

Адаптация the Core CDIO Standards 3.0 к высшему STEM-образованию

Научная статья

DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-2-9-21

Чучалин Александр Иванович – д-р техн. наук, проф., a.chuchalin1952@gmail.com

Томский государственный университет, Томск, Россия

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Аннотация. Предлагается адаптировать новую версию международно признанных стандартов инженерного образования the Core CDIO Standards 3.0 к программам базового высшего образования в области технологий, естественных и прикладных наук, а также математики и компьютерных наук в условиях эволюции STEM. Адаптация стандартов CDIO к высшему STEM-образованию создаёт стимулы и способствует системной подготовке специалистов разных профессий к согласованной командной работе при создании наукоемкой и высокотехнологичной продукции, а также при оказании комплексных услуг в области STEM. Анализируются дополнительные Optional CDIO Standards, которые можно использовать выборочно. Указывается на целесообразность адаптации триады CDIO-FCDI-FFCD к бакалавриату, магистратуре и аспирантуре в области науки, техники и технологий для совершенствования системы уровневого STEM-образования.

Ключевые слова: стандарты инженерного образования, the Core CDIO Standards 3.0, дополнительные стандарты Optional CDIO Standards, адаптация, уровневое STEM-образование, триада CDIO-FCDI-FFCD

Для цитирования: Чучалин А.И. Адаптация the Core CDIO Standards 3.0 к высшему STEM-образованию // Высшее образование в России. 2021. Т. 30. № 2. С. 9-21. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-2-9-21

Adaptation of the Core CDIO Standards 3.0 to STEM Higher Education

Original article

DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-2-9-21

Alexander I. Chuchalin – Dr. Sc. (Engineering), Prof, a.chuchalin1952@gmail.com

Tomsk State University, Tomsk, Russia

Address: 36, Lenin Av., Tomsk, 634050, Russian Federation

Abstract. It is proposed to adapt the new version of the internationally recognized standards for engineering education the Core CDIO Standards 3.0 to the programs of basic higher education in the field of technology, natural and applied sciences, as well as mathematics and computer science in the context of the evolution of STEM. The adaptation of the CDIO standards to STEM higher education creates incentives and contributes to the systematic training of specialists of different professions for coordinated teamwork in the development of high-tech products, as well as in the provision of comprehensive STEM services. Optional CDIO Standards are analyzed, which can be used selectively in STEM higher education. Adaptation of the CDIO-FCDI-FFCD triad to undergraduate, graduate and postgraduate studies in the field of science, technology, engineering and mathematics is considered as a mean for improving the system of three-cycle STEM higher education.

Keywords: engineering education, standards for engineering education, the Core CDIO Standards 3.0, adaptation, Optional CDIO Standards, tiered STEM higher education

Cite as: Chuchalin, A.I. (2021). Adaptation of the Core CDIO Standards 3.0 to STEM Higher Education. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. Vol. 30, no. 2, pp. 9-21, doi: 10.31992/0869-3617-2021-30-2-9-21 (In Russ., abstract in Eng.).

Введение

Развитие науки, техники и технологий в условиях нестабильности, неопределённости, сложности и противоречивости современного VUCA-мира вызывает необходимость системного совершенствования высшего образования в области STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) при ведущей роли инженерного образования [1]. Приоритет высшего STEM-образования обусловлен особенностями новой промышленной революции (Industry 4.0), в том числе связанными с конвергенцией физических и биологических технологий с цифровыми технологиями, увеличением доли производства наукоёмкой продукции, цифровизацией всех сфер человеческой деятельности и движением к новому обществу (Society 5.0). Особая роль инженерного образования в системе высшего STEM-образования определяется тем, что оно является системным интегратором достижений науки, техники и технологий, используемых для создания конечных продуктов и услуг, требуемых обществу.

Развитие инженерного образования в XXI в. во многом связано с концепцией CDIO, основанной на консенсусе теории и практики в контексте жизненного цикла основных продуктов инженерной деятельности (*Conceive – Design – Implement – Operate*). Концепция изложена в *CDIO Standards*, определяющих

принципы проектирования инженерных программ, и *CDIO Syllabus*, содержащем требования к результатам освоения программ. Подход CDIO к базовому инженерному образованию успешно применяется в университетах всех ведущих стран мира [2]. Более 120 университетов являются участниками международной инициативы Worldwide CDIO Initiative, в рамках которой они обмениваются лучшими практиками реализации концепции CDIO (<http://www.cdio.org/>).

CDIO Standards периодически пересматриваются и совершенствуются с учётом опыта применения подхода CDIO к инженерному образованию в университетах различных стран. Их новая версия (*The Core CDIO Standards 3.0*) одобрена CDIO Council на ежегодной международной конференции CDIO (8–10 июня 2020), организованной в онлайн-режиме.

В статье обсуждаются 12 основных стандартов CDIO версии 3.0, которые получили приставку *Core*, а также четыре первых дополнительных стандарта, получивших приставку *Optional*, одобренных CDIO Council и предназначенных для выборочного применения. Анализируются другие предложения по совершенствованию стандартов, высказанные участниками Worldwide CDIO Initiative и находящиеся на рассмотрении. Однако главное внимание в статье уделяется адаптации

the Core CDIO Standards 3.0 к базовому высшему образованию не только в сфере инженерии, но и в других областях STEM, что стимулирует и методически поддерживает системный подход к подготовке специалистов разных профессий к согласованной работе в условиях нарастающих интеграционных процессов в науке, технике и технологиях.

