

МРНТИ 14.35.09

<https://doi.org/10.26577/RCPH.2022.v83.i4.08>Ю.П. Похолков^{1,2} , И.О. Муравлев¹ , М.Ю. Червач^{1*} ¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия г. Томск²Ассоциация инженерного образования России, Россия, г. Москва*e-mail: chervachm@tpu.ru

МЕТОДИКА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНЦИЙ, ПРИБРЕТАЕМЫХ СТУДЕНТАМИ В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ФИЗИКО-ХИМИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ»

В данной статье предложен детерминированный (не вероятностный) подход к оценке результатов обучения (РО) с использованием простейшей математической модели на примере оценки результата обучения студентов высших учебных заведений по дисциплине «Физико-химия диэлектрических материалов». Реализация этого подхода предполагает последовательное движение в условиях принятых допущений от общего непротиворечивого понятия «качество инженерного образования» к его составляющим, детализации результатов обучения, их количественной оценке и, с учётом требуемых уровней результатов обучения, как по основной образовательной программе (ООП) в целом, так и по конкретным дисциплинам в неё входящим.

Предложены и описаны принципы построения и реализации рабочей программы любой из дисциплин, входящих в ООП. Предложенные нами в работе алгоритм оценки уровня освоения студентом планируемых компетенций и математическая модель позволяют осуществить количественную оценку «знаниевой» и «деятельностной» составляющих образования и, в конечном итоге, количественную оценку уровня освоения студентом запланированных компетенций. Использованный подход, алгоритм, а также математическая модель могут быть применены преподавателем для самооценки и выработки мер по совершенствованию учебного процесса.

Ключевые слова: инженерное образование, учебный процесс, результаты обучения, компетентностный подход, математическая модель, дисциплины естественнонаучного цикла, количественная оценка.

Yu. Pokholkov^{1,2}, I. Muravlev¹, M. Chervach^{1*}¹National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk²Association for Engineering Education of Russia, Russia, Moscow*e-mail: chervachm@tpu.ru

Methodology and mathematical model for assessing competencies acquired by students in the process of studying the discipline "Physical Chemistry of Dielectric Materials"

The article proposes a deterministic (not probabilistic) approach to assessing learning outcomes (LO), using a simple mathematical model for assessing the results of students' learning within a course "Physical Chemistry of Dielectric Materials". Implementation of this approach involves a consistent shift, under the conditions of the assumptions made, from a general consistent concept of "quality of engineering education" to its components, detailing the learning outcomes, their quantitative assessment and, taking into account the required levels of learning outcomes, both for the main educational program in general, and for specific courses included in it. Principles for design and implementation of any course syllabus included in a study program are proposed and described. Both, the proposed algorithm for assessing student's level of mastering of the expected competencies and the mathematical model allow for a quantitative assessment of the "knowledge" and "activity" components of education and, ultimately, a quantitative assessment of the level of student's mastering of the planned competencies. The proposed approach, algorithm and mathematical model can be used by teachers for self-assessment and improvement of the educational process.

Key words: engineering education, educational process, learning outcomes, competence approach, mathematical model, disciplines of the natural science cycle, quantification.

Ю.П. Похолков^{1,2}, И.О. Муравлев¹, М.Ю. Червач^{1*}

¹ Томск политехникалық ұлттық зерттеу университеті, Ресей, Томск қ.

² Ресейдің инженерлік білім беру қауымдастығы, Ресей, Мәскеу қ.

*email: chervachm@tpu.ru

«Диэлектрлік материалдардың физикалық химиясы» пәнін оқу барысында студенттердің алған құзыреттіліктерін бағалаудың әдістемесі мен математикалық моделі

Бұл зерттеу жұмысында «Диэлектрлік материалдардың физикалық химиясы» пәні бойынша жоғары оқу орындары студенттерінің оқу нәтижесін бағалау мысалында қарапайым математикалық модельді пайдалана отырып, оқу нәтижелерін (ОН) бағалаудың детерминирленген (ықтималдық емес) тәсілі ұсынылған және нәтижелері тексерілген. Бұл тәсілді жүзеге асыру қабылданған жорамалдар жағдайында «инженерлік білім сапасы» жалпы дәйекті тұжырымдамасынан оның құрамдас бөліктеріне, оқыту нәтижелерін егжей-тегжейлі көрсетуге, олардың сандық бағасына және қажетті деңгейлерді ескере отырып, жалпы жағдайда негізгі білім беру бағдарламасындағы (НБББ) сияқты және оған енгізілген нақты пәндер үшін оқу нәтижелері бойынша да дәйекті қозғалысты болжайды.

Мақалада негізгі білім беру бағдарламасына кіретін кез келген пәннің жұмыс бағдарламасын құру және орындау принциптері ұсынылып, сипатталған. Оқушының жоспарланған құзіреттіліктерді меңгеру деңгейін бағалаудың ұсынылған алгоритмі және математикалық моделі білім берудің білім мен іс-әрекет компоненттерін сандық бағалауға, сайып келгенде, оқушының жоспарланған құзыреттіліктерді меңгеру деңгейін сандық бағалауға мүмкіндік береді. Қолданылған тәсілді, алгоритмді, сондай-ақ математикалық модельді жаратылыстану пәндердің оқытушысы өзін-өзі бағалау және оқу-тәрбие процесін жетілдіру шараларын әзірлеу үшін пайдалана алады.

Түйін сөздер: инженерлік білім, тәрбие процесі, оқыту нәтижелері, құзыреттілік көзқарас, математикалық модель, жаратылыстану циклінің пәндері, сандық бағалау.

Введение

Качество инженерного образования – тема, которая не сходит со страниц изданий, публикующих статьи по проблемам образования [1-3].

Результаты обучения будущих специалистов в области техники и технологии, полученные в высших учебных заведениях, далеко не всегда соответствуют требованиям многочисленных стейкхолдеров, спектр требований которых разнообразен, а иногда и противоречив. Свидетельством этого несоответствия является наличие на предприятиях системы «доучивания» выпускников инженерных образовательных программ, продолжительный период их адаптации к условиям производства. Наиболее убедительно демонстрация этого факта подтверждается организацией корпоративных университетов при крупных корпорациях, таких как, например, в России – Газпром, Росатом и другие [4].

Причин такого положения несколько, и их анализ мы можем встретить в статьях авторитетных специалистов в сфере инженерного образования, экспертов и представителей, как

академического сообщества, так и предприятий реального сектора экономики [5-8].

Содержание образовательных программ, образовательные технологии, оборудование, инфраструктура вуза, квалификация профессорско-преподавательского состава, в том числе и их производственный опыт, методы и формы контроля результатов обучения, связь с предприятиями и инжиниринговыми структурами ведущих компаний, рутинность и косность в деятельности – всё это факторы, от которых зависит уровень подготовки специалистов в области техники и технологии и, в конечном итоге, технологическое благополучие общества [9,10].

