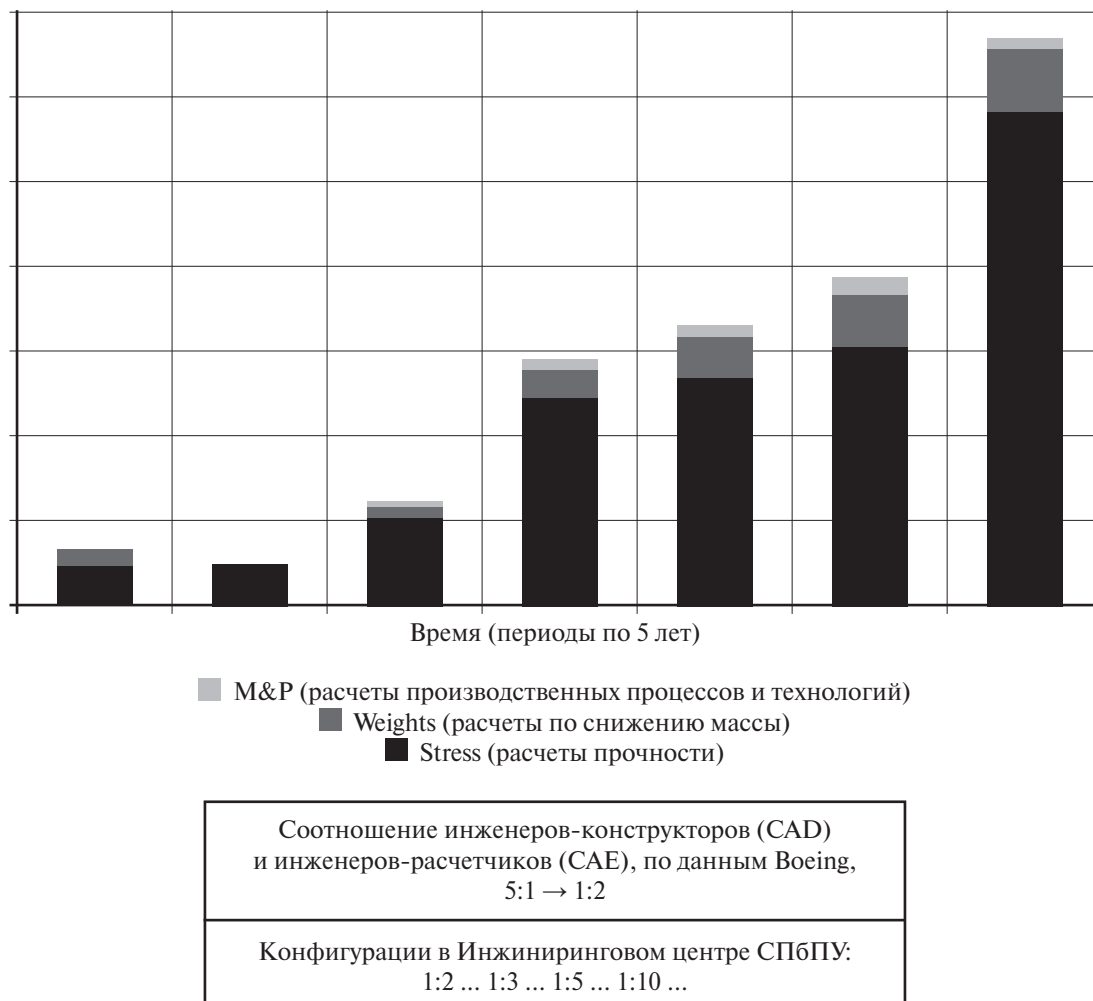


Рис. 2. Временные затраты на расчеты (в часах) на массу планера самолета (в фунтах). Изменение соотношения между инженерами-конструкторами (CAD) и инженерами-расчетчиками (CAE) при реализации проектов [2]

Fig. 2. Non-recurring Analysis Hours / lb of Airframe. Designer to analyst ratio shift

ностью сказать, при выполнении каких инженерных задач получаемые студентами знания могут быть впоследствии применены.

Этот вопрос актуален не только для высшего инженерного образования. На Международной конференции по использованию и развитию технологий МКС 19 июля 2017 г. тему образования затронул глава Tesla и SpaceX Илон Маск, высказав свой взгляд на преподавание в школах таких дисциплин, как физика и математика [3, 4]. По его словам, школьники не всегда понимают, зачем они изучают тот или иной предмет или решают ту или иную задачу, так как преподавание носит отвлеченный характер. Всё это

приводит к тому, что получаемая информация быстро забывается и у школьников отсутствует заинтересованность в предмете. И. Маск считает, что гораздо правильнее было бы изучать преподаваемый материал с разбором конкретных примеров (проектируя спутник, разбирая двигатель и т. п.). Тогда ученики будут иметь представление, для чего могут служить получаемые ими на уроках знания.

Это справедливо не только для школьной программы, но и для высших учебных заведений, причем для вузов даже в большей степени, так как такой подход может помочь сократить столь значимый при подготовке инженеров разрыв

между освоением фундаментальных научных дисциплин и решением практических задач.

Однако при этом существует опасность впасть в другую крайность – уделять слишком большое внимание проектному обучению в ущерб изучению предметов, необходимых для последующего построения прикладных теорий и наукоемких дисциплин. Несмотря на важность практических навыков, фундаментальные теоретические знания являются ключевым элементом подготовки «инженерного спецназа» – системных инженеров нового поколения, владеющих передовыми наукоемкими мультидисциплинарными и кросс-отраслевыми/кросс-рыночными технологиями. Таким образом, можно говорить о том, что баланс между академической подготовкой и развитием практических навыков должен являться основой для обучения будущих высококвалифицированных инженеров.

Одним из основных условий, необходимых для развития практических навыков у будущих специалистов технического профиля, является тесная связь университета с научным сообществом и промышленным сектором, так как только при выполнении этого условия становится возможной подготовка высококвалифицированных инженеров, способных сразу после окончания вуза работать над решением реальных комплексных задач высокотехнологичной промышленности. В связи с тем, что границы между областями знаний постепенно размываются, крайне актуальным становится понятие междисциплинарности, представляющей собой «принцип организации научного знания, открывающий широкие возможности взаимодействия многих дисциплин при решении комплексных проблем природы и общества». Следствием междисциплинарности становятся успехи и прорывы, появляющиеся на «стыках» отдельных дисциплин, сфер деятельности или наук, а также новые научные направления, объединяющие несколько областей знаний: биофизика, бионика, медицинская электроника, геоэкология и мн. др. [5]. В силу перспективности этого тренда междисциплинарность можно рассматривать в качестве ключевого фактора конкурентоспособности как отдельных научно-технических коллективов, так и всего промышленного сектора страны в целом.

При этом сегодня образование высококвалифицированного инженера не исчерпывается приобретением исключительно профильных знаний и навыков. В исследованиях, посвященных современному инженерному образованию, всё чаще звучат тезисы о необходимости развития у специалистов технического профиля так называемых неакадемических навыков (softskills), таких как коммуникативные, лидерские навыки, управление проектами, творческое мышление [6]. Эта тенденция находит отражение в намерениях включить в систему из традиционных четырех STEM-направлений пятый компонент – Arts (искусство), т. е. речь идет уже о STEAM-образовании. Данная идея становится всё более популярной в первую очередь в силу признания важности всестороннего развития будущих инженеров, в том числе формирования креативных навыков, так как творческий подход, способность выйти за рамки традиционной парадигмы и посмотреть на проблему под другим углом необходимы при решении комплексных научно-технических задач [7].

Национальная инженерная академия США в 2004 г. выпустила доклад *The Engineer of 2020*, где описаны компетенции, которыми должен будет обладать инженер в 2020 г. Предполагалось, что «инженер будущего» в том числе должен:

- 1) обладать развитыми аналитическими навыками;
- 2) совмещать практическую смекалку и творческий подход;
- 3) иметь развитые коммуникативные навыки, уметь передавать информацию устно, письменно и визуально с использованием современных цифровых средств связи;
- 4) развивать и использовать деловые, лидерские и управленческие навыки;
- 5) иметь высокие этические стандарты и профессиональный уровень;
- 6) демонстрировать подвижность, открытость, гибкость, способность к быстрой адаптации;
- 7) быть готовым к постоянному повышению квалификации (lifelong learning) [8].