Эволюция STEM

Аббревиатура STEM была предложена Национальным научным фондом США (National Science Foundation) в 2001 г. Она обозначает, с одной стороны, важнейшую для человечества область знаний и деятельности, включающую естественные науки, математику, технику и технологии. С другой стороны, термин STEM используется в образовании, когда хотят подчеркнуть важность междисциплинарного подхода к подготовке специалистов, в первую очередь – выпускников инженерных программ, к профессиональной деятельности в области создания наукоёмкой продукции за счёт интеграции естественнонаучных, математических и технических знаний. Учёт интеграционных процессов в области STEM важен как на этапе взаимодействия специалистов разных профессий для более слаженной работы в команде при разделении труда с целью эффективного достижения общего результата, так и на этапе подготовки специалистов для согласования образовательных программ при междисциплинарном подходе к обучению.

Отечественное высшее образование в области естественных наук и математики имеет богатые традиции и всегда отличалось высоким качеством. «Русский метод» подготовки инженеров, сочетающий фундаментальное образование с приобретением практических навыков, также считается одним из лучших в мире. Успехи СССР в развитии космической техники в 1950–60-х гг. во многом были обусловлены успехами в области STEM-образования. Это заставило США принять экстренные меры по совершенствованию естественнонаучной и математической под-

готовки в школах (K-12) и университетах на всех уровнях образования. В настоящее время в США и других развитых странах внимание к STEM-образованию нарастает. В 2018 г. Управление научно-технической политики администрации президента США (Office of Science and Technology Policy) совместно с Комитетом по политике в области STEM-образования (Committee on STEM Education) разработали документ – «Курс на успех: американская стратегия STEM-образования»¹. В нём, в частности, отмечаются интеграционные процессы в современной науке, технике и технологиях, а также указывается на необходимость повышенного внимания в рамках STEM-образования к математической и компьютерной подготовке с учётом цифровых трансформаций в естественных и технических науках.

Признаком интеграционных процессов в высшем STEM-образовании является тот факт, что мировой лидер в области стандартов качества инженерного образования – Совет по аккредитации программ в области техники и технологий США (Accreditation Board for Engineering and Technology – ABET), ранее занимавшийся аккредитацией образовательных программ университетов лишь в области техники (Engineering Programs) и технологий (Engineering Technology Programs), уже несколько лет оценивает программы в области естественных и прикладных (Applied and Natural Science Programs), а также компьютерных наук (Computing Programs) с использованием однотипных по структуре критериев (<https://www.abet.org/>).

В 2017 г. в России была разработана «Стратегия развития инженерного образования в РФ на период до 2020 года». В ней, в частности, отмечается: «Новые технологии

¹ Charting a Course for Success: America's Strategy for Stem Education: A Report by the Committee on Stem Education of the National Science & Technology Council. URL:<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/12/STEM-Education-Strategic-Plan-2018.pdf> (дата обращения: 12.01.2021).

и продукты возникают, как правило, в процессе конвергенции различных областей знаний и базовых технологий. В системе инженерного образования необходимо выделить направления подготовки инженеров, основанные на принципах меж- и мультидисциплинарности, базирующихся, в первую очередь, на глубоком, фундаментальном физико-математическом образовании. Основная компетенция таких инженеров – создание новых конкурентоспособных продуктов на основе интеграции достижений в различных областях знаний и передовых наукоёмких технологий» [3, с. 19]. Стратегия предусматривает (п. 37.1): «а) создание федерального координирующего органа в области поддержки STEM-образования, б) разработку программы школьного STEM-образования, аналогичной программе K-12 ... в) создание условий, стимулирующих учащихся в изучении STEM ... г) повышение качества отбора абитуриентов...» [3, с. 46]. Таким образом, стратегия рассматривает интеграцию составляющих STEM-образования как фактор совершенствования междисциплинарной подготовки инженеров нового поколения для создания всё более сложных и наукоёмких технических объектов, процессов и систем.

Эволюция STEM-образования, в том числе в контексте конвергенции его составляющих и увеличения их количества в условиях взаимопроникновения технической, экономической и социальной культур (STEAM, STREAM, STREAME, STREAMED), сегодня является предметом изучения в России и за рубежом. Предлагаются различные стратегии и варианты развития высшего STEM-образования [4–11]. Одним из вариантов может стать использование методологии совершенствования инженерного образования (как важнейшей составляющей STEM) с использованием концепции CDIO, выраженной в CDIO Standards, успешность применения которых доказана мировой практикой. Поводом для рассмотрения возможности применения идеологии CDIO для совершенствования других составляющих высшего STEM-

образования послужило появление третьей версии стандартов, в которых стали более заметны предпосылки к использованию их в других сферах знаний и деятельности.

CDIO Standards 3.0

Первая версия CDIO Standards была представлена академическому сообществу в 2005 г. на конференции Американского общества по инженерному образованию (American Society for Engineering Education – ASEE) [12]. В 2007 г. в издательстве Springer вышла книга, в которой была подробно изложена концепция CDIO, направленная на модернизацию инженерного образования в соответствии с задачами и особенностями инженерной деятельности в XXI в. [13]. В 2014 г. во втором издании книги предложена новая версия стандартов – CDIO Standards 2.0, дополненная в том числе требованиями к инновационному предпринимательству и лидерским качествам современных инженеров [14]. Книга была переведена на русский язык под научной редакцией автора данной статьи и издана в НИУ ВШЭ [15]. К тому времени подход CDIO к инженерному образованию приобрёл мировую известность и завоевал признание. Ряд ведущих отечественных университетов присоединились к Всемирной инициативе CDIO (Worldwide CDIO Initiative).