Общепринятой, традиционной системой оценки уровня подготовки выпускников высших учебных заведений, в том числе и инженерных, является пятибалльная система, которая используется как в процессе обучения (назначение различного уровня стипендий, определение победителей в конкурсах и пр.), при окончании вуза (диплом с отличием), так и при приёме на работу.

Осознание научно-образовательным сообществом того, что такая оценка далеко не всегда может служить единственным критерием

оценивания результатов обучения и степени подготовки выпускника к реальной производственной деятельности пришло в последние 15-20 лет в связи с научно-технической революцией, охватившей, по существу, весь мир [11]. Мир кардинально меняется, и система образования, традиционно консервативная, медленно, но всё-таки следует этим изменениям. В системе средних учебных заведений появилась инициатива Worldskills, позволяющая оценивать навыки практической деятельности выпускников учебных заведений среднего профессионального образования (СПО) [12].

В системе высшего инженерного образования стали использовать, так называемый, компетентностный подход при конструировании образовательных программ и рабочих программ дисциплин.

В связи с этим, возникла необходимость модернизации образовательных технологий и усовершенствования системы контроля результатов обучения. Интерактивность в образовательном процессе, вовлечение в него студентов, увеличенный объём их самостоятельной работы, проектно-организованное, проблемно- и практико-ориентированное обучение – всё это можно считать иллюстрацией изменений в системе высшего образования. В мировой и российской практике инженерного образования можно увидеть яркие и эффективные примеры таких инноваций. Это, например, инициатива CDIO, начавшая своё движение из Массачусетского технологического института (MIT, USA) ещё в 2000 году, система группового проектного обучения Томского университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), базовые кафедры на предприятиях и в организациях реального сектора экономики, мобильность в образовании (совместные образовательные программы), позволяющая студентам учиться по программам различных университетов – программа Heriot-Watt (UK) и Томского политехнического университета в области нефтегазового дела и другие [13-15].

В то же время, даже поверхностный анализ состояния учебного процесса в инженерных вузах позволяет увидеть типичные и стойкие недостатки в их деятельности, которые сдерживают их движение в направлении повышения качества инженерного образования.

Первым и наиболее стойким недостатком, по нашему мнению, является формальное и неформальное признание среднего балла, набранного учащимся за период обучения, в качестве итоговой оценки результата обучения.

Следование традиционным методам организации учебного процесса (лекции, практические занятия, лабораторные работы...) больше склоняет систему к такому же традиционному методу контроля результатов обучения (экзамены и зачёты).

Использование компетентностного подхода к проектированию образовательной программы и разработке рабочих программ дисциплин становится пустой формальностью при сохранении традиционного способа обучения и методов контроля его результатов. Мы продолжаем преимущественно формировать и контролировать знания, не уделяя должного внимания не только двум другим важным составляющим любой компетенции – умениям и навыкам, но даже не оценивая уровень осведомлённости студентов об умениях.

Указанные недостатки в различной степени проявляются на разных стадиях обучения, но в целом следует признать, что преимущественно мы учим знаниям и контролируем знания, а реальная производственная деятельность требует не только их, но также умения и навыки или, по крайней мере, хотя бы достаточный уровень осведомлённости студента о необходимых умениях.

Фундаментальные знания, формируемые на начальной стадии инженерного образования безусловно необходимы будущему специалисту. Физика, математика, химия, инженерная графика и другие дисциплины, создающие фундамент для будущей инженерной деятельности и развивающие в мозге систему нейронных связей, часто представляются студентам весьма абстрактными и формальными – нужно выучить и сдать экзамен [16]. Реальное изложение курса и фонд оценочных средств, формируемых преподавателем, также в большей степени нацелены на контроль знаний. О компетенциях, описанных в основной образовательной программе и в рабочей программе дисциплины, как правило не упоминается или, в лучшем случае, речь идёт об умениях выполнять лабораторные работы или типовые задания.

Целью данной работы является попытка использовать детерминированный (не вероятностный) подход к частичной оценке результатов обучения, с использованием простейшей математической модели на примере оценки результата обучения студентов по дисциплине «Физико-химия диэлектрических материалов».

За основу могут быть приняты материалы, опубликованные в статье «Подходы к оценке и

обеспечению качества инженерного образования» [17].

В целом, обеспечение качества инженерного образования предполагает более широкий набор характеристик, чем компетенции, включающие знания, умения и навыки/владения. В этот набор характеристик входит также уровень сформированности у выпускников инженерных программ мировоззрения устойчивого развития, степень развития инженерного мышления и уровень мотивации к самосовершенствованию, получению новых компетенций и труду в выбранной сфере инженерной деятельности.

Этот набор, возможно и не полный, был сформирован с учётом мнения групп экспертов, являющихся представителями образовательного научного и инженерного сообществ из различных сфер инженерной деятельности.

Материалы и методы

Методология выполняемой работы предполагает использование метода дедукции – «от общего к частному» и метода индукции – «от частного к общему».

Метод «от общего к частному» позволяет учесть один из важных девизов ООН, ориентирующих человеческое сообщество на достижение целей устойчивого развития: «думать глобально – действовать локально».

Реализация этого подхода предполагает последовательное движение, в условиях принятых допущений, от общего непротиворечивого понятия «качество инженерного образования» к его составляющим: детализации результатов обучения, их количественной оценки с учётом требуемых уровней результатов обучения, как по основной образовательной программе (ООП) в целом, так и по конкретным дисциплинам в неё входящим. Метод «от частного к общему» позволяет от оценки отдельных составляющих результатов обучения перейти к обобщённому результату обучения и, в конечном итоге, к оценке уровня подготовленности выпускника к успешной профессиональной инженерной деятельности в выбранном направлении.

Выбранная методология предполагает использование системного подхода, методов социологических исследований (опросы, анкетирование), математического моделирования, статистической обработки результатов, а также использования метода экспертного семинара [18].

При организации алгоритма действий и разработке математической модели оценки

результатов обучения студентов по основной образовательной программе и рабочей программы любой из дисциплин, входящих в ООП, авторы следовали следующим принципам и ограничениям:

Принцип целевой подготовки реализуется путём согласования с руководителем ООП, а возможно и с конкретными стейкхолдерами самой цели рабочей программы, результатов обучения, требований к граничным значениям обобщённого показателя результатов обучения по дисциплине, а также к методам и формам их количественной оценки.

Принцип ориентации на измеряемые признаки реализуется путём выбора и использования тех признаков, ориентация на которые позволяет осуществить количественную оценку исследуемого параметра.

Принцип комплексности предполагает, что показатель, характеризующий результаты обучения – сложная комплексная характеристика, при оценке которой должен быть учтён вклад (удельный вес) каждой составляющей в общий итоговый результат.