В приведенной ниже таблице указаны требования к компетенциям инженеров и образовательные стандарты в России и США/Канаде.

Немаловажно для повышения качества образования и своевременное внедрение в образовательный процесс инновационных педа-

гогических методик и новых технологий. Считается, что инженерное образование является одним из самых восприимчивых к инновациям. Это логично объясняется тем, что наука, технологии и производство непрерывно развиваются, совершенствуются, а это, в свою очередь, стимулирует развитие инженерного образования и требует от вузов внедрения новых подходов к обучению. Стоит отметить, что многие глобальные тренды в образовании не являются характерными для какой-либо конкретной области, они оказывают влияние на систему образования в целом.

Один из основных трендов – это повсеместное распространение массового онлайн-обучения. Эта концепция значительно расширяет возможности для самообразования и повышения квалификации. Отмечается и социальный эффект: студенты имеют возможность общаться на форумах по поводу выполняемых заданий, делиться впечатлениями и идеями, видеть, какие вопросы и сложности возникают в ходе обучения. Таким образом, создаются дополнительные возможности для обучения: люди

учатся не только у преподавателя, но и друг у друга. Немаловажно, что онлайн-обучение позволяет собирать статистические данные о прогрессе студентов и анализировать их, для чего предполагается использовать технологии анализа Big Data. На основе анализа этих данных планируется формировать новые учебные курсы.

Всё большую популярность завоевывает направление метаобучения, в котором важной составляющей образовательного процесса становится личностный рост обучаемого.

Для повышения эффективности образовательного процесса в программы обучения предлагается включать посещение конференций, выставок и т. п. Результативность такого подхода объясняется тем, что мозг человека способен запоминать надолго выдающиеся события и быстро забывает повседневные. Благодаря такому подходу внимание обучающихся концентрируется на наиболее важных моментах, которые легче запоминаются [9].

Большим потенциалом в образовании обладает концепция *BYOD (Bring Your Own Device – «принеси свое собственное устройство»)*,

Сравнительная характеристика требований к компетенциям инженера и образовательных стандартов в России (на примере СПбПУ) и США/Канаде [10]

Comparison of requirements to engineers' competencies and educational standards in Russia (as exemplified by SPbPU) and the United States/Canada

Область компетенций	Россия (кейс СПбПУ)	США/Канада
Менеджерские компетенции	Организационно-управленческие навыки	Знание рынков, способность разрабатывать концептуальный проект, коммуникационные навыки
Специальные технические компетенции	Проектно-конструкторские компетенции	Технические компетенции в конкретной нише продуктов или производственных технологий
Общепромышленные технические компетенции	Расчетно-экспериментальные компетенции с элементами научно-исследовательских	Навыки проектирования производственного процесса, цепочки поставок и логистики, систем безопасности
Практические компетенции	Производственно-технологические компетенции	Способность работы в условиях современного производственного сектора
Фундаментальные компетенции	Теоретическое, компьютерное и экспериментальное исследование научно-технических проблем	Базовый академический уровень
Личная эффективность	Владение культурой мышления, способность к обобщению и анализу, навыки коллективной работы, правовая грамотность, ориентация на профессиональный рост и совершенствование	Способность к командной работе, креативность, гибкость, мобильность, системность и глобальность мышления, готовность к совершенствованию и обучению всю жизнь, способность работать в мультисреде (технологической, культурной и языковой)

коренным образом меняющая среду обучения: классическая среда дополняется за счет использования социальных сетей и открытых информационных ресурсов. Концепция BYOD зародилась в бизнес-сфере. Сотрудники компании Intel еще в 2009 г. начали использовать в работе свои личные устройства. Эта тенденция стала набирать обороты и распространилась на многие компании и учреждения: по данным Gartner, в 2013 г. уже 60 % компаний применяли этот подход [11]. Отмечается, что BYOD позволяет увеличить производительность труда, комфортность рабочей атмосферы и инновационную активность работников.

Из бизнес-сообщества концепция BYOD начала проникать в систему образования. Компания Bradford Networks провела исследование «Impact of BYOD on Education», в ходе которого были опрошены 500 IT-специалистов средних и высших учебных заведений США и Великобритании. По результатам опроса, 85 % респондентов заявили, что в их учебных заведениях ученикам, студентам и преподавателям разрешается использовать личные устройства в учебе и работе. При этом 78 % опрошенных отметили практику использования учениками и сотрудниками собственных устройств в личных целях, а 72 % респондентов сообщили об использовании студентами личных устройств при выполнении заданий в классе [12].

В целом можно говорить о том, что концепция BYOD значительно расширяет возможности для преподавания и обучения, а запрет на использование в учебе личных устройств может отрицательно сказаться на способности будущих специалистов к последующей успешной интеграции в профессиональную среду.

В свете повсеместного использования различных мобильных устройств и растущей популярности концепции BYOD можно выделить четыре подхода к использованию таких устройств в обучении:

1) полный запрет на использование собственных устройств студентами и преподавателями;

2) модернизация сети учебного заведения с целью совместимости с максимально возможным количеством устройств для их стабильной работы (это особенно актуально для развивающихся стран, где большинство учащихся владеют устройствами среднего и низкого ценового сегмента);

3) третий подход – это *CYOD (Choose Your Own Device* – «выбери свое собственное устройство»): студент выбирает устройство из заранее определенного перечня устройств, предоставляемых вузом (этот подход является наиболее дорогим);

4) использование облачных технологий.

Проблемы инженерного образования, так же как и пути их решения, во многих странах весьма сходны. Если говорить о состоянии европейского инженерного образования, то в качестве ключевого вызова чаще всего выделяется интеграция образования с промышленностью. Разные страны Евросоюза реализуют собственные инициативы, направленные на решение этой проблемы. Например, Чешский технический университет в области образования и научных исследований осуществляет сотрудничество с предприятиями оборонной промышленности. В Великобритании активно практикуются стажировки студентов на промышленных предприятиях, что дает молодым специалистам опыт инженерной работы, необходимый для последующего карьерного роста. В Оксфордском университете научные исследования и инженерные разработки встраивают в программы учебных дисциплин. Во Франции проблему модернизации инженерного аэрокосмического образования решают, опираясь, в частности, на созданную в 1998 г. международную сеть Pegasus – партнерское объединение передовых аэрокосмических университетов Европы. Это решение призвано способствовать созданию европейской системы инженерного образования, адаптированной к требованиям аэрокосмической промышленности [13].

В Китае вызовы в сфере инженерного образования имеют много общего с вызовами, характерными для образования в странах Евросоюза [14]. Для Китая актуальны отсутствие баланса спроса и предложения на рынке труда (с одной стороны, выпускникам сложно найти работу, с другой – предприятия заявляют о недостатке кадров), недостаточная практическая составляющая образования, несоответствие учебных планов требованиям, предъявляемым к будущим специалистам. Отмечается также недостаточное развитие неакадемических (личных) навыков.

С целью модернизации и повышения конкурентоспособности китайского образования

Государственным советом КНР в 2010 г. была принята программа *National Guideline on Medium- and Long-term Educational Reform and Development Planning 2010–2020*. Программа охватывает все этапы образования, начиная от дошкольного и заканчивая постдипломным. В области высшего образования ставка делается, в частности, на усиление профессорско-преподавательского состава и отбор талантливых абитуриентов. Предполагается улучшить условия получения высшего образования – обеспечить инфраструктуру, в частности улучшить оснащение лабораторий. Также образовательный процесс должен стать более гибким – к примеру, предполагается избавиться от жестких разграничений в изучении научных (science) и гуманитарных (liberal arts) дисциплин. Кроме того, студенты будут вовлечены в научно-исследовательскую работу. Предполагается направить значительные усилия на повышение уровня осуществления научных исследований [15]. Будет уделяться внимание целенаправленному развитию неакадемических навыков у студентов (логического мышления, коммуникативных навыков) [14].