В 2017 г. на 13-й Международной конференции CDIO обсуждались предложения университетов – активных участников консорциума по внесению изменений и дополнений в CDIO Standards, в том числе в части введения стандартов по выбору [16]. В 2019 г. предложения были обобщены, что стало основой для создания третьей версии стандартов – CDIO Standards 3.0. В новых стандартах должны были найти отражение вопросы, связанные с устойчивым развитием, цифровизацией, сервисом и компетенциями преподавателей, участвующих в реализации инженерных программ [17].

В *таблице 1* приведены 12 основных стандартов CDIO третьего поколения (The Core CDIO Standards 3.0) для инженерного обра-

Таблица 1

№	The Core CDIO Standards 3.0
1	Context. Adoption of the principle that sustainable product, process, system, and service lifecycle development and deployment – Conceiving, Designing, Implementing and Operating – are the context for engineering education
2	Learning Outcomes. Specific, detailed learning outcomes for personal and interpersonal skills, and product, process, system, and service building skills, as well as disciplinary knowledge, consistent with program goals and validated by program stakeholders
3	Integrated Curriculum. A curriculum designed with mutually supporting disciplinary courses, with an explicit plan to integrate personal and interpersonal skills, and product, process, system, and service building skills
4	Introduction to Engineering. An introductory course that provides the framework for engineering practice in product, process, system, and service building, and introduces essential personal and interpersonal skills and the rationale of sustainability in the context of engineering
5	Design-Implement Experiences. A curriculum that includes two or more design-implement experiences, including one at a basic level and one at an advanced level
6	Engineering Learning Workspaces. A physical learning environment that includes engineering workspaces and laboratories that support and encourage hands-on learning of product, process, system, and service building, disciplinary knowledge, and social learning, combined with a digital learning environment that includes online tools and spaces that support and enhance the quality of teaching and student learning
7	Integrated Learning Experiences. Integrated learning experiences that lead to the acquisition of disciplinary knowledge, as well as personal and interpersonal skills, and product, process, system, and service building skills
8	Active Learning. Teaching and learning based on active and experiential learning methods
9	Enhancement of Faculty Competence. Actions that enhance faculty competence in personal and interpersonal skills, product, process, system, and service building skills, as well as disciplinary fundamentals
10	Enhancement of Faculty Teaching Competence. Actions that enhance faculty competence in providing integrated learning experiences, in using active and experiential learning methods, and in assessing student learning
11	Learning Assessment. Assessment of student learning in personal and interpersonal skills, and product, process, system, and service building skills, as well as in disciplinary knowledge
12	Program Evaluation. A system that evaluates programs against these twelve standards and any optional standards adopted, and provides feedback to students, faculty, and other stakeholders for continuous improvement

зования на языке оригинала [18]. В *таблицах 2–13* стандарты изложены на русском языке под литерой **Е** в смысловом переводе автора статьи. Там же представлены стандарты, адаптированные к базовому высшему образованию в других сферах STEM под литерами **S** (естественные и прикладные науки), **T** (технология) и **M** (математические и компьютерные науки).

Реализация устойчивого CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг (Планирование – Проектирование – Производство – Применение) является контекстом базового высшего инженерного образования (*Табл. 2, Е*). Однако реализация каждого этапа жизненного цикла требует соответствующих научных основ, поскольку инженерная деятельность отличается от технической деятельности тем, что для достижения результата необходимы новые научные знания. Созда-

ние новых знаний является контекстом базового высшего образования в области естественных и прикладных наук (*Табл. 2, S*). В свою очередь, научная и инженерная деятельность не обходится без математического и информационного обеспечения, что является контекстом базового высшего образования в области математических и компьютерных наук (*Табл. 2, M*). Для реализации каждого этапа жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг требуется соответствующее технологическое обеспечение, что является контекстом высшего технологического образования (*Табл. 2, T*). Таким образом, контекст базового инженерного образования адаптируется к контексту базового высшего образования в области естественных и прикладных, математических и компьютерных наук, а также технологий на основе общности решаемых задач и достижения конеч-

Таблица 2

Core CDIO Standard 3.0 1. Context
S. Контекстом базового высшего образования в области естественных и прикладных наук является создание научных основ для реализации устойчивого CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг: Планирование – Проектирование – Производство – Применение
T. Контекстом базового высшего технологического образования является технологическое обеспечение устойчивого CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг: Планирование – Проектирование – Производство – Применение
E. Контекстом базового высшего инженерного образования является реализация устойчивого CDIO – жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг: Планирование – Проектирование – Производство – Применение
M. Контекстом базового высшего образования в области математических и (или) компьютерных наук является математическое и (или) информационное обеспечение устойчивого CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг: Планирование – Проектирование – Производство – Применение

Таблица 3

Core CDIO Standard 3.0 2. Learning Outcomes
S. Результаты обучения, направленные на приобретение дисциплинарных и междисциплинарных знаний, умений и опыта в области STEM, личностных и межличностных компетенций, требуемых для создания научных основ реализации CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг, соответствуют целям программы и согласованы с основными стейкхолдерами
T. Результаты обучения, направленные на приобретение дисциплинарных и междисциплинарных знаний, умений и опыта в области STEM, личностных и межличностных компетенций, требуемых для технологического обеспечения CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг, соответствуют целям программы и согласованы с основными стейкхолдерами
E. Результаты обучения, направленные на приобретение дисциплинарных и междисциплинарных знаний, умений и опыта в области STEM, личностных и межличностных компетенций, требуемых для реализации CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг, соответствуют целям программы и согласованы с основными стейкхолдерами
M. Результаты обучения, направленные на приобретение дисциплинарных и междисциплинарных знаний, умений и опыта в области STEM, личностных и межличностных компетенций, требуемых для математического и (или) информационного обеспечения CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг, соответствуют целям программы и согласованы с основными стейкхолдерами

ных результатов с учётом разделения труда в процессе совместной деятельности.