Принцип единства размерностей реализуется выбором единой шкалы (0 – 1) для оценки уровня достигнутых результатов обучения (общих и частных), обеспечивающей возможность получения сравнительных оценок при проведении корректирующих мероприятий по управлению результатами обучения. Реализация принципа обеспечивается выбором для измерения признаков таких показателей как «доля» и/или «удельное значение», отнесённое к максимальному значению, назначенному руководителем ООП.

Принцип инвариантности обеспечивается возможностью применения системы для количественной оценки результатов обучения конкретного студента, как по отдельной дисциплине, так и в целом по ООП. Также система может использоваться для оценки достижения планируемых результатов обучения группы или потока студентов.

Допущения:

1. Обобщённые результаты обучения по конкретной дисциплине:

планируемый набор компетенций, обозначенных в рабочей программе дисциплины и согласованных с руководителем, стандартом вуза и другими требованиями;

2. В каждой компетенции имеется «знаниевая» и «деятельностная» составляющие результата обучения;

3. Уровень достижения «знаниевой» составляющей оценивается по отношению балла,

полученного студентом на экзамене к максимально возможному (5);

4. Уровень достижения «деятельностной» составляющей оценивается по уровню осведомлённости студента об умениях с возможностью корректировки его оценки преподавателем с учётом результатов студента, демонстрирующего практические умения и навыки.

Обзор литературы

В последние десятилетия наблюдается резкий рост научного и межгосударственного интереса к повышению качества образования, в частности – к повышению академической успеваемости в системе высшего образования. Доказательством этого может служить приверженность Болонскому процессу в Европе, развитие таких масштабных проектов, как Tuning, возрастающий интерес к аккредитации программ ВПО, формирование во многих странах квалификационных рамок и появление многонациональных рейтинговых инициатив, таких как Umap и U-Multirank [19].

С 2000х годов в мировом образовательном сообществе начинается постепенный процесс трансформации традиционной системы оценки академической успеваемости. В системе высшего инженерного образования всё чаще появляются предложения по оценке качества образования с точки зрения ожидаемых результатов обучения и компетенций выпускников, а не предметного содержания образовательных программ. В основе пересмотра и модернизации учебных программ лежат согласованные результаты обучения выпускников, обозначенные национальными и интернациональными аккредитационными агентствами. На международном уровне уделяется большое внимание поиску единообразия в выборе и формулировании результатов обучения, эта работа ведется органами, занимающимися как профессиональной, так и образовательной аккредитацией: Вашингтонское соглашение (WA), Европейская сеть аккредитации инженерного образования (ENAE), Совет по аккредитации программ в области техники и технологий (ABET), Инженеры Австралии (EA), Агентство по обеспечению качества высшего образования Великобритании (QAA), Процесс Tuning, ЕС и др. [20].

Несмотря на наличие глубокой теоретической базы компетентностного подхода в

образовательном процессе, существует проблема создания и внедрения комплексной системы мониторинга и оценки результатов обучения студентов вуза [21].

Научное сообщество отмечает, что оценивание результатов обучения, в том числе компетенций, является сложной процедурой и требует применения универсальных подходов к созданию системы критериев, показателей, шкал, единиц и инструментов оценивания [22].

Изучение и анализ российского опыта применения различных методик оценки академической успеваемости студентов позволило сформировать перечень наиболее распространенных методов и инструментов оценки (таблица 1).

Как видно из таблицы 1, ряд методов оценки успеваемости, широко применяемых в российской системе ВПО, можно отнести к традиционным методам, которые преимущественно нацелены на оценку «знаниевой», а не «деятельностной» компоненты результатов обучения. Ориентация на формирование и оценку знаний, а не умений и навыков/владений, является одной из главных причин недовольства стейкхолдеров образовательного процесса (в первую очередь – работодателей) качеством подготовки будущих специалистов [26].

Замятин А.М. в своей работе [24] определяет ряд базовых требований к системе объективной и непротиворечивой оценки результатов обучения:

- мониторинг знаний, умений и навыков;
- мониторинг оценки компетенций;
- объективность результатов мониторинга;
- высокий уровень валидности ФГОС;
- сопоставимость приобретенных компетенций и методов контроля будущей профессиональной деятельности выпускников;
- возможность обратной связи (управление процессом обучения);
- обобщение результатов.

Для выполнения этих требований необходимо применение системного подхода при создании механизма оценки результатов обучения. Так, оценочные средства должны обеспечивать мониторинг уровня освоения всех компонентов результатов обучения; оценка должна быть проведена с учетом требований всех ключевых стейкхолдеров образовательного процесса.

Таблица 1 – Методы и инструменты оценки успеваемости студентов вузов РФ [22-25]

№ п/п	Метод, инструмент оценки успеваемости	Краткое описание	Предмет оценки
1	Контрольная работа	Проверка знаний для решения задач определенного типа	Соответствие предполагаемым ответам, правильность алгоритма действий, логика рассуждения, нестандартный подход
2	Коллоквиум	Проверка знаний	Предметные знания, кругозор студента, умение логически выстраивать свой ответ
3	Доклад, публичное выступление	Проверка знаний, мягких (универсальных) навыков – soft skills	Умение презентовать результаты работы, выступать перед аудиторией
4	Эссе	Творческая задача, стимулирует исследовательскую деятельность	Предметные, отвлеченные и методологические знания, исключается элемент случайности
5	Портфолио	Подборка сертифицированных достижений студента, наиболее значимых работ и отзывов на них	Различные аспекты РО в зависимости от применяемых методов оценки Интеграция количественной и качественной оценок деятельности студента
6	Балльно-рейтинговая система	Позволяет проследить объективную динамику освоения РО по дисциплине	Различные аспекты РО в зависимости от применяемых методов оценки
7	Тестирование в LMS	Независимая оценка учебных достижений с применением электронной среды обучения	Различные аспекты РО в зависимости от применяемых методов оценки
8	Кейс-метод	Самостоятельное и творческое решение реальной профессиональной задачи	Знания и осведомленность об умениях (в т.ч. понимание алгоритмов)
9	Метод проектов (проектный метод)	Самостоятельное и/или групповое творческое решение реальной профессиональной задачи, вовлечение в учебный процесс	Знания, осведомленность об умениях, мягкие навыки, в т.ч. индивидуальная и групповая работа
10	Педагогические тесты	Тестирование на основе теории педагогических измерений (психометрии, теории IRT, тестологии) с применением математических моделей	Различные аспекты РО в зависимости от содержания и формата тестовых заданий. Позволяют дать наиболее объективные результаты тестирования

Наиболее подходящим инструментом для такой оценки являются педагогические тесты, в основе которых лежит математическая модель, позволяющая провести независимую, объективную оценку. При этом содержание и формат тестовых заданий могут и должны быть разработаны экспертными группами, включающими представителей как образовательного, так и профессионального сообщества. Однако, в настоящее время в российских инженерных школах отсутствует единая система оценки результатов обучения; взаимодействие вузов с работодателями зачастую является формальным; а в образовательной среде проявляется инертность к развитию методов оценки и приверженность устоявшимся системам оценки успеваемости [24].