В США инженерное образование ориентировано на последующую трудовую деятельность, достаточно большое количество выпускников становится квалифицированными инженерами с профессиональными навыками. Количество выпускников американских школ, поступающих на инженерные программы, существенно снизилось за последние годы, несмотря на устойчивый и растущий спрос на выпускников технических специальностей со стороны работодателей. Значительное влияние на требования, предъявляемые к профессиональным навыкам и компетенциям, оказывают такие процессы, как глобализация и аутсорсинг [16, с. 18].

Большое внимание в США уделяется развитию у студентов инженерного профиля личных, неакадемических навыков. В качестве примера инициативы, направленной на их развитие, можно привести программу *International Networked Teams for Engineering Design (INTEnD)* – совместный проект Университета штата Мичиган (Michigan State University) и Панамериканского университета Техаса (University of Texas Pan American), нацеленный на преодоление вызовов глобализации путем междисциплинарного, ин-

новационного подхода и объединения усилий при создании глобальных инженерных образовательных программ. Программа является хорошим примером международного сотрудничества при реализации инновационных программ инженерного образования. Она хорошо отображает последние тенденции в подготовке инженеров, например развитие коммуникационных навыков и межкультурного взаимодействия.

Указанная программа была инициирована в 1998 г. многопрофильной педагогической группой Университета штата Мичиган при участии международной педагогической группы по инженерному профилю, в которую входили специалисты из Делфтского технического университета, Утрехтского университета, Технического университета Эйндховена (все три – Нидерланды) и Университета Кайзерслаутерна (Германия). В работу были вовлечены специалисты из таких областей, как машиностроение, электротехника, производство, антропология, социология, телекоммуникации.

Программа INTEnD объединила мультидисциплинарные исследовательские группы из университетов разных стран: Университета Цинхуа (Китай), Делфтского технического университета (Нидерланды), Лёвенского католического университета (Бельгия), МГТУ им. Н.Э. Баумана (Россия), Мадридского университета им. Карлоса III (Испания), Университета Кайзерслаутерна (Германия), Монтеррейского технологического института (Мексика).

Цель программы состояла в том, чтобы обучить специалистов технического и социального профиля тому, как адаптировать инженерные и производственные процессы к вызовам глобализации. Программа включала в себя развитие навыков кросс-культурного взаимодействия, применялись мультимедийные средства коммуникации, при этом студенты инженерных специальностей работали над реальными промышленными задачами в мультикультурных, географически рассредоточенных командах [17, с. 16–17].

Актуальной в США также является проблема оторванности академического образования от задач производственного сектора. С целью преодоления этого разрыва в 2000 г. в Массачусетском технологическом институте совместно с тремя шведскими университетами (Технологическим университетом Чалмерса, Линчё-

пингским университетом и Королевским технологическим институтом) была предложена концепция *CDIO* (*Conceive – Design – Implement – Operate*) («планирование – проектирование – производство – применение») [18–20]. Согласно этой концепции, подготовка инженеров должна основываться на новых принципах: наряду с теоретической подготовкой большее внимание должно уделяться формированию практических навыков. Одним из авторов концепции был профессор авионики, авионики и инженерных систем Массачусетского технологического института Э. Кроули [21]. В 2004 г. были разработаны 12 стандартов *CDIO*, которые служат в качестве ориентиров для реформы и оценки образовательной программы (см. *Примечание* в конце статьи).

В настоящее время эта инициатива получила широкое распространение. Концепцию *CDIO* применяют в передовых университетах, таких как Бристольский и Лидский университеты (оба – Великобритания), а также Стэнфордский и Калифорнийский университеты (оба – США) и др. (всего свыше 140 вузов из более чем 30 стран применяют эту концепцию). Изначально предполагалось использование *CDIO* в инженерных вузах, но в настоящее время данная концепция получила распространение в образовательных программах и других профилях. В России в проекте *CDIO* принимают участие 16 вузов, в том числе ТПУ, УрФУ, СПб ГУАП и др. [22]

К числу учреждений, которые наиболее полно реализуют концепцию *CDIO* в своих образовательных программах, относятся Массачусетский технологический институт, Колледж Олин, Сингапурский политехнический институт [23, 24].

В *Массачусетском технологическом институте* (Massachusetts Institute of Technology) в 1990–2007 гг. произошли существенные изменения в образовательной программе. В начале 1990-х гг. основной упор делался на традиционные технические науки, затем основное внимание стало уделяться системному инжинирингу, при этом изменения в учебной программе были минимальными. В конце 1990-х и начале 2000-х гг. было проведено несколько стратегических изменений: смещение акцента на построение сложных систем, принятие концепции *CDIO* и др.

Подготовка на факультетах авионики и авионики в настоящее время является междисциплинарной, образовательная программа базируется на трех основных блоках (это системная архитектура, машиностроение и информационные технологии).

Образовательная программа разбита на три этапа:

- базовый курс обучения;
- курс специальных дисциплин;
- практическая работа на основе полученных знаний в различных дисциплинах (*CDIO*).

Итогом обучения студентов является приобретение четырех основных компетенций: 1) знание основ технических дисциплин; 2) совершенствование способности приобретения новых знаний, решения инженерных задач, системного мышления, других личностных и профессиональных качеств; 3) совершенствование навыков общения и умения работать в междисциплинарных командах; 4) совершенствование навыков планирования и применения (*CDIO*) систем на производственном и общественном уровне и 16 более детальных навыков (например, «эффективно общаться в письменной форме, используя электронные средства, графические средства и устные презентации») [25].

Колледж Олин (Olin College) (штат Массачусетс, США) был создан в 1997 г. при содействии благотворительного Фонда Франклина У. Олина. Основные принципы учебного заведения – постоянное обучение инженера, междисциплинарность, коммуникативные навыки, практический инжиниринг. Колледж позиционируется как место, где происходят разработка и апробация передовых образовательных методик.

Некоторые решения, используемые в ходе обучения:

- *Olin Triangle* – с целью развития у студентов предпринимательских навыков (колледж сотрудничает с Babson College и Wellesley College);

- *SCOPE* (*Senior Consulting Program for Engineering*) – программа, в рамках которой студенты старших курсов привлекаются к выполнению практических заданий партнеров – спонсоров колледжа: Boeing, Motorola, Oracle, Hewlett-Packard, IBM и др. Работа ведется в течение года в командах по 5–7 человек. Компания-партнер предоставляет финансовую

помощь, оборудование и доступ к различной информации (например, к аналитике по конкретному рынку). Команда еженедельно представляет отчет о проделанной работе и в конце года защищает свой проект [25].

Сингапурский политехнический институт (Singapore Polytechnic) был основан в 1954 г. [26]. В 2004 г. в нем стартовал очередной этап реформ, и администрация приступила к поиску новых подходов к образованию с целью повышения его эффективности. В итоге было принято решение о внедрении концепции CDIO. Приоритетом стало формирование инновационного и предпринимательского мышления. Образовательный процесс был трансформирован так, чтобы студенты погрузились во все этапы создания инновационного продукта: от замысла до реализации. Был сформирован перечень навыков, которыми должны владеть студенты по окончании обучения. Они должны обладать стандартными фундаментальными знаниями и уметь работать в коллективе, управлять командой, опираться в своей деятельности на профессиональную этику и т. д.

Продолжительность обучения в Сингапурском политехническом институте составляет шесть семестров (три года). В каждом семестре студенты работают над проектами новых изделий, причем сложность выполняемых проектов постепенно возрастает [27].

В первые два семестра происходит приобщение к идее CDIO по программе *IDEA (Innovation, Design and Enterprise in Action)*. В качестве примера можно привести курс «Introduction to Engineering», где по итогам одной из образовательных программ необходимо спроектировать и построить катапульту. Студенты начинают изучать потребности рынка, приступают к созданию первых бизнес-планов и прототипов изделий. Второй год обучения – получение необходимых навыков (например, курс «Design Build Course»). Темы проектов распределены по направлениям: авиакосмическая отрасль, биомедицина и микроконтроллеры. Третий год – практическое применение компетенций. Студентам необходимо разработать мультидисциплинарный проект, основываясь на полученных знаниях в различных областях.

