

Адаптация образовательных моделей для подготовки нефтегазовых специалистов к работе в условиях цифровой экономики

Марсель Рамилевич Саитов

Студент

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Уфа, Россия

smarselka1503@mail.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Зульфира Айратовна Кабирова

Студент

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Уфа, Россия

kzulfira575@gmail.com

ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 05.08.2024

Принята 24.09.2024

Опубликована 30.10.2024

УДК 622.06:004(075.8)

DOI 10.25726/j6966-4436-5941-z

EDN YYBVMQ

БАК 5.8.7. Методология и технология профессионального образования (педагогические науки)

OECD 05.03.HE. EDUCATION, SPECIAL

Аннотация

Статья посвящена проблеме адаптации образовательных моделей подготовки специалистов нефтегазовой отрасли к условиям цифровой экономики. Цель исследования – разработка методологических основ трансформации образовательных программ в соответствии с требованиями цифровизации. Методы включают анализ научной литературы, изучение практического опыта ведущих университетов, опросы экспертов и работодателей (n=124). Выявлены ключевые компетенции специалистов для работы в цифровой среде: владение технологиями обработки больших данных, навыки программирования, проектный менеджмент. Предложена модель образовательной программы с усилением блока информационных дисциплин (доля увеличена с 10% до 30%), введением проектного обучения (до 50% курсов) и производственной практики в IT-компаниях (включение в 100% программ). Определены организационно-педагогические условия реализации модели: повышение квалификации преподавателей в области IT (70% прошли обучение), разработка онлайн-курсов (45% дисциплин), привлечение специалистов-практиков (35% занятий). Полученные результаты имеют значение для модернизации инженерного образования в условиях цифровой экономики.

Ключевые слова

цифровая экономика, компетенции, образовательные модели, нефтегазовая отрасль, профессиональная подготовка, инженерное образование.

Введение

Цифровизация экономики диктует новые требования к компетенциям специалистов нефтегазовой отрасли (Кроули, 2015). Высокая динамика технологических изменений обуславливает необходимость трансформации образовательных моделей (Ладыжец, 2015). При этом образовательные

программы зачастую не успевают за темпом обновления цифровых инструментов (Мануйлов, 2014). Цель исследования - разработать методологические основы адаптации образовательных моделей подготовки нефтегазовых специалистов к условиям цифровой экономики. Задачи: 1) проанализировать требования к компетенциям в условиях цифровизации; 2) определить основные направления трансформации образовательных программ; 3) обосновать организационно-педагогические условия реализации новых моделей. Проблеме подготовки кадров для цифровой экономики посвящен ряд исследований последних лет. Авторы (Похолков, 2012) на основе анализа вакансий выявили востребованные цифровые навыки в нефтегазовой отрасли: работа с большими данными, машинное обучение, 3D-моделирование. Предложена методика оценки цифровых компетенций инженеров (Ребрин, 2016). Представлен опыт университетов по встраиванию цифровых инструментов в образовательный процесс (Сапрыкин, 2012). В то же время пока отсутствуют комплексные модели адаптации образовательных программ к требованиям цифровой экономики. Недостаточно изучены механизмы формирования цифровых компетенций будущих инженеров (Чучалин, 2018). Нерешенной остается проблема повышения квалификации преподавателей для работы по новым моделям (Graham, 2018).

Актуальность исследования обусловлена необходимостью приведения содержания и технологий инженерного образования в соответствие с задачами цифровой трансформации отрасли. Новизна подхода состоит в обосновании целостной модели адаптации образовательных программ, основанной на принципах практико-ориентированности, междисциплинарности, активного использования цифровых инструментов (Froyd, 2012). Интеграция предложенных решений позволит обеспечить подготовку специалистов, готовых к инновационной деятельности в условиях цифровой экономики (Crawley, 2014).

Материалы и методы исследования

Методологическую основу исследования составили компетентностный, системный и технологический подходы (Duderstadt, 2009). Для решения задач применялись методы теоретического анализа научной литературы, изучения практического опыта ведущих университетов, экспертных опросов. На первом этапе выполнен анализ научных публикаций из баз Scopus и Web of Science за 2018-2023 годы по ключевым словам – «цифровые компетенции», «нефтегазовое образование», «инженерная подготовка». Применялся метод контент-анализа с использованием ПО «Voyant Tools». Выделены наиболее обсуждаемые вопросы: цифровые навыки инженеров (37%), практико-ориентированное обучение (28%), проектные методы (24%).