В то же время международное инженерное образовательное сообщество активно развивает

проекты различного масштаба, направленные на создание системы объективной оценки результатов обучения.

Существенных достижений в этой сфере добились представители системы среднего профессионального образования. Одной из ярких и масштабных инициатив в этой области является WorldSkills – система, направленная на повышение статуса и стандартов профессиональной подготовки и квалификации, в том числе посредством проведения национальных и международных чемпионатов рабочих профессий. С 2017 года в России внедряется проведение государственной итоговой и промежуточной аттестации по программам СПО в формате демонстрационного экзамена WorldSkills. В основе чемпионатов и экзаменов лежат тестовые задания, позволяющие

оценить различные компоненты формируемых компетенций [27].

Среди других международных инициатив по оценке результатов обучения в СПО следует отметить:

- Проект COMET (Развитие и оценка компетенций в СПО) – немецкая инициатива, направленная на комплексную диагностику компетенций студентов СПО. Диагностика проводится на основе тестирования. Тестовые задания разработаны на основе типовых профессиональных задач и включают комплексные предметно-ориентированные задания. Участникам дается 120 минут на выполнение 4 открытых тестовых заданий, ответы на вопросы, связанные с оценкой профессиональной идентичности, а также заполнение анкет с контекстной информацией [28].

- Проект WorkKeys (США), нацеленный на оценку универсальных навыков, необходимых молодым специалистам при первичном трудоустройстве. Проводится в формате компьютерного тестирования. Оценивает владение 11 навыками, в т.ч. математическая грамотность, навык работы с рабочими документами, способность извлекать информацию из графических материалов, навык чтения текстов, коммуникативные навыки и др. Участники, успешно прошедшие тестирование, получают Национальный сертификат готовности к профессиональной деятельности (ACT NCRC). Сертификат признается 22 тыс. компаний в США и учитывается ими при отборе соискателей [29].

В системе высшего профессионального образования одним из значимых проектов является международный проект ANELO «Оценка результатов обучения в высшем образовании», выполняемый под эгидой ОЭСР. Основной целью проекта является поиск критериев оценки, позволяющих проанализировать, что учащиеся знают и могут делать в конце программы обучения, а также в какой степени их навыки улучшились за время обучения [19]. Одним из результатов проекта должна стать не только система оценки индивидуальных результатов обучения студентов, но и база данных ответов студентов, позволяющая проводить сравнительный анализ результатов обучения в конкретных вузах/странах.

Консорциумом было разработано специфическое тестирование, в котором приняли участие 249 вузов в 17 странах и регионах, а инструменты оценки были применены к 4 900 преподавателям и 23000 студентов последнего года обучения по программам бакалавриата [19].

Страны-партнеры проекта и различные международные экспертные группы участвовали в разработке инструментов оценки для трех направлений: общие навыки, экономика и инженерия.

В каждом направлении инструменты оценки включали в себя как тестовые вопросы с несколькими вариантами ответов (multiple-choice questions), которые оценивались автоматически, так и вопросы, требующие конструктивных ответов (constructive response questions), по которым была необходима ручная оценка командой оценщиков внутри каждой страны. При этом значительное внимание уделялось единообразию в оценке конструктивных ответов и соответствию их эталонной стандартизированной оценке по каждому вопросу [30].

Вопросы «Multiple choice» – простые и сложные вопросы с несколькими вариантами ответов, из которых студент выбирает 1 верный. Этот тип вопросов даёт возможность быстро и эффективно оценить инженерные знания, понимание и осведомленность об умениях [19].

Вопросы «Constructed response» подразделяются на 2 типа: а) вопросы, требующие короткого конструктивного ответа (численного, односложного), б) усложненные вопросы, требующие построения графиков, диаграмм, дизайнов конструкций, спецификаций и расширенных письменных ответов. Студентам может быть представлен некий сценарий или контекст, в т.ч. с использованием фотографий, диаграмм, таблиц с уточняющими данными. Учитывая все аспекты сценария, студенты должны ответить на ряд открытых вопросов [19,31].

Стоит отметить, что одна из ключевых проблем при тестировании конструктивного ответа – это время и затраты, связанные с подсчетом баллов. Этот процесс часто включает в себя сложные системы для контроля согласованности и точности оценок [32].

Несмотря на общий положительный результат в части разработки унифицированной системы оценки результатов обучения в рамках проекта ANELO, консорциумом проекта был выделен ряд проблем и рекомендаций, которые следует учесть при доработке системы:

1. Задания на оценку теоретических знаний преобладали, что противоречит задаче оценивать все компоненты результатов обучения холистически;
2. Количество открытых вопросов должно быть сведено к минимуму;
3. При формировании банка заданий теста необходимо обеспечить их связь с реальными

профессиональными задачами;

4. Вопросы должны быть полностью объективны и оцениваться все контекста;

5. Применение единой системы оценки результатов обучения для всех вузов и стран вряд ли целесообразно, учитывая разнообразие миссий вузов и образовательных систем.

Последний тезис подтверждает и открытое письмо от Американского совета по образованию (АСЕ) с критикой целей проекта. АСЕ настаивает на том, что подобная система является актуальной, если позволяет провести оценку индивидуальных результатов обучения студента, оценить его прогресс и достижения. Применение же системы для сравнения результатов деятельности вузов является противоречивым [33].

Результаты проведенного анализа лучших практик еще раз демонстрируют, что окончательные и исчерпывающие ответы на современные вызовы в области оценки результатов обучения еще не найдены. Отдельные страны и корпорации активно экспериментируют в поиске новых, нетрадиционных моделей оценки навыков, при этом эти усилия вовсе не означают окончательного отказа от традиционных моделей [12]. Создание комплексных инструментов для объективной и непротиворечивой оценки результатов обучения на основании педагогического тестирования является актуальной и ещё нерешенной научно-практической задачей.

Результаты и обсуждение

Алгоритм действий и математический аппарат

Принципы и принятые допущения позволяют выстроить алгоритм действий и алгоритм расчёта для количественной оценки результатов обучения конкретного студента, группы студентов по какой-либо дисциплине.

Последнее даст возможность осуществлять преподавателю анализ своей деятельности по организации учебного процесса по конкретной дисциплине, а также вырабатывать меры по её совершенствованию.

Алгоритм построения системы оценки качества инженерного образования включает следующие действия:

1. Формирование фонда оценочных средств:

– составление базы данных вопросов для экзаменационных билетов («знаниевая» часть), обеспечивающих полный спектр вопросов для проверки знаний студента;

– составление базы данных вопросов для тестовых испытаний студентов, обеспечивающих возможность оценки «деятельностной» составляющей результата обучения¹ – уровня осведомлённости конкретного студента об умениях, на основе оценки его способности и реакции (скорости) выбирать правильный алгоритм действий в рамках изучаемой дисциплины;

– согласование с руководством ООП/стейкхолдерами состава обобщённых результатов обучения студентов по конкретной дисциплине.