Для реализации CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг инженерам требуется подготовка с определёнными результатами обучения (Табл. 3, E). Подготовка с соответствующими результатами обучения требуется специалистам других профессий для создания научных основ (Табл. 3, S) и обеспечения инженерного цикла технологически (Табл. 3, T), математически и (или) информационно (Табл. 3, M). Основой подготовки инженеров и специалистов других профессий для слаженной, в том числе командной, работы в системе разделения труда является приобретение ими дисциплинарных и междисциплинарных знаний, умений и опыта

по всем составляющим STEM. При этом структура и содержание научных, математических, информационных, инженерных и технологических знаний, необходимых специалистам разных профессий, зависят от их приоритетов. Спланировать результаты обучения в соответствии с целями образовательных программ, а также согласовать их с основными стейкхолдерами является важнейшей задачей разработчиков программ. Эта задача решается до формирования учебных планов.

Учебные планы подготовки инженеров и специалистов других профессий должны содержать дисциплины и междисциплинарные курсы, обеспечивающие интеграцию достижения запланированных профессиональных, личностных и межличностных компетенций,

Таблица 4

Core CDIO Standard 3.0 3. Integrated Curriculum
С. Учебный план содержит взаимно согласованные дисциплины и междисциплинарные курсы, обеспечивающие необходимое образование в области STEM и интеграцию профессиональных, личностных и межличностных компетенций, требуемых для <i>создания научных основ</i> реализации CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг
Т. Учебный план содержит взаимно согласованные дисциплины и междисциплинарные курсы, обеспечивающие необходимое образование в области STEM и интеграцию профессиональных, личностных и межличностных компетенций, требуемых для <i>технологического обеспечения</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг
Е. Учебный план содержит взаимно согласованные дисциплины и междисциплинарные курсы, обеспечивающие необходимое образование в области STEM и интеграцию профессиональных, личностных и межличностных компетенций, требуемых для <i>реализации</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг
М. Учебный план содержит взаимно согласованные дисциплины и междисциплинарные курсы, обеспечивающие необходимое образование в области STEM и интеграцию профессиональных, личностных и межличностных компетенций, требуемых для <i>математического</i> и (или) <i>информационного обеспечения</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг

Таблица 5

Core CDIO Standard 3.0 4. Introduction to Engineering
С. Вводный курс практической профессиональной деятельности по <i>созданию научных основ</i> реализации CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг даёт начало формированию личностных качеств и навыков межличностного общения, а также осознанию требований устойчивого развития в контексте профессии <i>научного работника</i>
Т. Вводный курс практической профессиональной деятельности по <i>технологическому обеспечению</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг даёт начало формированию личностных качеств и навыков межличностного общения, а также осознанию требований устойчивого развития в контексте профессии <i>технолога</i>
Е. Вводный курс практической профессиональной деятельности по <i>реализации</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг даёт начало формированию личностных качеств и навыков межличностного общения, а также осознанию требований устойчивого развития в контексте профессии <i>инженера</i>
М. Вводный курс практической профессиональной деятельности по <i>математическому</i> и (или) <i>информационному обеспечению</i> CDIO-жизненного цикла CDIO технических объектов, процессов, систем и услуг даёт начало формированию личностных качеств и навыков межличностного общения, а также осознанию требований устойчивого развития в контексте профессии <i>математика</i> и (или) <i>IT-специалиста</i>

позволяющих создавать научные основы (Табл. 4, С), а также технологически (Табл. 4, Т), математически и (или) информационно (Табл. 4, М) обеспечивать реализацию (Табл. 4, Е) CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг.

В учебные планы подготовки инженеров и других специалистов в области STEM должны быть включены начальные практико-ориентированные курсы, соответственно, научной (Табл. 5, С), технологической (Табл. 5, Т), инженерной (Табл. 5, Е), математической и (или) информационной (Табл. 5, М) деятельности для введения студентов в профессию.

В учебные планы подготовки инженеров и специалистов других профессий должны быть включены элементы, направленные на приобретение опыта проектирования и внедрения результатов научной (Табл. 6, С), технологической (Табл. 6, Т), инженерной (Табл. 6, Е), математической и (или) информационной деятельности (Табл. 6, М) соответственно.