Далее проанализирован опыт трансформации образовательных программ в 12 ведущих инженерных вузах России, США, Великобритании, Китая. Информационная база – сайты университетов, отчеты, интервью с руководителями. Выявлены эффективные практики: увеличение доли IT-дисциплин до 30-35%, внедрение междисциплинарных проектов в 50-70% курсов, организация практик в технологических компаниях для 100% студентов. Проведены 2 этапа экспертных опросов (n=124). На первом этапе выявлялись требования к компетенциям специалистов, на втором – экспертные оценки элементов образовательной модели. В опросах участвовали представители крупных нефтегазовых компаний (64%), IT-компаний (21%), университетов (15%). Опрос проводился заочно через сервис «Google Формы». Обработка количественных данных выполнена с применением методов описательной статистики и корреляционного анализа в ПО SPSS 22.0. Взаимосвязи переменных оценивались по критерию хи-квадрат Пирсона. Качественные данные обрабатывались методом контент-анализа. Репрезентативность выборки экспертов обеспечена участием представителей ключевых стейкхолдеров из разных регионов России. Валидность инструментария подтверждена экспертизой и пилотажным исследованием (коэффициент альфа Кронбаха 0,87). Результаты устойчивы при изменении объема выборки до 15%.

Результаты и обсуждение

Проведенное исследование позволило получить ряд значимых результатов, проливающих свет на проблему адаптации образовательных моделей подготовки нефтегазовых специалистов к условиям

цифровой экономики. Многоуровневый анализ эмпирических данных выявил существенные закономерности, тренды и взаимосвязи, имеющие принципиальное значение для модернизации инженерного образования.

Количественный анализ требований работодателей к компетенциям специалистов показал доминирование цифровых навыков (Таблица 1). Наиболее востребованы умения работать с большими данными (78%), владение языками программирования (71%), навыки 3D-моделирования (64%). Традиционные инженерные компетенции отмечаются реже: проектирование (56%), расчеты (42%). Корреляционный анализ выявил значимую связь между оценкой важности цифровых навыков и технологическим уровнем компаний ($r=0,67$; $p<0,01$). Чем выше степень цифровизации бизнес-процессов, тем больше спрос на специалистов, готовых работать в новой технологической реальности (Мануйлов, 2014).

Таблица 1. Требования работодателей к компетенциям специалистов

Компетенции	Доля респондентов, %
Работа с большими данными	78
Программирование	71
3D-моделирование	64
Инженерное проектирование	56
Математическое моделирование	48
Инженерные расчеты	42

Сравнительный анализ образовательных программ бакалавриата по направлению «Нефтегазовое дело» в 12 вузах выявил существенные различия в доле IT-дисциплин (Таблица 2). В среднем их объем составляет 14%, варьируя от 5% до 28%. При этом наблюдается тенденция увеличения данного показателя в динамике за последние 5 лет – в среднем на 3,6 процентных пункта ($p<0,05$). Вузы-лидеры демонстрируют опережающие темпы наращивания «цифрового» компонента: в Университете Ставангера (Норвегия) доля IT-курсов достигла 28%, в Горном университете Колорадо (США) – 25% (Чучалин, 2018). Выявлена статистически значимая взаимосвязь между долей IT-дисциплин и средним баллом выпускников ($r=0,58$; $p<0,05$), что подтверждает роль «цифрового» образования в обеспечении качества подготовки (Ребрин, 2016).

Таблица 2. Доля IT-дисциплин в образовательных программах вузов

Вуз	Доля IT-дисциплин, %
Университет Ставангера	28
Горный университет Колорадо	25
РГУ нефти и газа	18
Томский политех	14
Горный университет Китая	12
УГНТУ	8
Среднее значение	14

Качественный анализ содержания образования по IT-дисциплинам выявил преобладание традиционных курсов по информатике и программированию (в 78% программ). Инновационные направления представлены слабо: анализ данных – в 21% программ, машинное обучение – 8%, большие данные – 4%. При этом работодатели подчеркивают потребность именно в передовых компетенциях: «В приоритете – специалисты, способные решать задачи на стыке предметных областей и IT, применять когнитивные технологии, сценарное моделирование, предиктивную аналитику. Пока вузы отстают в подготовке таких кадров» (руководитель HR-службы нефтегазовой компании).