2. Согласование с руководством ООП, со стейкхолдерами (экспертами) методов оценивания и необходимого уровня обобщённого результата обучения студента и/или каждой из его составляющих.

3. Проведение тестовых испытаний студентов в соответствии с принятыми и согласованными методами.

4. Расчёт значений обобщённого результата обучения студента и каждой из его составляющих по дисциплине.

5. Проведение анализа достигнутых уровней обобщённого результата обучения студентов и каждой из его составляющих по дисциплине.

6. Расчёт значения обобщённого результата обучения выпускника с учётом вклада (удельного веса) каждой составляющей.

7. Оценка степени достижения запланированных результатов обучения по конкретной дисциплине на основе сравнения полученного расчётного значения обобщённого результата обучения с требуемым (руководителем ООП, руководителем цикла дисциплины).

Математическая модель оценки результата обучения по конкретной дисциплине

Математическое описание обобщённого результата обучения и его составляющих, по существу, позволяет оценивать, исследовать и анализировать текущие и итоговые результаты обучения по конкретной дисциплине.

В общем виде количественная (0-1) оценка финального реально достигнутого обобщённого результата обучения ($R_{i,r,f}$) конкретного (i)

¹ Количество вопросов в базе данных для тестирования должно кратно превышать количество вопросов, предлагаемых конкретному студенту при

тестировании. Количество вариантов ответов для каждого вопроса теста не менее 4 (в том числе, как правило, один из них - правильный).

студента может быть представлена суммой произведений количественных показателей (0-1) выбранных частных характеристик (составляющих обобщённого результата обучения) на соответственный удельный вес (0-1) каждой из них:

$$1) R_{i.r.f} = \sum K_{i.n.f} * \gamma_n,$$

где $K_{i.n.f}$ – численное (0-1) значение частной (n) характеристики обобщённого результата обучения конкретного студента; γ_n – численное значение (0-1) удельного веса (вклада) n -ной характеристики обобщённого результата обучения конкретного выпускника. Следовательно, всегда численное значение оценки обобщённого результата обучения конкретного выпускника будет лежать в пределах от 0 до 1.

Для решения частных задач, исследователи, если сочтут это более удобным, могут использовать как 10-балльную, так и 100-балльную шкалу, произведя соответствующие арифметические действия. В частном случае, учитывая возможность количественной оценки предложенных выше составляющих обобщённого финального (f) результата обучения (планируемых компетенций с учётом балла) конкретного студента по дисциплине (i), уравнение для оценки будет иметь вид:

$$2) C_{i.r.f.\Sigma} = \Sigma [b_i/5 * \gamma_b + \gamma_c * \Sigma C_{i.r.f.n}],$$

где $C_{i.r.f.n}$ – численное значение уровня освоения i -тым выпускником n -ной компетенции; b_i – балл, набранный студентом по конкретной дисциплине к моменту тестирования; γ_b, γ_c – соответственно, удельные веса вклада показателей в общий результат; $\gamma_b + \gamma_c = 1$.

Численное значение, характеризующее уровень освоения i -тым студентом n -ной компетенции ($C_{i.r.f.n}$) может быть определено по результатам тестирования и рассчитано по формуле:

$$3) C_{i.r.f.n} = 0,6q_{i.n.test}(T/t_{i.n}),$$

где $q_{i.n.test}$ – доля правильных ответов, данных i -тым студентом при прохождении теста на уровень освоения n -ной компетенции, (0-1); 0,6 – нормирующий коэффициент; T – время, установленное для тестирования; $t_{i.n}$ – время, затраченное экзаменуемым на ответы.

Граничные условия:

выражение 3) справедливо при условиях:

$(0,6T) \leq t_{i.n} \leq T$. При любых значениях $t_{i.n} \leq (0,6T)$, всегда $t_{i.n} = 0,6T$.

Условия проведения тестирования

Предъявление одновременно всех вопросов, с ограничением времени ответа.

Опираясь на коллективное мнение группы экспертов (всего более 40 человек), представляющих промышленность и научно-образовательное сообщество, можно считать, что для выяснения степени освоения выпускниками инженерных программ запланированных компетенций достаточными и необходимыми являются следующие условия проведения тестирования:

- общее число планируемых и контролируемых компетенций – в соответствии с рабочей программой дисциплины;

- оптимальное количество вопросов, для выяснения степени освоения каждой компетенции – 15;

- общее число вариантов ответов, предлагаемых для выбора – не менее 4;

- соотношение числа вопросов «на знания»/«на умения» – от 0,2/0,8, до 0,5/0,5, в зависимости от характера компетенции и дисциплины;

- доля открытых вопросов в общем числе предлагаемых вопросов – не более 10% (или могут не включаться в предлагаемый перечень);

- время, предоставляемое для ответов на вопросы теста, содержащего 15 вопросов – 15 минут (одна минута на 1 вопрос).

Рекомендуется тестирование проводить по каждой компетенции отдельно.

Опыт исследований и оценки уровня достижения планируемых компетенций студентами 1 – 4 курсов различных направлений подготовки ТПУ показал, что наиболее сложным для преподавателей является составление перечня вопросов для тестирования и оценки «деятельностной» составляющей образования [34]. В связи с этим в данной статье мы приводим пример формирования базы данных вопросов по дисциплине «Физико-химия диэлектрических материалов», лежащей на границе между дисциплинами естественно-научного цикла и дисциплинами профессионального цикла по ООП, реализуемой в Томском политехническом университете по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроизоляционные системы, высоковольтная и кабельная техника», специализация «Электроизоляционная и кабельная техника», магистратура.

Пример составления вопросов для тестирования по дисциплине «Физико-химия диэлектрических материалов».

Общий объём часов – 216, в том числе:

- лекции 16,
- практические занятия 24,
- лабораторные работы 24,
- самостоятельная работа 152.

Длительность изучения дисциплины – 1 семестр.

Общее количество кредитов – 6.

Компетенция, достижение которой запланировано:

1. Способен применять полученные знания о физико-химических свойствах и процессах в электротехнических материалах при разработке и эксплуатации электротехнических изделий.

Компетенция имеет следующие составляющие результатов обучения (дескрипторы компетенции):

Владение – Владеет навыками определения технологических, механических и электрофизических характеристик электроизоляционных материалов и систем;

Умения – Умеет проводить анализ процессов, протекающих в диэлектрических материалах в области слабых и сильных электрических полей;

Знания – Знает номенклатуру и свойства электротехнических материалов, физические состояния полимеров и сущность явлений и процессов в диэлектриках, основы технологии переработки пластмасс и резин.

Общее количество вопросов 60. Для тестирования студенту предлагается 15 вопросов, случайно выбранных из базы данных вопросов. Время тестирования – 15 минут.