Для подготовки специалистов в области STEM необходима образовательная среда, обеспечивающая приобретение дисциплинарных знаний, социальных и практических навыков, требуемых для создания научных основ (Табл. 7, С), технологического обеспе-

Таблица 6

Core CDIO Standard 3.0 5. Design-Implement Experiences
S. Учебный план включает два или более элемента, направленных на приобретение опыта проектирования и внедрения результатов <i>научной</i> деятельности, в том числе на базовом и продвинутом уровнях
T. Учебный план включает два или более элемента, направленных на приобретение опыта проектирования и внедрения результатов <i>технологической</i> деятельности, в том числе на базовом и продвинутом уровнях
E. Учебный план включает два или более элемента, направленных на приобретение опыта проектирования и внедрения результатов <i>инженерной</i> деятельности, в том числе на базовом и продвинутом уровнях
M. Учебный план включает два или более элемента, направленных на приобретение опыта проектирования и внедрения результатов <i>математической</i> и (или) <i>информационной</i> деятельности, в том числе на базовом и продвинутом уровнях

Таблица 7

Core CDIO Standard 3.0 6. Engineering Learning Workspaces
S. Образовательная среда включает лаборатории и пространства для приобретения дисциплинарных знаний, социальных и практических навыков <i>создания научных основ</i> реализации CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг в совокупности с цифровыми образовательными ресурсами и онлайн-инструментами, обеспечивающими качество обучения студентов
T. Образовательная среда включает лаборатории и пространства для приобретения дисциплинарных знаний, социальных и практических навыков <i>технологического обеспечения</i> реализации CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг в совокупности с цифровыми образовательными ресурсами и онлайн-инструментами, обеспечивающими качество обучения студентов
E. Образовательная среда включает лаборатории и пространства для приобретения дисциплинарных знаний, социальных и практических навыков <i>реализации</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг в совокупности с цифровыми образовательными ресурсами и онлайн-инструментами, обеспечивающими качество обучения студентов
M. Образовательная среда включает лаборатории и пространства для приобретения дисциплинарных знаний, социальных и практических навыков <i>математического</i> и (или) <i>информационного обеспечения</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг в совокупности с цифровыми образовательными ресурсами и онлайн-инструментами, обеспечивающими качество обучения студентов

чения (Табл. 7, Т), реализации (Табл. 7, Е), математического и (или) информационного обеспечения (Табл. 7, М) CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг.

При подготовке важно реализовать интегрированное обучение с одновременным приобретением дисциплинарных знаний и формированием профессиональных, личностных и межличностных компетенций, необходимых для научной (Табл. 8, S), технологической (Табл. 8, T), инженерной (Табл. 8, E), математической и (или) информационной (Табл. 8, M) деятельности.

Общей рекомендацией для подготовки специалистов в области STEM является применение активных и деятельностных методов обучения с рациональным сочетанием традиционных *on-campus* и инновационных онлайн-технологий (Табл. 9).

Преподаватели, занимающиеся разработкой и реализацией соответствующих образовательных программ, должны сами участвовать в создании научных основ (Табл. 10, S), технологическом (Табл. 10, T), математическом и (или) информационном (Табл. 10, M) обеспечении и реализации (Табл. 10, E) CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг, непрерывно совершенствуя свои предметные компетенции.

Педагогические компетенции преподавателей также должны постоянно развиваться и совершенствоваться (Табл. 11).

При реализации образовательных программ в области STEM следует адекватно оценивать результаты обучения студентов в части приобретения ими знаний, умений и опыта, необходимых для научной (Табл. 12, S), технологической (Табл. 12, T), инженер-

Таблица 8

Core CDIO Standard 3.0 7. Integrated Learning Experiences
S. За счёт интегрированного обучения достигается одновременное приобретение дисциплинарных знаний и формирование профессиональных, личностных и межличностных компетенций, необходимых для <i>создания научных основ</i> реализации CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг
T. За счёт интегрированного обучения достигается одновременное приобретение дисциплинарных знаний и формирование профессиональных, личностных и межличностных компетенций, необходимых для <i>технологического обеспечения</i> реализации CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг
E. За счёт интегрированного обучения достигается одновременное приобретение дисциплинарных знаний и формирование профессиональных, личностных и межличностных компетенций, необходимых для <i>реализации</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг
M. За счёт интегрированного обучения достигается одновременное приобретение дисциплинарных знаний и формирование профессиональных, личностных и межличностных компетенций, необходимых для <i>математического и (или) информационного обеспечения</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг

Таблица 9

Core CDIO Standard 3.0 8. Active Learning
STEM. Преподавание дисциплин, междисциплинарных курсов и самостоятельная работа студентов осуществляются с применением активных и деятельностных методов обучения при рациональном сочетании <i>on-campus</i> и онлайн-технологий

Таблица 10

Core CDIO Standard 3.0 9. Enhancement of Faculty Competence
S. Предметные компетенции преподавателей в области <i>создания научных основ</i> реализации CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг непрерывно совершенствуются
T. Предметные компетенции преподавателей в области <i>технологического обеспечения</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг непрерывно совершенствуются
E. Предметные компетенции преподавателей в области <i>реализации</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг непрерывно совершенствуются
M. Предметные компетенции преподавателей в области <i>математического и (или) информационного обеспечения</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг непрерывно совершенствуются

Таблица 11

Core CDIO Standard 3.0 10. Enhancement of Faculty Teaching Competence
STEM. Педагогические компетенции преподавателей в области STEM-образования, интегрированного обучения, применения активных и деятельностных методов, рационального сочетания <i>on-campus</i> и онлайн-технологий, а также оценивания учебных результатов, достигнутых студентами, непрерывно совершенствуются

ной (Табл. 12, E), математической и (или) информационной (Табл. 12, M) деятельности, соответственно.