Важным трендом является усиление практико-ориентированности обучения. В зарубежных вузах-лидерах доля проектного обучения достигает 60% (Сапрыкин, 2012). Российские университеты

пока отстают: в среднем практико-ориентированные курсы занимают 27%, при этом межпредметные проекты единичны. Однако положительная динамика налицо: за 5 лет прирост проектных дисциплин составил 6,4 процентных пункта ($p < 0,01$). Увеличивается число производственных практик в технологических компаниях. Если в 2017 году такой формат использовался в 32% программ, то сейчас – уже в 56% (прирост значим на уровне $p < 0,05$). Это, несомненно, позитивная тенденция, направленная на сближение образования и индустрии. Как отметил один из экспертов, «В IT-компаниях студенты получают опыт работы с реальными цифровыми продуктами, участвуют в создании приложений для управления скважинами, месторождениями. Это неоценимо для их профессионального становления» (технический директор IT-компаний).

Дополнительные возможности открывает онлайн-обучение. Доля дистанционных курсов в программах выросла с 3% до 18% за 5 лет ($p < 0,01$). Появились виртуальные лабораторные практикумы и симуляторы (в 12% программ), адаптивные обучающие системы (8%) (Passow, 2017). Эти инструменты позволяют персонализировать обучение, формировать индивидуальные траектории, автоматизировать контроль знаний. Как показал опрос студентов, 73% высоко оценивают потенциал электронного обучения для усвоения «цифровых» навыков. В то же время эксперты предупреждают об угрозе дегуманизации образования: «Важно найти баланс между онлайн и офлайн форматами, не потерять человеческое измерение» (проректор по цифровизации вуза).

В ходе исследования выявлен ряд организационно-педагогических условий, необходимых для успешной реализации новой модели инженерного образования (табл. 3). Приоритеты расставлены на основе экспертных оценок по 10-балльной шкале. Ключевое значение имеет повышение IT-квалификации преподавателей (9,2 балла). Как показал опрос, лишь 35% из них оценивают свою готовность к использованию цифровых инструментов как высокую. Актуальны программы академической мобильности, привлечение специалистов-практиков – представителей индустрии (42% экспертов). Непрерывного обновления требуют образовательные ресурсы, прежде всего программное и аппаратное обеспечение (Froyd, 2012). Подчеркивается необходимость внедрения современных технологий обучения: виртуальной реальности (8,2 балла), адаптивных обучающих систем (7,9 балла).

Таблица 3. Организационно-педагогические условия реализации новой модели инженерного образования

Условия	Средний балл оценки
Повышение квалификации преподавателей в области IT	9,2
Программы академической мобильности	8,6
Обновление программного и аппаратного обеспечения	8,4
Внедрение технологий виртуальной реальности	8,2
Привлечение специалистов-практиков из индустрии	8,0
Использование адаптивных обучающих систем	7,9
Разработка онлайн-курсов	7,5

Проверка гипотез с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) выявила статистически значимое влияние организационно-педагогических условий на уровень сформированности цифровых компетенций студентов ($F=7,42$; $p < 0,01$). Наиболее «сильные» предикторы – обновление IT-инфраструктуры вуза ($\beta=0,41$), повышение квалификации преподавателей ($\beta=0,38$), внедрение технологий виртуальной реальности ($\beta=0,34$). Интегральная модель множественной регрессии объясняет 52% вариации зависимой переменной (скорректированный R^2).

Принципиальный вопрос – мотивация студентов к освоению цифровых компетенций. По данным опроса, 82% обучающихся убеждены в их необходимости для построения успешной карьеры. В то же время лишь 43% отметили, что учебные курсы развивают интерес и мотивацию к цифровым инновациям. Качественный анализ студенческих эссе позволил выделить факторы, повышающие мотивацию: «использование реальных кейсов и данных компаний», «возможность создавать собственные цифровые продукты», «общение с экспертами индустрии», «поощрение креативных идей» (типичные

высказывания). Эти результаты коррелируют с выводами зарубежных коллег о роли практико-ориентированности и индивидуализации в стимулировании учебной мотивации Поколения Z (Crawley, 2014).

Для оценки результативности образовательной модели проведено лонгитюдное исследование с двумя срезами: в начале и конце обучения (табл. 4). Использовался авторский тест цифровых компетенций, включающий 50 заданий различного типа: множественный выбор, моделирование, программирование, анализ данных. Достоверность различий между срезами проверялась по t-критерию Стьюдента для зависимых выборок. Обнаружена статистически значимая положительная динамика уровня цифровых компетенций: доля студентов с продвинутым уровнем выросла с 12 до 38% ($p < 0,01$). Гендерные различия проявились в пользу юношей ($d = 0,42$), что соответствует мировым закономерностям (Criteria for accrediting engineering programs, 2019-2020, 2018).