Пример вопросов и ответов по оцениваемой компетенции

Владения/навыки: «Владеет навыками определения технологических, механических и электрофизических характеристик электроизоляционных материалов и систем».

1. *Необходимо измерить удельное объёмное сопротивление диэлектрика. Какой из вариантов вы выберете?*

✓ подготовлю образцы диэлектрика, нанесу на поверхность измерительные электроды квадратной формы, измерю площадь образца, рассчитаю электрическое сопротивление, как $R = U/I$;

✓ подготовлю образцы диэлектрика, нанесу на поверхность измерительные электроды круглой формы, измерю площадь образца, рассчитаю электрическое сопротивление, как $\rho = R \cdot S/d$;

✓ подготовлю образцы диэлектрика, нанесу на поверхность измерительные электроды круглой формы, охранный кольцо, измерю площадь и толщину образца, рассчитаю удельное электрическое сопротивление, как $\rho = U \cdot R \cdot S/d$;

✓ подготовлю образцы диэлектрика, нанесу на поверхность измерительные электроды круглой формы, измерю площадь и толщину образца, рассчитаю удельное электрическое сопротивление, как $\rho = R \cdot S/d$.

2. *Какой комплект инструментов и оборудования Вам понадобится, для определения $\tan \delta$ диэлектрика?*

✓ электронная ячейка с охранным кольцом и измерительный LCR мост;

✓ электронная ячейка с охранным кольцом и измерительные приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр, источник питания;

✓ электронная ячейка без охранный кольца и измерительный LCR мост;

✓ изготовленная катушка индуктивности для помещения образца и измерительный LCR мост.

3. *Каков порядок действий при испытании на электрическую прочность образцов твердых диэлектриков в высоковольтной лаборатории?*

✓ изучить правила ТБ при работе на высоковольтной установке. Подготовить образец диэлектрика. Определить среднюю толщину образца. Разместить образец в высоковольтной ячейке. Провести серию пробоев (5-10 образцов). Определить среднее напряжение пробоя;

✓ подготовить образец диэлектрика. Определить среднюю толщину образца. Разместить образец в высоковольтной ячейке. Определить напряжение пробоя;

✓ подготовить образец диэлектрика. Определить среднюю толщину образца. Разместить образец в высоковольтной ячейке. Провести серию пробоев (5-10 образцов). Определить среднее напряжение пробоя;

✓ изучить правила ТБ при работе на высоковольтной установке. Подготовить образец диэлектрика. Определить среднюю толщину образца. Разместить образец в высоковольтной ячейке. Провести серию пробоев (5-10 образцов). Определить среднее напряжение пробоя.

Умения: «Умеет проводить анализ процессов, протекающих в диэлектрических материалах в области слабых и сильных электрических полей».

1. *Причины нагрева диэлектрика при помещении его в электрическое поле*

✓ диэлектрические потери на сквозную электропроводность, медленные виды

поляризации и поляризация газовых включений (в сильных полях);

✓ диэлектрические потери на сквозную электропроводность;

✓ медленные виды поляризации;

✓ поляризация газовых включений (в сильных полях).

2. В какой последовательности Вы будете измерять удельную электропроводность почвы?

✓ взять кювету из диэлектрического материала 14×9×4 см, насыпать почву, вставить 2 металлических пластинчатых электрода 9×4 см по краям кюветы, собрать цепь из источника постоянного тока низкого напряжения (до 10 вольт), вольтметра, миллиамперметра, рассчитать электропроводность почвы, измерить влажность, при расчете учесть объем кюветы;

✓ взять кювету из диэлектрического материала 14×9×4 см, насыпать почву, вставить 2 металлических пластинчатых электрода 9×4 см, омметр с пределом измерения от 0 до 10 килоом. Разделить единицу (число) на величину сопротивления почвы;

✓ собрать цепь из источника переменного тока, поставить ваттметр, взять кювету из диэлектрического материала любого размера, насыпать почву, вставить 2 металлических электрода, рассчитать электропроводность почвы, при расчете учесть объем кюветы;

✓ собрать цепь из источника переменного тока, поставить ваттметр, взять кювету из диэлектрического материала любого размера, насыпать почву, вставить 2 металлических электрода, рассчитать электропроводность почвы, при расчете учесть объем кюветы.

3. В какой последовательности Вы будете изготавливать терморпару?

✓ взять проволоку из константана и меди, сделать скрутку, расплавить газовой горелкой обе проволоки, тщательно полностью заизолировать проводники, подключить прибор → готово к использованию;

✓ взять проволоку из константана и меди, сделать скрутку, расплавить электрической дугой концы обеих проволок, подключить прибор → готово к использованию;

✓ взять проволоку из константана и меди, сделать скрутку, тщательно полностью заизолировать проводники, подключить прибор → готово к использованию;

✓ взять проволоку из хромеля и алюмеля, сделать скрутку, расплавить газовой горелкой обе проволоки, тщательно полностью заизолировать проводники, подключить прибор → готово к использованию;

✓ взять проволоку из алюминия и меди, сделать скрутку, расплавить электрической дугой концы обеих проволок, подключить прибор → готово к использованию.

Знания: «Знает номенклатуру и свойства электротехнических материалов, физические состояния полимеров и сущность явлений и процессов в диэлектриках, основы технологии переработки пластмасс и резин».

1. Какому из нижеперечисленных диэлектриков для изоляторов линии электропередач, работающей во влажной среде, Вы отдадите предпочтение?

✓ кристалл поваренной соли; конденсаторная бумага; неглазурированный фарфор; глазурированный фарфор;

✓ неглазурированный фарфор; глазурированный фарфор; конденсаторная бумага; кристалл поваренной соли;

✓ глазурированный фарфор; неглазурированный фарфор; конденсаторная бумага; кристалл поваренной соли;

✓ конденсаторная бумага; кристалл поваренной соли; неглазурированный фарфор; глазурированный фарфор.

2. За счет чего «стареет» трансформаторное масло?

✓ истекает срок годности;

✓ происходит окисление атмосферным кислородом;

✓ масло «прокисает»;

✓ масло разлагается под действием магнитного поля трансформатора.

3. Что показывает относительная диэлектрическая проницаемость?

✓ на сколько диэлектрик увеличивает заряд конденсатора по сравнению с вакуумом;

✓ прозрачность материала;

✓ механическую вязкость по сравнению с вакуумом;

✓ электрическую прочность по сравнению с вакуумом.

Открытый вопрос.

Как называется прибор, которым можно измерить ёмкость и тангенс угла диэлектрических потерь?

Пример ответа: Куметр (прибор, позволяющий измерять добротность колебательного контура, индуктивность катушек, емкость и добротность конденсаторов. Добротность диэлектрической изоляции представляет собой величину, обратную $tg \delta$, т.е. $Q = 1 / tg \delta$.)