В России инженерное образование в данный момент в целом не отвечает вызовам стремительно возрастающей сложности и науко-

емкости высокотехнологичных продуктов и производств. Сегодня в нашей стране выпускается приблизительно 450 тыс. инженеров в год, однако лишь немногим более 10 % из них (около 50 тыс.) устраиваются работать по специальности, остальные же (т. е. около 400 тыс. молодых специалистов) ежегодно оказываются не вовлеченными в профессиональную деятельность согласно полученному образованию. В итоге можно говорить о том, что государство тратит огромные ресурсы впустую, поскольку подготовленные специалисты остаются невостребованными.

Развитие инженерного образования – одно из приоритетных направлений развития для Российской Федерации. В 2012 г. президент РФ В.В. Путин отметил: «Российское профобразование должно стать конкурентоспособным на мировом уровне. Именно инженерные кадры, воспитанные российскими вузами, будут основой для модернизации экономики» [28]. Действительно, сложно представить конкурентоспособную промышленность без наличия в стране сильной инженерной школы.

Проблема разрыва между фундаментальной академической подготовкой и практическими навыками является достаточно острой и для российского инженерного образования. Ситуация усугубляется тем, что многие преподаватели, которые готовят студентов (особенно на старших курсах, в магистратуре), не имеют необходимого опыта работы с промышленностью, т. е. сами они не принимали участия в проектах и НИОКР по заказам предприятий реального сектора экономики на протяжении 5–15 лет, а иногда и дольше [1]. В условиях, когда технологии устаревают всё быстрее, а продукция при этом неуклонно усложняется, отсутствие у преподавателей опыта взаимодействия с реальным производством на протяжении даже нескольких лет может быть достаточным для того, чтобы они сами и передаваемые ими знания стали оторванными от действительности. В случае более долгого отсутствия реального практического опыта у преподавателя ситуация приобретает критический характер. Одно из возможных решений этой проблемы – образовательная концепция CDIO, направленная на практическое обучение студентов и активно внедряемая сейчас в российских университетах.

Немаловажным является и фактор старения кадров, который усугубляется отсутствием преемственности поколений. Для инженерного образования, науки и промышленности России 1990-е гг. стали достаточно тяжелыми: массовые сокращения, нелегкие условия труда, отсутствие стабильной поддержки этих областей со стороны государства крайне негативно повлияли на кадровый резерв. Многие специалисты предпочли сменить область профессиональной деятельности, а привлечь новых было достаточно сложно. Для решения этой проблемы необходимо поддерживать связь образовательных учреждений, научно-исследовательских организаций с промышленными предприятиями, а также поощрять научно-исследовательскую деятельность, в том числе среди молодых специалистов.

Одной из инициатив, направленных на усиление интеграции реального сектора экономики и высших учебных заведений, является создание базовых кафедр и лабораторий (специализирующихся на проведении НИОКР) на базе промышленных предприятий. При этом часть образовательного процесса (преимущественно практическая) выносится на само предприятие, а учебные дисциплины преподаются специалистами данного предприятия.

В СССР создание базовых кафедр ведущими вузами было общепринятой практикой, но эта традиция была утрачена. После 2000 г. в России было создано лишь несколько десятков базовых кафедр, главным образом в научно-исследовательских институтах [29].

Такой подход имеет несколько весомых преимуществ:

- 1) будущие специалисты могут получить образование в стенах функционирующего производственного предприятия;
- 2) облегчится ситуация с дальнейшим трудоустройством молодых специалистов;
- 3) станет проще отбирать кадры для предприятий.

Оснащение учебно-тренировочных комплексов, где студенты могли бы осваивать практические навыки и получать представление о функционировании реальных производств, является для многих вузов, особенно периферийных, труднорешаемой проблемой, в первую очередь в финансовом плане: передовое оборудование требует значительных затрат,

в том числе при эксплуатации. Возможность загрузить машины промышленными задачами есть не всегда, и в этом случае закупленное высокотехнологичное оборудование простаивает. Таким образом, создание базовой кафедры или лаборатории поможет вузу избежать лишних затрат без ущерба для качества образования.

Создание базовых кафедр и лабораторий способствует формированию долгосрочных партнерских отношений между вузом и предприятием, что может послужить хорошей основой для дальнейших совместных проектов.

Многие ведущие технические вузы России продолжают использовать в образовательном процессе привычную модель обучения с традиционными лекционными занятиями, лабораторными работами в компьютерных классах, с предустановленным программным обеспечением, что может препятствовать развитию у студентов навыков, полезных для их будущей инженерной деятельности. Однако есть и университеты, которые не остаются в стороне от глобальных трендов в сфере образования и активно внедряют новые разработки.

Московский государственный технический университет (МГТУ) им. Н.Э. Баумана является одним из таких вузов. Стоит отметить, что немало идей, подходов к обучению было разработано и в самом университете. Даже концепцию CDIO, стремительно набирающую популярность во всем мире, можно в некоторой степени считать «наследницей» практико-ориентированного подхода к обучению, сложившегося в нем (тогда – Императорском Московском техническом училище) в XIX в. Система обучения русских инженеров так впечатлила профессора Дж. Ронкля, ректора Бостонского технического университета (ныне – Массачусетского технологического института, где и появилось в 2000 г. сообщество CDIO [30]), что он принял решение внедрить этот подход и в своем вузе [31].

В 1956–1985 гг. в университете были созданы пять отраслевых факультетов. В 1987 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана было преобразовано в учебное заведение нового типа: семь научно-учебных комплексов (НУК), в каждом из которых имелись факультет и НИИ. На всех пяти отраслевых факультетах была введена дневная форма обучения с непрерывной научно-производственной практикой. Студенты стажировались на предприятиях на протяжении всего

времени обучения. Главной задачей реформы была максимальная интеграция университетского образования, науки и производства [32].

Сегодня в МГТУ им. Н.Э. Баумана реализуется вышеупомянутая концепция BYOD. В отношении использования устройств все преподаваемые в университете дисциплины можно разделить на три группы:

- в первой группе дисциплин предполагается использование устройств, материалы курса могут быть преобразованы в универсальный контент, что дает возможность не привязываться к конкретному устройству;
- во второй группе дисциплин студенты могут использовать свои устройства, при этом не предполагается использование специального программного обеспечения;
- третья группа дисциплин требует использования профессионального программного обеспечения, например Synopsys CAD [33].

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (ИТМО) также внедряет инновационные методики в образовательный процесс. Здесь 9 февраля 2015 г. был открыт новый факультет – факультет технологического менеджмента и инноваций, объединивший гуманитарный факультет, факультет экономики и экологического менеджмента и корпоративный факультет. Основная задача этого факультета – выпуск специалистов, имеющих не только знания в области научно-технических дисциплин, но также и навыки управления экономическими процессами и инновационной деятельности [34, 35]. Вуз активно внедряет программы дистанционного обучения. В учебном процессе используются электронные учебные пособия и учебные курсы, технологии электронного тестирования, социальные сети, электронные библиотеки и прочие мультимедийные технологии. Некоторые лекции проводятся удаленно, например при помощи Skype. С каждым годом в вузе происходит расширение этого формата обучения.

В университете создан и успешно функционирует целый ряд малых инновационных предприятий и бизнес-инкубаторов [36].

В процессе разработки образовательных программ вуз учитывает международные требования и стандарты (CDIO, EUR-ACE и др.),

делается акцент на авторский характер программы, на междисциплинарный подход. Пять магистерских программ Университета ИТМО получили европейский знак качества инженерного образования EUR-ACE® Label [37, 38].

Активно развиваются в университете сетевые (совместные) образовательные программы с ведущими зарубежными вузами-партнерами и инновационными российскими и иностранными предприятиями. Так, в 2014 г. были реализованы 32 совместные магистерские программы с «двойными дипломами», из них 14 программ с ведущими университетами США, Франции, Германии, Финляндии и др. Был осуществлен первый выпуск по магистерской совместной образовательной программе «двойных дипломов» Университета ИТМО и Университета Амстердама.