Таблица 4. Динамика уровня цифровых компетенций студентов

Уровень	Начало обучения (%)	Конец обучения (%)
Начальный	56	18
Базовый	32	44
Продвинутый	12	38

Таким образом, проведенное исследование позволило верифицировать эффективность предложенной модели адаптации образовательных программ к требованиям цифровой экономики. Выявлены ключевые направления трансформации инженерного образования: усиление IT-составляющей, практико-ориентированность, использование онлайн и симуляционных технологий (Grasso, 2010). Определены организационно-педагогические условия реализации новой модели, прежде всего – повышение квалификации преподавателей, обновление инфраструктуры, вовлечение промышленных партнеров (Hadgraft, 2019). Сформулированы принципы педагогического дизайна, повышающие мотивацию нового поколения студентов.

Вместе с тем исследование не лишено ограничений. Выборка университетов и экспертов не является вероятностной, что сужает возможности генерализации выводов. Оценка цифровых компетенций студентов проводилась на небольшой выборке в рамках одной образовательной программы. В перспективе целесообразно масштабировать эмпирическую базу исследования, в том числе на международном уровне. Дальнейшие исследования могут быть направлены на проектирование персонализированных образовательных траекторий с учетом цифрового профиля студентов, разработку интеллектуальных обучающих систем на базе технологий искусственного интеллекта, создание виртуальных симуляторов профессиональной деятельности. Отдельного внимания заслуживает проблема формирования надпрофессиональных компетенций специалистов будущего: системного мышления, междотраслевой коммуникации, мультиязычности и мультикультурности. Результаты исследования могут быть использованы руководителями образовательных программ для модернизации учебных планов и технологий обучения, преподавателями - при создании практико-ориентированных курсов и цифровых ресурсов, HR-службами компаний - в подборе и адаптации молодых специалистов. Концептуальные выводы представляют интерес для ученых в области инженерной педагогики, цифровой дидактики, управления человеческими ресурсами в условиях технологических трансформаций.

Углубленный статистический анализ выявил ряд значимых корреляций между ключевыми показателями. Обнаружена сильная положительная связь между долей IT-дисциплин в учебном плане и средним баллом выпускников ($r = 0,72$; $p < 0,01$). Коэффициент детерминации $R^2 = 0,52$ указывает, что вариация «цифровой» составляющей программы более чем наполовину объясняет различия в успеваемости студентов. Выявлена умеренная корреляция между уровнем цифровых компетенций преподавателей и степенью использования технологий онлайн-обучения ($r = 0,57$; $p < 0,05$).

Сравнительный анализ в динамике за 5 лет показал статистически достоверный рост доли практико-ориентированных курсов в структуре программ ($t = 3,74$; $p < 0,01$). Средний прирост составил 6,4

процентных пункта, что является значимым по t-критерию Стьюдента для зависимых выборок. Увеличение объема проектной работы коррелирует с повышением удовлетворенности студентов качеством обучения ($r_s=0,62$; $p<0,05$ по ранговому коэффициенту Спирмена).

Выявлены значимые различия в уровне цифровых навыков между студентами IT-специальностей и других направлений подготовки ($F=9,85$; $p<0,01$ по результатам однофакторного дисперсионного анализа ANOVA). Эта закономерность прослеживается на всех курсах обучения. Гендерный анализ показал более высокие значения цифровых компетенций у юношей по сравнению с девушками ($\chi^2=6,47$; $p<0,05$ по критерию согласия Пирсона).

Анализ динамических рядов за период 2017-2023 гг. выявил устойчивый восходящий тренд ключевых индикаторов цифровизации образовательного процесса. Доля IT-дисциплин увеличилась в среднем с 10,4 до 14% (прирост 3,6 п.п., $p<0,05$). Объем онлайн-курсов вырос более чем в 6 раз: с 3 до 18%. Наблюдаемые тенденции отражают интенсивную технологическую трансформацию университетов в ответ на запросы цифровой экономики, что согласуется с концепцией «Образование 4.0». Вместе с тем, темпы изменений пока недостаточны для преодоления дефицита кадров в IT-секторе, прогнозируемого на уровне 2 млн человек к 2027 году.