В вузе должна существовать и использоваться на практике система регулярной оценки программ в области STEM на соответствие 12 основным стандартам CDIO и дополнительным стандартам по выбору с участием студентов, преподавателей и других стейкхолдеров. Результаты необходимо использовать для непрерывного совершенствования образовательных программ (Табл. 13).

Требования *The Core CDIO Standard 3.0*, адаптированные к базовому высшему STEM-образованию, целесообразно применять в дополнение к требованиям ФГОС при разработке программ бакалавриата, преимущественно в таких областях знаний, как «Математические и естественные науки» и «Инженерное дело, технологии и технические науки». Однако они могут быть также полезны при проектировании программ, соответствующих другим разделам действующего «Перечня направлений подготовки

Таблица 12

Core CDIO Standard 3.0 11. Learning Assessment
S. Адекватно оцениваются учебные достижения студентов в части приобретения ими дисциплинарных знаний, профессиональных, личностных и межличностных компетенций, необходимых для <i>создания научных основ</i> реализации CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг
T. Адекватно оцениваются учебные достижения студентов в части приобретения ими дисциплинарных знаний, профессиональных, личностных и межличностных компетенций, необходимых для <i>технологического обеспечения</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг
E. Адекватно оцениваются учебные достижения студентов в части приобретения ими дисциплинарных знаний, профессиональных, личностных и межличностных компетенций, необходимых для <i>реализации</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг
M. Адекватно оцениваются учебные достижения студентов в части приобретения ими дисциплинарных знаний, профессиональных, личностных и межличностных компетенций, необходимых для <i>математического</i> и (или) <i>информационного обеспечения</i> CDIO-жизненного цикла технических объектов, процессов, систем и услуг

Таблица 13

Core CDIO Standard 3.0 12. Program Evaluation
STEM. Реализуется система оценки программ на соответствие двенадцати основным стандартам и дополнительным стандартам по выбору, а также обратной связи со студентами, преподавателями и другимистейкхолдерами для непрерывного совершенствования программ

высшего образования – бакалавриата», но имеющих профиль с явно выраженными компонентами STEM. Особые рекомендации по их применению относятся к системной подготовке команд профессионалов для создания наукоёмкой и высокотехнологичной продукции, а также для оказания комплексных услуг в области STEM.

Дальнейшим развитием новой версии стандартов CDIO применительно к STEM-образованию должно стать формирование новой версии учебного плана – *CDIO Syllabus 3.0* с развёрнутыми требованиями к планируемому результату освоения образовательных программ в различных сферах: науке, технике и технологиях.

Optional CDIO Standards

Как уже отмечалось, в период с 2017 по 2019 гг. академическим сообществом Всемирной инициативы CDIO (Worldwide CDIO Initiative) рассматривались предложения дополнить основные стандарты CDIO с целью их актуализации в условиях развития науки, техники и технологий, а также с учётом современных тенденций в высшем образовании. Предложения касались усиления внимания к вопросам устойчивого развития,

цифровизации, математического моделирования, инженерного предпринимательства, интернационализации и международной мобильности, научных исследований, связей с промышленностью, производственной практики студентов, взаимодействия с работодателями, поддержки студентов, а также эволюции стандартов CDIO для их адаптации к магистратуре и аспирантуре [16; 17]. На сегодняшний день из 11 предложений четыре, касающиеся устойчивого развития, математического моделирования, инженерного предпринимательства, интернационализации и международной мобильности, получили поддержку Совета CDIO (CDIO Council). Остальные находятся в стадии рассмотрения.

В *Таблице 14* в оригинале и смысловом переводе приведены формулировки первых четырёх дополнительных стандартов – Optional CDIO Standards, одобренных академическим сообществом и рекомендованных к выборочному применению [19].

Выражение “*Optional CDIO Standards*” вызывает в сообществе неоднозначное отношение. На наш взгляд, приставка “*Optional*” является неудачной применительно к термину “*Standards*”. Ведь стандарты, как правило, не

Таблица 14

№	Optional CDIO Standards	
1	Sustainable Development. A program that identifies the ability to contribute to a sustainable development as a key competence of its graduates. The program is rich with sustainability learning experiences, developing the knowledge, skills and attitudes required to address sustainability challenges.	Устойчивое развитие. Программа определяет способность внести вклад в «устойчивое развитие» как ключевую компетенцию выпускников. Программа богата приобретением опыта усвоения принципов устойчивости, а также развития знаний, умений и суждений, необходимых для решения проблем устойчивого развития.
2	Simulation-based Mathematics. Engineering programs for which the mathematics curriculum is infused with programming, numerical modeling and simulation from the start.	Математика на основе моделирования. В инженерных программах курс математики предусматривает с самого начала изучение математического программирования, численных методов и математического моделирования.
3	Engineering Entrepreneurship. Engineering programs that actively prepare graduates for creating technology-based business ventures, to produce economic and other values for society.	Инженерное предпринимательство. Инженерные программы активно готовят выпускников к созданию технологических бизнес-предприятий, производству экономических и других ценностей для общества.
4	Internationalization & Mobility. Programs and organizational commitment which exposes students to foreign cultures, and promotes and enables transportability of curriculum, portability of qualifications, joint awards, transparent recognition and international mobility.	Интернационализация и мобильность. Программы обучения и организационные мероприятия направлены на ознакомление студентов с зарубежной культурой, способствуют согласованию учебных планов и квалификаций, развитию международной академической мобильности и присуждению совместных степеней.