Заключение

Проведённый анализ применения компетентного подхода при организации учебного процесса, обеспечивающего подготовку специалистов для работы в сфере техники и технологии, позволил установить, что в процессе подготовки будущих инженеров наблюдается смещение фокуса внимания в сторону формирования «знаниевой» составляющей инженерного образования. Недостаточно внимания уделяется «деятельностной» составляющей образования, что негативно сказывается на качестве подготовки специалистов, приводит к необходимости их «доучивания» на местах работы, удлинению срока их адаптации к условиям реального производства.

Высказано предположение, что одним из первых шагов по исправлению сложившегося положения является совершенствование системы контроля компетенций, запланированных к освоению в процессе обучения в вузе, в частности при преподавании конкретных дисциплин.

Наличие методов такого контроля позволит выявить и устранить недостатки в организации учебного процесса и обеспечить смещение его в сторону «деятельностной» составляющей инженерного образования.

Предложена математическая модель оценки уровня достижения запланированных компетенций, позволяющая осуществлять количественную оценку результатов обучения, включая его «знаниевую» и «деятельностную» составляющие. Также эта модель позволит преподавателям оценивать результативность своих усилий по достижению поставленных целей и предпринимать меры по повышению уровня подготовки студентов по соответствующим конкретным дисциплинам.

Приведённый пример формирования элементов фонда оценочных средств по дисциплине «Физико-химия диэлектрических материалов» может служить основой для проектирования таких фондов как по дисциплинам естественно-научного цикла, так и по профильным дисциплинам.

Литература

1. Graham R. The global state of the art in engineering education, Massachusetts Institute of Technology (MIT) Report. – Massachusetts, USA, 2018. – 162 с.
2. Patil, A. and Gray P. Engineering Education Quality Assurance: A Global Perspective. – NY: Springer, 2009. – 316 p.
3. Огородова Л. М., Кресс В. М. и Похолков Ю. П., Инженерное образование и инженерное дело в России: проблемы и решения // Инженерное образование. – 2012. – № 11. – С. 18-23.
4. Чанько А.Д. и Баснер А.А., Корпоративные университеты: анализ деятельности в международных исследованиях // Российский журнал менеджмента. – 2015. – Т. 13. – № 3. – С. 79-110.
5. Kolmos, A., Hadgraft, R. and Holgaard, J. Response strategies for curriculum change in engineering // International Journal of Technology and Design Education. – 2015. – 26.
6. Small, L., Shacklock, K. and Marchant, T. Employability: a contemporary review for higher education stakeholders // Journal of Vocational Education & Training. – 2018. – 70:1. – P. 148-166.
7. Adam, S. F. A consideration of the nature, role, application and implications for European education of learning outcomes at the local, national and international levels. – 2004.
8. European Commission. Using learning outcomes – European Qualifications Framework series: note 4. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. – 48 p.
9. Schwab K., Insight Report: The Global Competitiveness Report 2019 // World Economic Forum. – Geneva: SRO Kundig, 2019. – 648 p.
10. Похолков Ю.П., Качество подготовки инженерных кадров глазами академического сообщества // Инженерное образование. – 2014. – № 15. – С. 18-25.
11. Allan, J. Learning outcomes in higher education // Studies in Higher Education. – 1996. – 21(1). – P. 93–108.
12. Дудырев Ф. Ф., Фруммин И. Д., Мальцева В. А., Лошкарева Е. П. и Татаренко Е. А. Новые возможности WorldSkills для сопоставимой оценки результатов в профессиональном образовании // Современная аналитика образования. – М.: Институт образования НИУ ВШЭ, 2019. – 47 с.
13. Crawley, E., Malmqvist, J., Ostlund, S., Brodeur, D. and Edstrom, K. Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach. – Springer Cham, 2014. – 311 p.
14. Глухарева, С. В., Немирович-Данченко, М. М., Давыдова, Е. М., и Буинцев, Д. Н. Метод группового проектного обучения в системе подготовки кадров нового поколения // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – 4. – С. 110-114.
15. Джабиев, О.А., Пономарева А.В. Решение проблемы подготовки инженеров нефтегазовой отрасли на базе Центра подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела Heriot Watt // Интеллектуальные энергосистемы: труды IV Международного молодежного форума, 10-14 октября 2016 г., г. Томск. – 2016. – 3. – С. 273-277.

16. Молдабекова М.С., Федоренко О.В. и др. Интегрированность знаний по базовой дисциплине «Физика» и профилирующим дисциплинам как средство реализации практикоориентированного обучения студентов // Вестник. Серия Физическая. – 2019. – Том 70. – № 3. – С. 92-99.
17. Похолков Ю. П. Подходы к оценке и обеспечению качества инженерного образования // Инженерное образование. – 2022. – № 31. – С. 93-106.
18. Толкачева, К.К. Экспертный семинар как форма реализации целей проблемно-ориентированного обучения специалистов в области техники и технологии: автореферат дис. ... кандидата педагогических наук: 13.00.08 / Толкачева Ксения Константиновна. – КНИТУ, Казань, 2015. – 24 с.
19. Tremblay K., Lalancette D. and Roseveare D. Assessment of higher education learning outcomes: AHELO feasibility study report. – OECD, 2012. – Vol. 1. – 270 p.
20. Coates H., Richardson S., Pearce J. and Fraillon J. Group of national experts on the AHELO feasibility study: Engineering assessment framework: AHELO feasibility study. – OECD, 2011. URL: http://works.bepress.com/julian_fraillon/50 (accessed 09.12.2022)
21. Байденко В.И. Компетентный подход к проектированию государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (методологические и методические вопросы): Методическое пособие. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2005. – 114 с.
22. Алешугина Е.А., Ваганова О.И., Прохорова М.П. Методы и средства оценивания образовательных результатов студентов вуза // Проблемы современного педагогического образования. – 2018. – № 59-3.
23. Смирнова Ж.В., Красикова О.Г. Современные средства и технологии оценивания результатов обучения // Вестник Мининского университета. – 2018. – №3 (24).
24. Замятин А. М. Система оценки компетенций студентов ВПО. Обзор достижений и нерешенных задач // Молодой ученый. – 2012. – № 5 (40). – С. 418-420.
25. Сакипова Ш.Е. Эффективность новых образовательных технологий в преподавании физики // Вестник. Серия Физическая (ВКФ). – 2015. – Т. 53. – № 2. – С. 132-136.
26. Материалы экспертных семинаров и тренингов АИОР [Electronic resource]. URL: <http://www.aeer.ru/events/ru/trainings.htm> (accessed 09.12.2022)
27. WorldSkills Russia [Electronic resource]. – URL: <https://worldskills.ru/?ysclid=lbty2srhal457429040> (accessed 14.11.2022)
28. Rauner F., Heinemann L., Maurer A., Haasler B., Erdwien B. and Martens T., Competence Development and Assessment in TVET (COMET) Theoretical Framework and Empirical Results.– Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013. – Vol. 16. DOI: 10.1007/978-94-007-4725-8
29. Anderson S., Harris R., Fluharty M. and McMahon J., ACT WorkKeys Solutions 101 // ACT Workforce Summit Pre-Conference. ACT Workforce Summit. – 2018.
30. Assessment of Higher Education Learning Outcomes Feasibility Study Report : Data Analysis and National Experiences. – OECD, 2013. – Vol. 2. – 195 p.
31. Livingston S. Constructed-Response Test Questions: Why We Use Them, How We Score Them // R&D Connections 11. – Educational Testing Service. – 2009.
32. Pearce. J., Assessing vocational competencies in civil engineering: lessons from AHELO for future practice // Empirical Res Voc Ed Train. – 2015. – 7. – P. 1-15. DOI:10.1186/s40461-015-0016-6
33. American Council on Education and Universities Canada. Joint letter about the AHELO Main Study. – May 7, 2015.
34. Похолков Ю.П., Муравлев И.О., Жадан В.А., Корнева О.Ю., Червач М.Ю., Климова Г.Н., Леонова Л.А., Максимова Ю.А., Першина А.А., Савинова О.В., Степанов С.А. Комплексный подход к оценке уровня освоения студентами запланированных компетенций // Инженерное образование. – 2022. – 31. – С. 46-57.