Уральский федеральный университет (УрФУ) активно реализовывает концепцию CDIO, в соответствии с которой в нем была разработана программа инженерного бакалавриата «Системный анализ и управление» по профилю проектно-конструкторской деятельности. В рамках программы введен практический курс «Учебно-производственный практикум». Для проведения курса была создана необходимая материально-техническая база (современное высокотехнологичное машиностроительное оборудование), а также разработана учебная методика сквозного проектирования с условным названием «Учебный инжиниринг». Методика предполагает выполнение проектных, технологических и производственных действий, соответствующих полному жизненному циклу создания изделия в условиях, максимально приближенных к реальной профессиональной деятельности.

Практическая часть обучения по программе является логическим продолжением изучаемых курсов и неразрывно связана с ними. Таким образом, студенты имеют возможность применить полученные знания на практике в решении междисциплинарных задач, что способствует формированию сбалансированного комплекса теоретических и практических навыков. Курсу отведена ключевая роль в образовательном процессе, он является постоянной его частью (с 1-го по 8-й семестр) и способствует практико-ориентированной интеграции всех дисциплин программы.

Суть концепции учебного инжиниринга, осуществляемого в практикуме, выражается в двухконтурной модели прохождения студентами основных этапов жизненного цикла технической системы:

- Первый контур (первый семестр) предполагает создание студентами макета своего будущего изделия. При этом они изучают в сжатой форме все этапы жизненного цикла изделия, для чего используется компьютерное моделирование, изучаются примеры из практики, проводятся консультации с преподавателями и профессиональными инженерами. Полученные проектные решения проверяются при помощи 3D-моделей и на практическом опыте. На этом этапе у учащихся должны сформироваться: представление об азах проектной деятельности, понимание жизненного цикла изделия, коллективная и индивидуальная ответственность за результаты работы.

- Второй контур продолжается семь семестров. На этом этапе ведется проектная и производственная деятельность, по своему формату максимально приближенная к реальной профессиональной деятельности. Основная цель данного этапа – создание готового изделия из конструкционных, а не макетных материалов. На этом этапе происходят последовательное формирование компетенций на разных этапах жизненного цикла изделия, углубление знаний, полученных на первом этапе, расширение практического опыта [27].

Томский политехнический университет (ТПУ) в 2011 г. стал первым в России вузом, официально присоединившимся к Всемирной инициативе CDIO. В качестве пилотных программ ТПУ для модернизации в соответствии с требованиями концепции CDIO были определены три программы подготовки бакалавров [30, 39]:

- «Химическая технология»;
- «Технологические машины и оборудование»;
- «Электроэнергетика и электротехника».

Одним из стандартов CDIO является наличие в учебном плане образовательной программы модуля «Введение в инженерную деятельность» (Standard 4, Introduction to engineering). В учебных планах ТПУ модуль является дисциплиной базовой части профессионального цикла для основных образовательных программ подготовки бакалавров и дипломированных спе-

циалистов в области техники и технологий, реализуемых начиная с приема 2012 г. [40, с. 3–4].

На данный момент в ТПУ семь образовательных программ соответствуют принципам CDIO:

- «Информационные системы и технологии» (институт кибернетики);
- «Приборостроение» (институт неразрушающего контроля);
- «Теплоэнергетика и теплотехника» (энергетический институт, институт электронного обучения);
- «Электроэнергетика и электротехника» (энергетический институт, институт физики высоких технологий, институт электронного обучения);
- «Мехатроника и робототехника» (институт кибернетики);
- «Химическая технология» (институт природных ресурсов, институт физики высоких технологий, институт электронного обучения);
- «Материаловедение и технологии материалов» (институт физики высоких технологий) [29].

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ) следует мировым трендам в области инженерного образования и использует концепции STEM и CDIO. Однако СПбПУ разработал собственный подход к их реализации. Он применяется институтом передовых производственных технологий (ИППТ) СПбПУ, который осуществляет опережающую практико-ориентированную целевую подготовку специалистов в рамках решения проблем-вызовов высокотехнологичных предприятий.

Так как ИППТ изначально ориентирован на подготовку квалифицированных инженеров для высокотехнологичных производств, оригинальная концепция *STEM*, используемая в нем, несколько отличается от общепринятой и расшифровывается как *Science & Technology & Engineering & Manufacturing*). Во время обучения студентов на программах бакалавриата основное внимание уделяется фундаментальным физико-математическим и инженерно-техническим дисциплинам. На этом этапе сознательно не делается ставка на раннее проектное обучение, когда студенты уже на первых курсах активно вовлекаются в реализацию проектов, так как сначала они должны получить необ-

ходимый объем фундаментальных знаний, без которых невозможно освоение технологий в дальнейшем.

Далее следует другой важный этап обучения: каждый семестр на каждом курсе студенты изучают по одной из технологий мирового уровня, которыми владеют мировые компании — лидеры промышленности и которые являются де-факто «инженерным языком» международного общения. Владение этими технологиями делает специалиста универсальным и обеспечивает его конкурентоспособность, так как позволяет максимально быстро включиться в работу над самыми разными задачами в самых разных отраслях.

На программах магистратуры, когда студенты уже имеют солидную фундаментальную подготовку, на первое место выходят приобретение практических навыков и формирование компетенций мирового уровня на основе оригинального инновационного CDIO++-подхода, согласно которому такие навыки и компетенции формируются в рамках выполнения реальных НИОКР по заказам предприятий высокотехнологичной промышленности. Ключевую роль здесь играет тесная связь ИППТ с Центром компьютерного инжиниринга (Инжиниринговым центром) СПбПУ и группой компаний CompMechLab®, на протяжении многих лет оказывающих услуги для высокотехнологичных отраслей промышленности в рамках новой парадигмы компьютерного проектирования (Simulation & Optimization)-Driven Design), мульти- и трансдисциплинарного, кросс-отраслевого компьютерного и суперкомпьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering, CAE; High Performance Computing, HPC-CAE). Партнерство дает возможность студентам-магистрам ИППТ под руководством опытных инженеров принимать участие в реальных, часто крупных проектах, в том числе при выполнении выпускных квалификационных работ (так, в период с 1988 по 2018 г. под руководством профессора А.И. Боровкова и сотрудников Инжинирингового центра было выполнено 499 магистерских диссертаций, дипломных и бакалаврских работ, темы которых определялись реализуемыми НИОКР по заказам ведущих отечественных и зарубежных промышленных фирм, научно-исследовательских институтов и университетов России, США, Германии, Великобритании, Канады, Италии,

Финляндии, Франции, Кореи, Японии и других стран).

Отдельно стоит отметить роль тьюторства, которую сложно переоценить. В ИППТ сотрудники Инжинирингового центра активно вовлечены в учебный процесс, они выступают соруководителями бакалаврских работ и магистерских диссертаций и совместно со студентами решают актуальные научно-технические задачи по заказам промышленности. Это не только способствует преемственности, но и формирует навыки коллективной работы. Создается особая интеллектуальная среда, в которой студенты, выполняющие разные проекты, общаются между собой и с более опытными специалистами, обмениваются знаниями, опытом, информацией, решают вопросы, возникающие в ходе работы. В итоге к концу обучения выпускник магистерской программы обладает опытом участия в нескольких проектах, это уже специалист, подготовленный к выполнению задач самого высокого уровня.

Немаловажным является и отбор будущих студентов: на программе ИППТ обучаются выпускники лучших физико-математических школ и лицеев, с детства интересующиеся такими дисциплинами, как математика и физика, и имеющие высокий уровень подготовки.

Еще одним важным элементом является ИППТ-модель образовательной, исследовательской и инновационно-предпринимательской деятельности {D/C → R/S → T/E} («разработки → исследования → образование»), где D/C — Development/Consulting, глобально конкурентоспособные наукоемкие и высокотехнологичные разработки и консалтинг; R/S — Research/Science, проблемно ориентированные и фундаментальные исследования мирового уровня; T — Training, специализированная подготовка (на основе оригинального инновационного CDIO++-подхода); E — Education, образование (на основе оригинального STEM-подхода).