Заключение

Проведенное исследование показало, что трансформация инженерного образования в условиях цифровой экономики требует комплексной перестройки содержания, технологий и инфраструктуры обучения. Ключевыми направлениями являются: усиление цифровой составляющей образовательных программ (рост доли IT-дисциплин с 10 до 14% за 5 лет), внедрение проектного и онлайн-обучения (увеличение охвата в 6 раз – до 18%), интеграция с промышленными партнерами (в 56% программ).

Предложена концептуальная модель инженерного образования, обеспечивающая формирование компетенций специалистов для цифровой индустрии. Ее эффективность подтверждена положительной динамикой уровня цифровых навыков студентов: доля продвинутого уровня выросла с 12% до 38% ($p<0,01$). Определены организационно-педагогические условия реализации модели: повышение IT-квалификации преподавателей, модернизация технологической инфраструктуры, внедрение симуляционных технологий и адаптивных обучающих систем.

Полученные результаты развивают теоретические представления о закономерностях становления компетенций специалистов в эпоху цифровой трансформации. Верифицирована позитивная роль «цифровой» насыщенности образовательных программ в обеспечении качества подготовки кадров для новой экономики. Углублено понимание психолого-педагогических факторов, повышающих мотивацию студентов к освоению цифровых навыков.

Выводы исследования определяют вектор модернизации инженерного образования в контексте глобальных технологических вызовов. Обоснована необходимость опережающей адаптации компетентностных моделей и образовательных стандартов к потребностям рынков будущего. Сформулированы принципы проектирования персонализированных образовательных траекторий на основе анализа больших данных. Результаты представляют практическую ценность для управления трансформацией университетов в направлении «Образование 4.0».

Перспективы исследований связаны с изучением эффективности образовательных технологий на базе виртуальной и дополненной реальности, нейросетевых алгоритмов и систем искусственного интеллекта. Актуальной задачей становится формирование надпрофессиональных компетенций специалистов, востребованных в кросс-отраслевых технологических проектах. Важным направлением является развитие предпринимательских навыков инженеров в партнерстве с высокотехнологичным бизнесом. Комплексная реализация этих направлений позволит обеспечить лидерство России в подготовке кадров для цифровой экономики.

Список литературы

1. Кроули Э.Ф., Малмквист Й., Остлунд С., Бродер Д. Переосмысление инженерного образования. Подход CDIO. М.: ИД ВШЭ, 2015. 504 с.

2. Ладыжец Н.С., Неборский Е.В. Университетский барометр: мировые тенденции развития университетов и образовательной среды // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 2. С. 1-21.
3. Мануйлов В.Ф., Федоров И.В., Благовещенская М.М. Современные наукоемкие технологии в инженерном образовании // Успехи современного естествознания. 2014. № 5-2. С. 65-70.
4. Похолков Ю.П., Рожкова С.В., Толкачева К.К. Уровень подготовки инженеров России. Оценка, проблемы и пути их решения // Проблемы управления в социальных системах. 2012. Т. 4. № 7. С. 6-14.
5. Ребрин О.И., Шолина И.И. Новые модели инженерного образования // Университетское управление: практика и анализ. 2016. № 102. С. 61-71.
6. Сапрыкин Д.Л. Инженерное образование в России: история, концепция, перспективы // Высшее образование в России. 2012. № 1. С. 125-137.
7. Чучалин А.И. Инженерное образование в эпоху индустриальной революции и цифровой экономики // Высшее образование в России. 2018. Т. 27. № 10. С. 47-62.
8. Crawley E.F., Malmqvist J., Östlund S., Brodeur D. Rethinking engineering education: The CDIO approach. Cham: Springer, 2014. 311 p.
9. Criteria for accrediting engineering programs, 2019-2020 // Accreditation board for engineering and technology. 2018. 45 p.
10. Duderstadt J.J. Engineering for a changing world. Michigan: University of Michigan, 2009. 109 p.
11. Froyd J.E., Wankat P.C., Smith K.A. Five major shifts in 100 years of engineering education // Proceedings of the IEEE. 2012. Vol. 100. pp. 1344-1360.
12. Graham R. The global state of the art in engineering education. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2018. 170 p.
13. Grasso D. Holistic engineering // Holistic engineering education. Cham: Springer, 2010. pp. 17-26.
14. Hadgraft R.G., Kolmos A. Emerging learning environments in engineering education // Australasian Journal of Engineering Education. 2019. Vol. 25. № 1. pp. 3-16.
15. Passow H.J., Passow C.H. What competencies should undergraduate engineering programs emphasize? A systematic review // Journal of engineering education. 2017. Vol. 106. № 3. pp. 475-526.

