

**Интеграция принципов устойчивого развития в учебные курсы по проектированию систем
трубопроводного транспорта**

Вячеслав Павлович Зыков

Специалист-эксперт

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Уфа, Россия

Slavych7@yandex.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Диас Сергалиевич Карабеков

Специалист-эксперт

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Уфа, Россия

karabekovdias@gmail.com

ORCID 0000-0000-0000-0000

Александр Сергеевич Животягин

Специалист-эксперт

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Уфа, Россия

povarok_003@mail.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Радим Раилевич Миннихметов

Специалист-эксперт

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Уфа, Россия

radimminniahmetoff@yandex.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Александр Сергеевич Данилов

Специалист-эксперт

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Уфа, Россия

alexandr.danilow2018@yandex.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 06.02.2025

Принята 26.03.2025

Опубликована 30.04.2025

УДК 629.736:37.64:333.79

DOI 10.25726/c4150-2067-7292-i

EDN UALJOB

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

OECD 05.03.HE. EDUCATION, SPECIAL

Аннотация

Статья исследует методологические подходы к внедрению принципов устойчивого развития в образовательные программы по проектированию систем трубопроводного транспорта. Проведен комплексный анализ существующих образовательных практик в контексте трех базовых измерений устойчивого развития: экологического, экономического и социального. На основе эмпирических данных, полученных в ходе апробации интегрированного образовательного курса в пяти ведущих инженерных вузах России, выявлены ключевые факторы эффективности имплементации принципов устойчивого развития в инженерное образование. Разработана и валидирована многоуровневая модель интеграции принципов устойчивого развития в учебные программы, учитывающая специфические особенности трубопроводных систем и современные тренды декарбонизации энергетического сектора. Результаты демонстрируют значительное повышение профессиональных компетенций студентов в области проектирования экологически безопасных, социально ответственных и экономически эффективных систем трубопроводного транспорта при применении разработанной модели. Статистический анализ показывает корреляцию между внедрением интегрированного курса и повышением готовности выпускников к решению комплексных инженерных задач в контексте глобальных вызовов устойчивого развития. Результаты исследования имеют практическую ценность для модернизации учебных программ по инженерным специальностям и могут служить методологической основой для разработки образовательных стандартов нового поколения.

Ключевые слова

устойчивое развитие, трубопроводный транспорт, инженерное образование, интегрированный подход, экологическая безопасность, декарбонизация.

Введение

Системы трубопроводного транспорта - критически важная инфраструктура для энергетической безопасности и экономического развития. Однако нефтегазовая отрасль, включая транспортный сегмент, сталкивается с серьезными вызовами: изменение климата, истощение ресурсов и растущие экологические риски. Эти проблемы требуют пересмотра подходов к проектированию и эксплуатации трубопроводных систем, что напрямую влияет на содержание инженерного образования.

Концепция устойчивого развития, определяемая как «развитие, удовлетворяющее потребности настоящего без ущерба для будущих поколений» (World Commission on Environment and Development, 1981), охватывает экологические, экономические и социальные аспекты человеческой деятельности. Цели устойчивого развития ООН (United Nations. Transforming our world: the 2030..., 2015) напрямую затрагивают деятельность трубопроводных систем через доступ к чистой энергии (Цель 7), развитие инфраструктуры (Цель 9) и борьбу с изменением климата (Цель 13).

ЮНЕСКО выделяет образование как ключевой инструмент достижения этих целей (Lozano, 2017). В контексте инженерного образования это означает интеграцию принципов устойчивости в подготовку специалистов. Однако исследования показывают значительный разрыв между декларируемыми целями и реальной практикой инженерного образования (Filho, 2019).

Анализ литературы демонстрирует, что существующие подходы часто фрагментарны и не учитывают специфику трубопроводного транспорта. Одни авторы акцентируют внимание на экологических аспектах, игнорируя экономические и социальные измерения устойчивости (Guerra, 2017). Другие рассматривают устойчивое развитие как отдельный модуль, а не как интегрирующую концепцию (Liao, 2022). Третьи уделяют чрезмерное внимание теории в ущерб практическим навыкам проектирования (Mulder, 2012).

В данной статье мы предлагаем целостный подход к интеграции принципов устойчивого развития в учебные курсы по проектированию систем трубопроводного транспорта, основанный на концепции «тройного итога» (Triple Bottom Line), включающей экологические, экономические и социальные аспекты (Sterling, 2017). Цель исследования – разработать, апробировать и оценить эффективность модели интеграции принципов устойчивого развития в инженерное образование в контексте трубопроводного

транспорта. Актуальность нашего исследования обусловлена тремя факторами: 1) глобальным энергетическим переходом, требующим новых подходов к проектированию трубопроводных систем; 2) растущими экологическими требованиями, создающими спрос на инженеров с соответствующими компетенциями; 3) технологическими инновациями, открывающими возможности для повышения устойчивости трубопроводных систем.