Именно такая последовательность {D/C → R/S → T/E} обеспечивает поддержание каждой из компетенций на мировом уровне в условиях быстрого устаревания знаний, появления новых технологий и недостаточного для динамичного и конкурентоспособного развития государственного финансирования образования, исследований и разработок.

Заключение

Подготовка высококвалифицированных инженеров – это долгий и крайне трудоемкий процесс, начинающийся с усиленной школьной подготовки и последующего отбора талантливых, заинтересованных учеников, знания которых позволят начинать преподавание фундаментальных дисциплин не с азов, а на достаточно высоком уровне.

Одним из ключевых факторов конкурентоспособности инженерного образования является соответствие приобретенных в ходе обучения знаний и навыков требованиям рынка труда, для чего нужна тесная связь образовательных учреждений с промышленным и научным сектором. Будущий молодой специалист должен получить академическую подготовку и научиться использовать самые современные инструменты и технологии, применяемые мировыми компаниями-лидерами. Технологии быстро устаревают, поэтому программа обучения должна постоянно обновляться, чтобы студенты овладевали самыми актуальными и востребованными технологиями. Только таким образом может обеспечиваться конкурентоспособность обучаемых кадров. Полученные знания должны быть отточены при выполнении реальных проектов под руководством опытных специалистов, что позволит выпускникам, выходя из стен университета, быть готовыми к решению сложнейших инженерных задач.

Особо стоит подчеркнуть важность развития междисциплинарных направлений: специалисты должны быть готовы решать сложные задачи на стыке различных областей знаний и работать в многопрофильных командах. Наконец, уделив должное внимание академической подготовке и формированию профильных компетенций, необходимо также стимулировать развитие неакадемических навыков у будущих инженеров – коммуникативных, творческих, лидерских, предпринимательских. Приобретенные навыки будут способствовать формированию у молодых специалистов целостной картины решаемых задач, помогут им ориентироваться в бизнес-процессах, адаптироваться к постоянно меняющимся условиям. Развитие навыков кросс-культурных коммуникаций, поощрение участия в международных проектах помогут

молодым инженерам выдерживать жесткую конкуренцию на мировом рынке специалистов инженерно-технического профиля.

Примечание (к с. 66):

Стандарт 1. Утверждает, что создание и развитие продуктов и систем на протяжении всего их жизненного цикла «замысел – проектирование – реализация – управление» являются общим контекстом развития инженерного образования.

Стандарт 2. Говорит о том, что необходимо четкое, подробное описание приобретенных личностных, межличностных и профессиональных компетенций в создании продуктов и систем, соответствующих установленным целям программы и одобренных всеми ее участниками.

Стандарт 3. Требуется, чтобы учебный план включал в себя взаимодополняющие учебные дисциплины и был нацелен на интегрирование в преподавании личностных, межличностных компетенций, а также компетенций создавать продукты и системы.

Стандарт 4. Предполагает наличие вводного курса, который закладывал бы основы инженерной практики в области создания продуктов и систем и был нацелен на обучение основным личностным и межличностным компетенциям.

Стандарт 5. Нацеливает на то, чтобы в процессе обучения студент участвовал как минимум в двух учебно-практических заданиях по проектированию и созданию изделий, одно из которых он выполнял бы на начальном уровне, а другое – на продвинутом.

Стандарт 6. Связан с учебными помещениями, в которых были бы возможны организация практического подхода к обучению навыкам проектирования и создания продуктов и систем, передача дисциплинарных знаний, а также организация социального обучения.

Стандарт 7. Обязывает, чтобы учебные задания носили интегрированный характер. Выполняя их, студенты осваивали бы дисциплинарные знания, а также личностные, межличностные компетенции и умение проектировать и создавать новые продукты и системы.

Стандарт 8. Говорит о необходимости организации обучения, основанного на активном практическом подходе.

Стандарты 9 и 10. Требуют от профессорско-преподавательского состава повышения их педагогических способностей и компетентности в навыках CDIO.

Стандарт 11. Предполагает, что будет разработана система оценки успеваемости студентов в процессе усвоения дисциплинарных знаний, личностных, межличностных компе-

тенций, а также система оценки способности студента создавать продукты и системы.

Стандарт 12. Связан с оценкой образовательной программы всеми ключевыми субъектами: студентами, преподавателями, представителями бизнес-сообществ и другими – с целью непрерывного совершенствования образовательного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Проблемы** инженерного образования. URL: <http://csr.ru/news/1867/> (дата обращения: 21.09.2017).
2. **Barthenheier К.** Simulation Process Data Management. URL: http://www.elysiuminc.com/gpdis/2014/PLM_73_Boeing-Barthenheier-SPDM.pdf (дата обращения: 29.10.2018).
3. **Elon Musk** explains what's wrong with math class. URL: <http://money.cnn.com/2017/07/19/technology/future/elon-musk-dc/index.html> (дата обращения: 22.09.2017).
4. **Илон Маск** раскритиковал преподавание математики в школах. URL: <http://24news.com.ua/38990-ilon-mask-raskritikoval-prepodavanie-matematiki-v-shkolax/> (дата обращения: 22.09.2017).
5. **Похолков Ю.П.** Управление подготовкой инженеров для работы в междисциплинарных проектах и командах // Инженерное образование. 2016. № 20. С. 23–24.
6. **Kolmos А.** New trends in Engineering Education: Mega projects and globalization. URL: <http://www.euceet.upatras.gr/Content/Uploads/KOLMOS.pdf> (дата обращения: 30.10.2018).
7. **STEM to STEAM – Recognizing the Value of Creative Skills in the Competitiveness Debate.** URL: http://www.huffingtonpost.com/john-tarnoff/stem-to-steam-recognizing_b_756519.html (дата обращения: 22.09.2017).
8. **Lombardo Ch.J., Gunasekaran S.** Extracurricular Service Projects Prepare Engineering Students For Real World Problems. IDEAS // Impact of Globalization On Engineering Education. 2014. No. 18. P. 73.
9. **Innovating Pedagogy**, 2014. URL: http://www.openuniversity.edu/sites/www.openuniversity.edu/files/The_Open_University_Innovating_Pedagogy_2014_0.pdf (дата обращения: 30.10.2018).
10. **Мантуров Д.В.** Презентация «Современное инженерное образование», 2014. URL: http://assets.fea.ru/uploads/images/2014_0903_Manturov_VolSTU/2014_0903_Lecture_D.V.Manturov_VolSTU.pdf (дата обращения: 30.10.2018).
11. **BYOD Statistics Provide Snapshot of Future.** URL: https://www.insight.com/en_US/learn/content/2017/01182017-byod-statistics-provide-snapshot-of-future.html (дата обращения: 30.10.2018).
12. **New Survey Finds 85 Percent of Educational Institutions Allow BYOD Despite Security Concerns.** URL: <https://www.bradfordnetworks.com/new-survey-finds-85-percent-of-educational-institutions-allow-byod-despite-security-concerns/> (дата обращения: 30.10.2018).
13. **Симоньянц Р.П.** Проблемы инженерного образования и их решение с участием промышленности // Наука и образование. 2014. № 3. С. 398–399.
14. **Status and Outlook of China's Engineering Education.** URL: https://www.asee.org/conferences-and-events/international/global-colloquium/2011/program-schedule/Zhu_Gaofeng_2011_ASEE_Shanghai.pdf (дата обращения: 30.10.2018).
15. **Outline of China's National Plan for Medium and Long-term Education Reform and Development (2010–2020).** URL: https://internationaleducation.gov.au/News/newsarchive/2010/Documents/China_Education_Reform_pdf.pdf (дата обращения: 30.10.2018).
16. **Comparative Study on Engineering Education in China and USA.** URL: https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-082509-224412/unrestricted/Final_Report.pdf (дата обращения: 30.10.2018).
17. **Globalization and engineering education for 2020.** URL: <https://peer.asee.org/globalization-and-engineering-education-for-2020.pdf> (дата обращения: 30.10.2018).
18. **CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate).** URL: <http://web.mit.edu/edtech/casestudies/cdio.html> (дата обращения: 22.09.2017).
19. **История CDIO.** URL: <http://cdiorussia.ru/history/> (дата обращения: 22.09.2017).
20. **CDIO.** The CDIO™ INITIATIVE is an innovative educational framework for producing the next generation of engineers. URL: <http://www.cdio.org/> (дата обращения: 09.08.2017).
21. **Трещев А.М., Сергеева О.А.** Всемирная инициатива CDIO как контекст профессионального образования // Современ. проблемы науки и образования. 2012. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/104-6589> (дата обращения: 09.08.2017).
22. **CDIO Members.** URL: <http://www.cdio.org/cdio-members> (дата обращения: 22.09.2017).