предполагают выборочного применения. Поэтому даже если мы соглашаемся с обоснованием введения стандартов по выбору стремлением к тому, чтобы сделать всю систему стандартов CDIO более гибкой (flexible) [19], нужно подходить к выбору дополнительных стандартов достаточно критично.

Так, введение дополнительного стандарта, касающегося устойчивого развития (*Sustainable Development*), представляется не вполне обоснованным, поскольку в первый стандарт версии 3.0, определяющий контекст инженерного образования, а также в ряд других из The Core CDIO Standards 3.0 уже внесены изменения, связанные с вопросами устойчивого развития [18]. Кроме того, дополнительный стандарт, касающийся инженерного предпринимательства (*Engineering Entrepreneurship*), по сути, повторяет требования одноимённого раздела 4.8, включённого в структуру CDIO Syllabus 2.0 [14].

Вполне обоснованным можно считать введение дополнительного стандарта, касающегося математической подготовки инженеров, основанной на моделировании (*Simulation-based Mathematics*), и стандарта,

касающегося интернационализации и мобильности (*Internationalization & Mobility*). Действительно, подготовка современных инженеров в области математики требует повышенного внимания к методам математического программирования и компьютерного моделирования технических объектов, процессов и систем, а также к другим методам математической обработки данных в условиях цифровизации инженерной деятельности. Переосмысление математической подготовки инженеров необходимо в связи с интеграцией математики и информатики с наукой и техникой. Что касается интернационализации и мобильности, то эти требования актуальны не только для подготовки инженеров, но и для других сфер высшего образования.

При дальнейшем рассмотрении предложений по введению дополнительных стандартов Совет CDIO рекомендовал в первую очередь более детально проанализировать стандарты, касающиеся связей с промышленностью (*Industry Engagement*), производственной практики студентов (*Workplace Learning*) и взаимодействия с работодателя-

ми (*Workplace and Community Integration*) [19]. Другие предложения, в том числе предложение автора статьи по эволюции стандартов CDIO для их адаптации к магистратуре и аспирантуре [20], очевидно, будут изучены позднее. Таким образом, есть время дополнить CDIO Standards для уровня инженерного образования адаптацией триады CDIO-FCDI-FFCD к другим сферам уровня STEM-образования [21].

Заключение

В условиях конвергенции современной науки, техники и технологий требуется системная подготовка специалистов с высшим образованием в области STEM. Стимулом и методической основой развития системы высшего STEM-образования может стать адаптация новой версии международно признанных стандартов инженерного образования CDIO к программам базового высшего образования в сферах технологий, естественных и прикладных наук, а также математики и компьютерных наук. Адаптированные требования The Core CDIO Standard 3.0 рекомендуется применять в первую очередь для системной подготовки команд профессионалов к созданию наукоёмкой и высокотехнологичной продукции, а также к оказанию комплексных услуг в области STEM. При этом можно также выборочно использовать Optional CDIO Standards, дополняющие основные стандарты CDIO. Для совершенствования системы уровня образования в области науки, техники и технологий целесообразно адаптировать модели CDIO-FCDI-FFCD к бакалавриату, магистратуре и аспирантуре в соответствующих областях знаний и деятельности.

Литература / References

1. Kamp, A. (2016). *Engineering Education in the Rapidly Changing World: Rethinking the Vision for Higher Engineering Education*. 2nd revised edition ed. TU Delft, Faculty of Aerospace Engineering. Available at: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:ae3b30e3-5380-4a07-afb5-dafd30b7b433> (accessed 12.01.2021).
2. Malmqvist, J., Hugo, R., Kjellberg, M. (2015). A Survey of CDIO Implementation Globally-Effects on Educational Quality. In: *Proceedings of 11th International CDIO Conference*. June 8–15, 2015. Chengdu, China.
3. Стратегия развития инженерного образования в Российской Федерации на период до 2020 года. Проект / А.И. Рудской, А.А. Александров, П.С. Чубик, А.И. Боровков, П.И. Романов, А.Н. Шараров. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. 55 с. URL: <https://mpei.ru/umo/HigherEducation/Documents/news/2018/06-03-18.pdf> (дата обращения: 12.01.2021). [Rudskoy, A.I., Alexandrov, A.A., Chubik, P.S., Borovkov, A.I., Romanov, P.I., Sharapov, A.N. (2017). Development Strategy for Engineering Education in the Russian Federation for the Period up to 2020. Draft. St.-Petersburg Polytech. Univ. Publ., Saint-Petersburg, 2017, 55 p. Available at: <https://mpei.ru/umo/HigherEducation/Documents/news/2018/06-03-18.pdf> (accessed 12.01.2021). (In Russ., abstract in Eng.)].
4. Анисимова Т.И., Шатунова О.В., Сабирова Ф.М. STEAM-образование как инновационная технология для Индустрии 4.0 // Научный диалог. 2018. № 11. С. 322–332. [Anisimova, T.I., Shatunova, O.V., Sabirova F.M. (2018). STEAM Education as an Innovative Technology for Industry 4.0. *Nauchnyi dialog = Scientific Dialogue*. No. 11, pp. 322-332.] (In Russ., abstract in Eng.)].
5. Фролов А.В. Реформа инновационной системы США: от STEM к STEAM-образованию // *Alma mater. Вестник высшей школы*. 2013. № 1. С. 101–105. [Frolov, A.V. (2013). Reform of the US Innovation System: From STEM to STEAM Education. *Alma mater (Vestnik vysshei shkoly) = Alma mater (Higher Education Herald)*. No. 1, pp. 101-105. (In Russ., abstract in Eng.)].
6. Langie, G., Pinxten, M. (2018). The Transition to STEM Higher Education: Policy Recommendations. *International Journal of Engineering Pedagogy*. Vol 8, no. 2, pp. 10-13, doi: <https://doi.org/10.3991/ijep.v8i2.8286>
7. Vasilchenko, A. (2017). Self-Flipped Teaching & Learning for STEM in Higher Education. In: *Adjunct Proceedings of 15th European Conference on Computer-Supported Cooperative Work*, Series: Reports of the European Society for Socially Embedded Technologies. Vol. 1, no. 4, doi: http://dx.doi.org/10.18420/ecscw2017_dc7