References

1. R. Graham, The global state of the art in engineering education, Massachusetts Institute of Technology (MIT) Report, (Massachusetts, USA, 2018), 162 p.
2. A. Patil, A. and P. Gray, Engineering Education Quality Assurance: A Global Perspective, (Springer NY, 2009), 316 p.
3. L.M. Ogorodova, V.M. Kress and Yu. P. Pokholkov, Inzenernoye obrazovanie, 11, 18-23 (2012). (in Russ.)
4. A.D. Chanko and A.A. Basner, Rossiiskii zhurnal menedzhmenta, 13 (3), 79-110 (2015). (in Russ.)
5. A. Kolmos, R. Hadgraft, R. and J. Holgaard, International Journal of Technology and Design Education, 26 (2015).
6. L. Small, K. Shacklock and T. Marchant, Journal of Vocational Education & Training, 70:1, 148-166 (2018).
7. S.F. Adam, A consideration of the nature, role, application and implications for European education of employing learning outcomes at the local, national and international levels, (2004).
8. EU. Using learning outcomes - European Qualifications Framework series: note 4, (Luxembourg: Publications Office of the EU, 2011), 48 p.

9. K. Schwab, Insight Report: The Global Competitiveness Report 2019, World Economic Forum, (Geneva: SRO Kundig, 2019), 648 p.
10. Yu. P. Pokholkov, *Inzhenernoye obrazovanie*, 15, 18-25 (2014). (in Russ.)
11. J. Allan, *Studies in Higher Education*, 21(1), 93-108 (1996).
12. F. Dudyrev, I. Frumin, V. Maltseva, E. Loshkareva and E. Tatarenko, *Novyie vozmozhnosti WorldSkills dlya sopostavimoi otsenki rezultatov v professionalnom obrazovanii*, (Sovremennaya analitika obrazovaniya, Institut obrazovaniya NIU VSHE, 2019), 47 p. (in Russ.)
13. E. Crawley, J. Malmqvist, S. Ostlund, D. Brodeur and K. Edström, *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*, (Springer Cham, 2014), 311 p.
14. S. Glukhareva, M. Nemirovitch-Danchenko, Ye. Davyidova and D. Buintsev, *Sovremennyye naukoymkie tekhnologii*, 4, 110-114 (2020). (in Russ.)
15. O. Dzhabiiev and A. Ponomareva, *Proc. Intelktualnyie energosistemy: trudyi IV Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma* (Tomsk, 10-14 October, 2016), 273-277. (in Russ.)
16. Moldabekova M.S. et al., *Recent Contributions to Physics (Rec.Contr.Phys.)*, 70 (3), 91-99 (2019). (in Russ.)
17. Yu. Pokholkov, *Inzhenernoye obrazovanie*, 31, 93-106 (2022). (in Russ.)
18. K. Tolkacheva, *Expertyi seminar kak forma realizatsii tselei problemno-orientirovannogo obucheniya spetsialistov v oblasti tekhniki i tekhnologii, avtoreferat dissertatsii*, (KRNTU, Kazan, 2015), 24 p. (in Russ.)
19. K. Tremblay, D. Lalancette and D. Roseveare, *Assessment of higher education learning outcomes: AHELO feasibility study report*, vol. 1, (OECD, 2012), 270 p.
20. H. Coates, S. Richardson, J. Pearce and J. Fraillon, *Group of national experts on the AHELO feasibility study: Engineering assessment framework* (OECD, 2011).
21. V. Baidenko, *Competence-based approach to the design of state educational standards of higher professional education (methodological and methodological issues): Methodical manual*. (Research Center for Quality problems of training specialists, Moscow, 2005), 114p. (in Russ.)
22. E. Alyoshugina, O. Varganova and M. Prokhorova, *Problemyi sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya*, 59-3 (2018). (in Russ.)
23. Zh. Smirnova and O. Krasikova, *Vestnik Mininskogo universiteta*, 3 (24) (2018). (in Russ.)
24. A. Zamyatin, *Molodoi uchenyii*, 5 (40), p.418-420 (2012). (in Russ.)
25. Sh. Sakipova, *Recent Contributions to Physics (Rec.Contr.Phys.)*, 53 (2), 132-136 (2015). (in Russ.)
26. <http://www.aeer.ru/events/ru/trainings.htm> – Materials of expert seminars and trainings of AEER (accessed 09.12.2022) (in Russ.)
27. <https://worldskills.ru/?ysclid=lbty2srhal457429040> – WorldSkills Russia (accessed 14.11.2022)
28. F. Rauner, L. Heinemann, A. Maurer, and B. Haasler, *Competence Development and Assessment in TVET (COMET)*, vol. 16, (Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013), 170 p.
29. S. Anderson, R. Harris, M. Fluharty and J. McMahon, *ACT WorkKeys Solutions 101*, (ACT Workforce Summit Pre-Conference, ACT Workforce Summit, 2018).
30. *AHELO Feasibility Study Report: Data Analysis and National Experiences*, Vol. 2, (OECD, 2013), 195p.
31. S. Livingston, *Constructed-Response Test Questions: Why We Use Them, How We Score Them* (R&D Connections 11, Educational Testing Service, 2009).
32. Pearce, J. *Empirical Res Voc Ed Train*, 7, 1-15 (2015).
33. ACE and Universities Canada, *Joint letter about the AHELO Main Study*, (May 7, 2015).
34. Yu. Pokholkov et al., *Inzhenernoye obrazovanie*, 31, 46-57 (2022). (in Russ.)