23. **Сивицкая Л.А., Митянина О.Е.** Опыт реализации международной инициативы CDIO по реформированию инженерного образования в Национальном исследовательском Томском политехническом университете // Вестн. Бурятского гос. ун-та. Теория и методика обучения. 2013. № 15. С. 60–64.

24. **Чичерина Н.В., Иванова Е.Е., Корельская М.А.** Внедрение концепции CDIO в образовательные программы САФУ // Инженерное образование. 2014. № 16. С. 146–150.

25. **Реализации** концепции CDIO в образовательных программах бакалавриата в области техники и технологий в ведущих инженерных вузах мира. URL: http://portal.tpu.ru:7777/departments/head/methodic/level/method_oop/Tab/CDIO.pdf (дата обращения: 22.09.2017).

26. **Singapore Polytechnic.** URL: <http://www.sp.edu.sg/wps/portal/vp-spws/spws.org.abtsp.facts> (дата обращения: 22.09.2017).

27. **Исаев А.П., Плотников Л.В.** «Учебный инжиниринг» в контексте реализации идеологии CDIO. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchebnyy-inzhiniring-v-kontekste-realizatsii-ideologii-cdio> (дата обращения: 30.10.2018).

28. **Как** подготовить инженеров нового поколения? URL: <http://минобрнауки.рф/м/новости/3947> (дата обращения: 30.10.2018).

29. **Материалы** к выступлению министра образования и науки Российской Федерации Дмитрия Ливанова на заседании Правительства РФ по вопросу «О поддержке образовательных организаций высшего образования, играющих ключевую роль в социально-экономическом развитии регионов». URL: <http://минобрнауки.рф/пресс-центр/3568> (дата обращения: 30.10.2018).

30. **CDIO.** URL: <https://tpu.ru/education/activity/cdio> (дата обращения: 30.10.2018).

31. **История** университета. Становление. URL: <http://www.bmstu.ru/history/hmstu/becoming> (дата обращения: 21.09.2017).

32. **Симоньянц Р.П.** Инновационные технологии подготовки инженеров на отраслевых факультетах МГТУ им. Н.Э. Баумана // Наука. Общество. Оборона. URL: <https://www.noo-journal.ru/nauka->

[obshestvo-oborona/2016-4-9/article-0088/](https://www.noo-journal.ru/nauka-obshestvo-oborona/2016-4-9/article-0088/) (дата обращения: 30.10.2018).

33. **Особенности** тенденции BYOD в инженерном образовании. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-tendentsii-byod-v-inzhenernom-obrazovanii> (дата обращения: 30.10.2018).

34. **Отчет** о самообследовании Университета ИТМО по состоянию на 1 апреля 2016 г. URL: <http://edu.ifmo.ru/file/pages/61/samoobsledovanie.pdf> (дата обращения: 30.10.2018).

35. **Факультет** технологического менеджмента и инноваций (ФТМИ). URL: http://www.ifmo.ru/ru/viewfaculty/87/fakultet_tehnologicheskogo_menedzhmenta_i_innovaciy.htm (дата обращения: 30.10.2018).

36. **Малявко Д.П., Колотилин А.В.** Инновационная деятельность университета ИТМО и ее влияние на импортозамещение и развитие экономики России // Науч. журн. НИУ ИТМО. Экономика и экологический менеджмент. 2016. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/innovatsionnaya-deyatelnost-universiteta-itmo-i-ee-vliyanie-na-importozameshenie-i-razvitie-ekonomiki-rossii> (дата обращения: 30.10.2018).

37. **Отчет** о самообследовании Университета ИТМО по состоянию на 1 апреля 2015 г. URL: http://www.ifmo.ru/file/stat/505/otchet_o_samoobsledovanii_universiteta_itmo_na_20_aprelya_2015_goda.pdf (дата обращения: 30.10.2018).

38. **Выпускники** Университета ИТМО смогут получить профессиональное звание «Европейский инженер». URL: http://research.ifmo.ru/ru/news2/5392/vypuskniki_universiteta_itmo_smogut_poluchit_professionalnoe_zvanie_evropeyskiy_inzhener.htm (дата обращения: 30.10.2018).

39. **Образование** в ТПУ. Участие в рейтингах 2012/13 учебного года. URL: http://portal.tpu.ru:7777/departments/head/education/itogi/ig12-13/Tab/Сборник_Образование_на_сайт_6-11.pdf (дата обращения: 30.10.2018).

40. **Введение** в инженерную деятельность. Основная образовательная программа (ООП) 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». URL: <http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/t/TYUTEVAPV/uchwork/EIEngwork/Presentations/present1.pdf> (дата обращения: 30.10.2018).

Боровков Алексей Иванович
E-mail: vicerektor.ap@spbstu.ru

Марусева Валерия Михайловна
E-mail: v.m.maruseva@yandex.ru

Рябов Юрий Александрович
E-mail: ryabov_yua@spbstu.ru

Щербина Людмила Александровна
E-mail: petrova_la@spbstu.ru

Статья поступила в редакцию 05.11.2018 г.