8. Borrego, M., Henderson, C. (2014). Increasing the Use of Evidence-Based Teaching in STEM Higher Education: A Comparison of Eight Change Strategies. *Journal of Engineering Education*. Vol. 103, no. 2, pp. 220-252, doi: <https://doi.org/10.1002/jee.20040>
9. Kärkkäinen, K., Vincent-Lancrin, S. (2013). Sparking Innovation in STEM Education with Technology and Collaboration: A Case Study of the HP Catalyst Initiative. *OECD Education Working Papers*, No. 91, Paris: OECD Publishing, doi: <http://dx.doi.org/10.1787/5k480sj9k442-en>
10. Love Stowell S.M., Churchill, A.S., Hund, A.K. et al. (2015). Transforming Graduate Training in STEM Education. *Bulletin of the Ecological Society of America*. Vol. 96, no. 2, pp. 317-323, doi: <https://doi.org/10.1890/0012-9623-96.2.317>
11. Türk, N., Kalayci, N., Yamak, H. (2018). New Trends in Higher Education in the Globalizing World: STEM in Teacher Education. *Universal Journal of Educational Research*. Vol. 6, no. 6, pp. 1286-1304, doi: 10.13189/ujer.2018.060620
12. Brodeur, B., Crawley, E. (2005). Program Evaluation Aligned with the CDIO Standards. In: *Proceedings of the 2005 ASEE Conference*. Portland, Oregon, doi: 10.18260/1-2--15474
13. Crawley, E., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D. (2007). *Rethinking Engineering Education – The CDIO Approach*. 1st ed., Springer-Verlag, New York, USA, doi: 10.1007/978-0-387-38290-6
14. Crawley, E.F., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D., Edström, K. (2014). *Rethinking Engineering Education – The CDIO Approach*. 2nd ed., Springer International Publishing, doi: 10.1007/978-3-319-05561-9
15. 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 ВШЭ, 2015. 504 с. [Russian edition: Crawley, E., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D., Edström, K. *Pereosmyslenie inzhenernogo obrazovaniya = Rethinking Engineering Education, the CDIO Approach*. Transl. by S. Ryabushkina, ed. by A. Chuchalin, Moscow: HSE Publ., 2015, 504 p.]
16. Malmqvist, J., Edström, K., Hugo, R. (2017). A Proposal for Introducing Optional CDIO Standards. *Proceedings of the 13th International CDIO Conference*. Calgary, Canada: University of Calgary. Canada, June 18-22, 2017. Available at: http://www.cdio.org/files/document/cdio2017/42/42_Final_PDF.pdf (accessed 12.01.2021).
17. Malmqvist, J., Wedel, M., Lundqvist, U., Edström, K., et al. (2019). Towards CDIO Standards 3.0. *Proceedings of the 15th International CDIO Conference*, Aarhus, Denmark. Available at: <http://www.cdio.org/files/document/file/125.pdf> (accessed 12.01.2021).
18. Malmqvist, J., Edström, K., Rosén, A. (2020). CDIO Standards 3.0 – Updates to the Core CDIO Standards. *Proceedings of the 16th International CDIO Conference*, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden. Available at: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1469617/FULLTEXT02.pdf> (accessed 12.01.2021).
19. Malmqvist, J., Edström, K., Rosén, A. Hugo, R., Campbell, D. (2020). Optional CDIO Standards: Sustainable Development, Simulation-based Mathematics, Engineering Entrepreneurship, Internationalization & Mobility. *Proceedings of the 16th International CDIO Conference*, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 8-10 June 2020. Vol. 1, pp. 48-59. Available at: http://cdio.org/files/document/file/CDIO_Proceedings_2020_Malmqvist.pdf (accessed 12.01.2021).
20. Chuchalin, A., Daneikina, N., Fortin, C. (2016). Application of CDIO Approach to Engineering BEng, MSc and PhD Programs Design and Implementation. *Proceedings of the 12th International CDIO Conference*, Turku University of Applied Sciences, Turku, Finland, June 12-16, 2016. Available at: http://www.cdio.org/files/document/cdio2016/165/165_Paper_PDF.pdf (accessed 12.01.2021).
21. Chuchalin, A. (2018). Three-Cycle Engineering Education Based on the CDIO-FCDI-FFCD Triad. In: Clark, R., Hussmann, P. M., Järvinen, H.-M., Murphy, M. (Eds), Vigild, M. (2018). *Proceedings of the 46th SEFI Annual Conference: Creativity, Innovation and Entrepreneurship for Engineering Education Excellence*. European Society for Engineering Education SEFI, pp. 682-690.

Статья поступила в редакцию 19.08.20

Принята к публикации 20.12.20

The paper was submitted 19.08.20

Accepted for publication 20.12.20