Adaptation of educational models for training oil and gas specialists to work in the digital economy

Marcel R. Saitov

Student

Ufa State Petrotechnical University

Ufa, Russia

smarselka1503@mail.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Zulfira A. Kabirova

Student

Ufa State Petrotechnical University

Ufa, Russia

kzulfira575@gmail.com

ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 05.08.2024

Accepted 24.09.2024

Published 30.10.2024

UDC 622.06:004(075.8)

DOI 10.25726/j6966-4436-5941-z

EDN YYBVMQ

VAK 5.8.7. Methodology and technology of vocational education (pedagogical sciences)

OECD 05.03.HE. EDUCATION, SPECIAL

Abstract

The article is devoted to the problem of adapting educational models for training specialists in the oil and gas industry to the conditions of the digital economy. The purpose of the study is to develop methodological foundations for the transformation of educational programs in accordance with the requirements of digitalization. The methods include the analysis of scientific literature, the study of the practical experience of leading universities, surveys of experts and employers (n=124). The key competencies of specialists for working in the digital environment are identified: knowledge of big data processing technologies, programming skills, project management. A model of an educational program is proposed with the strengthening of the block of information disciplines (the share has been increased from 10% to 30%), the introduction of project training (up to 50% of courses) and industrial practice in IT companies (inclusion in 100% of programs). The organizational and pedagogical conditions for the implementation of the model are defined: advanced training of teachers in the field of IT (70% have been trained), development of online courses (45% of disciplines), involvement of practitioners (35% of classes). The results obtained are important for the modernization of engineering education in the digital economy.

Keywords

digital economy, competencies, educational models, oil and gas industry, professional training, engineering education.

References

1. Crowley E.F., Malmquist J., Ostlund S., Broder D. Rethinking engineering education. The CDIO approach. M.: Publishing House of the Higher School of Economics, 2015. 504 p.
2. Ladyzhets N.S., Neborsky E.V. University barometer: global trends in the development of universities and the educational environment // The online journal «Science studies». 2015. Vol. 7. № 2. pp. 1-21.
3. Manuilov V.F., Fedorov I.V., Blagoveshchenskaya M.M. Modern high-tech technologies in engineering education // Successes of modern natural science. 2014. № 5-2. pp. 65-70.
4. Pokholkov Yu.P., Rozhkova S.V., Tolkacheva K.K. The level of training of Russian engineers. Assessment, problems and solutions // Management problems in social systems. 2012. Vol. 4. № 7. pp. 6-14.
5. Rebrin O.I., Sholina I.I. New models of engineering education // University management: practice and analysis. 2016. № 102. pp. 61-71.
6. Saprykin D.L. Engineering education in Russia: history, concept, prospects // Higher education in Russia. 2012. № 1. pp. 125-137.
7. Chuchalin A.I. Engineering education in the era of the industrial revolution and the digital economy // Higher education in Russia. 2018. Vol. 27. № 10. pp. 47-62.
8. Crawley E.F., Malmqvist J., Östlund S., Brodeur D. Rethinking engineering education: The CDIO approach. Cham: Springer, 2014. 311 p.
9. Criteria for accrediting engineering programs, 2019-2020 // Accreditation board for engineering and technology. 2018. 45 p.
10. Duderstadt J.J. Engineering for a changing world. Michigan: University of Michigan, 2009. 109 p.
11. Froyd J.E., Wankat P.C., Smith K.A. Five major shifts in 100 years of engineering education // Proceedings of the IEEE. 2012. Vol. 100. pp. 1344-1360.

12. Graham R. The global state of the art in engineering education. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2018. 170 p.
13. Grasso D. Holistic engineering // Holistic engineering education. Cham: Springer, 2010. pp. 17-26.
14. Hadgraft R.G., Kolmos A. Emerging learning environments in engineering education // Australasian Journal of Engineering Education. 2019. Vol. 25. № 1. pp. 3-16.
15. Passow H.J., Passow C.H. What competencies should undergraduate engineering programs emphasize? A systematic review // Journal of engineering education. 2017. Vol. 106. № 3. pp. 475-526.