REFERENCES

- [1] **Problemny** inzhenerenogo obrazovaniya [Engineering Education Problems]. Available at: <http://csr.ru/news/1867/> (accessed 21.09.2017).
- [2] **K. Barthenheier**, Simulation Process Data Management. Available at: http://www.elysiuminc.com/gpdis/2014/PLM_73_Boeing-Barthenheier-SPDM.pdf (accessed 29.10.2018).
- [3] **Elon Musk** explains what's wrong with math class. Available at: <http://money.cnn.com/2017/07/19/technology/future/elon-musk-dc/index.html> (accessed 22.09.2017).
- [4] **Ilon Mask** raskritikoval prepodavaniye matematiki v shkolakh [Elon Musk criticized the teaching of mathematics in schools]. Available at: <http://24news.com.ua/38990-ilon-mask-raskritikoval-prepodavanie-matematiki-v-shkolax/> (accessed 22.09.2017).
- [5] **Yu.P. Pokholkov**, Engineers for interdisciplinary teams and projects: management of training process, *Engineering Education*, 20 (2016) 23–24.
- [6] **A. Kolmos**, New trends in Engineering Education: Mega projects and globalization. Available at: <http://www.euceet.upatras.gr/Content/Uploads/KOLMOS.pdf> (accessed 30.10.2018).
- [7] **STEM to STEAM** – Recognizing the Value of Creative Skills in the Competitiveness Debate. Available at: http://www.huffingtonpost.com/john-tarnoff/stem-to-steam-recognizing_b_756519.html (accessed 22.09.2017).
- [8] **Ch.J. Lombardo, S. Gunasekaran**, Extracurricular Service Projects Prepare Engineering Students For Real World Problems, *IDEAS, Impact of Globalization On Engineering Education*, 18 (2014) 73.
- [9] **Innovating Pedagogy**, 2014. Available at: http://www.openuniversity.edu/sites/www.openuniversity.edu/files/The_Open_University_Innovating_Pedagogy_2014_0.pdf (accessed 30.10.2018).
- [10] **D.V. Manturov**, Presentation “Modern Engineering Education”, 2014. Available at: http://assets.fea.ru/uploads/images/2014_0903_Manturov_VolSTU/2014_0903_Lecture_D.V.Manturov_VolSTU.pdf (accessed 30.10.2018).
- [11] **BYOD** Statistics Provide Snapshot of Future. Available at: https://www.insight.com/en_US/learn/content/2017/01182017-byod-statistics-provide-snapshot-of-future.html (accessed 30.10.2018).
- [12] **New Survey Finds 85 Percent of Educational Institutions Allow BYOD Despite Security Concerns**. Available at: <https://www.bradfordnetworks.com/new-survey-finds-85-percent-of-educational-institutions-allow-byod-despite-security-concerns/> (accessed 30.10.2018).
- [13] **R.P. Simonyants**, [Problems of engineering education and their solution with the participation of industry], *Nauka i obrazovaniye [Science and education]*, 3 (2014) 398–399.
- [14] **Status and Outlook of China's Engineering Education**. Available at: https://www.asee.org/conferences-and-events/international/global-colloquium/2011/program-schedule/Zhu_Gaofeng_2011_ASEE_Shanghai.pdf (accessed 30.10.2018).
- [15] **Outline of China's National Plan for Medium and Long-term Education Reform and Development (2010–2020)**. Available at: https://internationaleducation.gov.au/News/newsarchive/2010/Documents/China_Education_Reform_pdf.pdf (accessed 30.10.2018).
- [16] **Comparative Study on Engineering Education in China and USA**. Available at: https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-082509-224412/unrestricted/Final_Report.pdf (accessed 30.10.2018).
- [17] **Globalization and engineering education for 2020**. Available at: <https://peer.asee.org/globalization-and-engineering-education-for-2020.pdf> (accessed 30.10.2018).
- [18] **CDIO** (Conceive-Design-Implement-Operate). Available at: <http://web.mit.edu/edtech/casestudies/cdio.html> (accessed 22.09.2017).
- [19] **Istoriya CDIO [CDIO history]**. Available at: <http://cdiorussia.ru/history/> (accessed 22.09.2017).
- [20] **CDIO**. The CDIO™ INITIATIVE is an innovative educational framework for producing the next generation of engineers. Available at: <http://www.cdio.org/> (accessed 09.08.2017).
- [21] **A.M. Treshchev, O.A. Sergeeva**, [Worldwide CDIO Initiative as a vocational education context], *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]*, 4 (2012). Available at: <http://www.science-education.ru/104-6589> (accessed 09.08.2017).
- [22] **CDIO Members**. Available at: <http://www.cdio.org/cdio-members> (accessed 22.09.2017).
- [23] **L.A. Sivitskaya, O.Ye. Mityanina**, [Experience in implementing the international initiative CDIO to reform engineering education at the National Research Tomsk Polytechnic University], *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo univ. Teoriya i metodika obucheniya*, 15 (2013) 60–64.
- [24] **N.V. Chicherina, Ye.Ye. Ivanova, M.A. Korel'skaya**, Implementing CDIO as a Tool for NARFU Programs, *Engineering Education*, 16 (2014) 146–150.
- [25] **Implementing the CDIO concept in undergraduate educational programs in engineering and technology in leading engineering universities of the world**. Available at: http://portal.tpu.ru:7777/departments/head/methodic/level/method_oop/Tab/CDIO.pdf (accessed 22.09.2017).
- [26] **Singapore Polytechnic**. Available at: <http://www.sp.edu.sg/wps/portal/vp-spws/spws.org.abtsp.facts> (accessed 22.09.2017).
- [27] **A.P. Isayev, L.V. Plotnikov**, «Uchebnyy inzhiniring» v kontekste realizatsii ideologii CDIO [“Engineering Engineering” in the context of the implementation of the ideology CDIO]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchebnyy-inzhiniring-v-kontekste-realizatsii-ideologii-cdio> (accessed 30.10.2018).

[28] **Kak** podgotovit' inzhenerov novogo pokoleniya? [How to prepare a new generation of engineers?]. Available at: <http://minobrnauki.rf/m/novosti/3947> (accessed 30.10.2018).

[29] **Materials** to the speech of the Minister of Education and Science of the Russian Federation Dmitry Livanov at a meeting of the Government of the Russian Federation on the issue of "Support for educational organizations of higher education that play a key role in the socio-economic development of regions". Available at: <http://minobrnauki.rf/press-tsentr/3568> (accessed 30.10.2018).

[30] **CDIO**. Available at: <https://tpu.ru/education/activity/cdio> (accessed 30.10.2018).

[31] **Istoriya** universiteta. Stanovleniye [History of University. Formation]. Available at: <http://www.bmstu.ru/history/hmstu/becoming> (accessed 21.09.2017).

[32] **R.P. Simonyants**, [Innovative technology of training engineers in the industry departments of MSTU named after N.E. Bauman], Science. Society. Defense. Available at: <https://www.noo-journal.ru/nauka-obshestvo-oborona/2016-4-9/article-0088/> (accessed 30.10.2018).

[33] **Osobennosti** tendentsii BYOD v inzhenernom obrazovanii [Features of the BYOD trend in engineering education]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-tendentsii-byod-v-inzhenernom-obrazovanii> (accessed 30.10.2018).

[34] **Otchet** o samoobsledovanii Universiteta ITMO po sostoyaniyu na 1 aprelya 2016 goda [ITMO University Self-Examination Report]. Available at: <http://edu.ifmo.ru/file/pages/61/samoobsledovanie.pdf> (accessed 30.10.2018).

[35] **Fakul'tet** tekhnologicheskogo menedzhmenta i innovatsiy (FTMI) [Faculty of Technology Management and Innovation (FTMI)]. Available at: http://www.ifmo.ru/ru/viewfaculty/87/fakultet_tehnologicheskogo_menedzhmenta_i_innovatsiy.htm (accessed 30.10.2018).

[36] **D.P. Malyavko, A.V. Kolotilin**, [Innovative activity of ITMO University and its influence on import substitution and development of economy of Russia], Scientific journal NRU ITMO. Economics and Environmental Management. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/innovatsionnaya-deyatelnost-universiteta-itmo-i-ee-vliyanie-na-importozameschenie-i-razvitie-ekonomiki-rossii> (accessed 30.10.2018).

[37] **Otchet** o samoobsledovanii Universiteta ITMO po sostoyaniyu na 1 aprelya 2015 goda [ITMO University Self-Examination Report]. Available at: http://www.ifmo.ru/file/stat/505/otchet_o_samoobsledovanii_universiteta_itmo_na_20_aprelya_2015_goda.pdf (accessed 30.10.2018).

[38] **Vypuskniki** Universiteta ITMO smogut poluchit' professional'noye zvaniye «Yevropeyskiy inzhener» [Graduates of the ITMO University will be able to get the professional title of "European Engineer"]. Available at: http://research.ifmo.ru/ru/news2/5392/vypuskniki_universiteta_itmo_smogut_poluchit_professionalnoe_zvanie_evropeyskiy_inzhener.htm (accessed 30.10.2018).

[39] **Obrazovaniye** v TPU. Uchastiye v reytingakh 2012/13 uchebnogo goda [Education in TPU. Participation in academic year 2012/13 ratings]. Available at: http://portal.tpu.ru:7777/departments/head/education/itogi/ig12-13/Tab/Sbornik_Obrazovaniye_na_sayt_6-11.pdf (accessed 30.10.2018).

[40] **Vvedeniye** v inzhenernyuyu deyatel'nost'. Osnovnaya obrazovatel'naya programma (OOP) 13.03.02 «Elektroenergetika i elektrotekhnika» [Introduction to engineering. The main educational program (OOP) 13.03.02 "Power engineering and electrical engineering"]. Available at: <http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/t/TYUTEVAPV/uchwork/EIEngwork/Presentations/present1.pdf> (accessed 30.10.2018).

Borovkov Alexey I.

E-mail: vicerektor.ap@spbstu.ru

Maruseva Valeriya M.

E-mail: v.m.maruseva@yandex.ru

Ryabov Yuriy A.

E-mail: ryabov_yua@spbstu.ru

Shcherbina Lyudmila A.

E-mail: petrova_la@spbstu.ru

Received 05.11.2018.