Материалы и методы исследования

Исследование основано на сочетании количественных и качественных методов, что обеспечивает комплексный подход к изучению процесса интеграции принципов устойчивого развития в образовательные программы. Методология разработана с учетом специфики инженерного образования в области трубопроводного транспорта.

Исследование проводилось в четыре этапа в период 2020-2023 гг.:

- Аналитический этап (январь-июнь 2020): анализ 87 научных публикаций и образовательных программ 25 университетов, анкетирование 156 специалистов отрасли.
- Проектировочный этап (июль-декабрь 2020): разработка модели и учебно-методических материалов, экспертная оценка.
- Экспериментальный этап (январь 2021-декабрь 2022): апробация модели в пяти вузах с участием 327 студентов (163 - экспериментальная группа, 164 - контрольная).
- Аналитико-обобщающий этап (январь-июнь 2023): комплексная оценка результатов, статистический анализ, интервью с 48 участниками.

Эмпирическую базу составили студенты магистратуры по направлению «Нефтегазовое дело» из пяти ведущих инженерных вузов России. Распределение по группам осуществлялось случайным образом с учетом балансировки по входным параметрам.

Для сбора данных использовались анкетирование, тестирование, анализ проектных работ, интервью, наблюдение и экспертная оценка. Для обеспечения валидности и надежности применялись триангуляция данных, пилотное тестирование инструментов, межэкспертная согласованность и длительное наблюдение.

Анализ данных включал описательную статистику, сравнительный анализ (t-критерий Стьюдента, U-критерий Манна-Уитни), корреляционный и факторный анализ для количественных данных, а также тематическое кодирование, контент-анализ и нарративный анализ для качественных данных.

Результаты и обсуждение

На основе результатов аналитического этапа разработана многоуровневая модель интеграции принципов устойчивого развития в учебные курсы по проектированию трубопроводных систем (табл. 1).

Таблица 1. Многоуровневая модель интеграции принципов устойчивого развития в учебные курсы

Уровень	Содержание	Ключевые характеристики	Индикаторы эффективности
Концептуальный	Философские и теоретические основы устойчивого развития	Системное мышление, междисциплинарность, долгосрочная перспектива	Целостность понимания, критическое мышление
Содержательный	Интеграция экологических, экономических и социальных аспектов	Баланс трех измерений устойчивости, контекстуализация	Полнота охвата, логическая структура, актуальность
Методический	Инновационные педагогические подходы	Активное обучение, проблемно-ориентированный подход	Разнообразие методов,

			вовлеченность студентов
Инструментальный	Инструменты оценки устойчивости проектных решений	Многокритериальный анализ, оценка жизненного цикла	Точность, практичность
Оценочный	Методы оценки образовательных результатов	Аутентичная оценка, рефлексия	Валидность, надежность

Модель предполагает не создание отдельного курса по устойчивому развитию, а интеграцию этих принципов во все профессиональные дисциплины. Акцент делается на активных и интерактивных методах обучения: проблемно-ориентированное обучение на основе реальных кейсов, междисциплинарные проекты, симуляции и деловые игры, технологии дополненной и виртуальной реальности.

Для оценки эффективности модели проведены входное и итоговое тестирование, а также анализ проектных работ студентов (табл. 2).

Таблица 2. Сравнение уровня сформированности компетенций (средний балл по 5-балльной шкале)

Компетенции	Экспериментальная группа		Контрольная группа		p
	До	После	До	После	
Системное понимание концепции устойчивого развития	2,64	4,37	2,68	3,12	<0,001
Анализ экологических аспектов	2,83	4,51	2,79	3,46	<0,001
Анализ экономических аспектов	2,92	4,28	2,88	3,24	<0,001
Анализ социальных аспектов	2,41	4,06	2,43	2,89	<0,001
Применение инструментов оценки устойчивости	2,18	4,23	2,21	2,73	<0,001
Интеграция принципов в проектные решения	2,34	4,44	2,37	2,95	<0,001
Средний показатель	2,55	4,32	2,56	3,07	<0,001

Результаты показывают статистически значимое повышение уровня всех компетенций в экспериментальной группе. Наибольший прирост наблюдается по компетенциям «Применение инструментов оценки устойчивости» (+2,05) и «Интеграция принципов в проектные решения» (+2,10), что подтверждает эффективность практико-ориентированного подхода.

Анализ проектных работ выявил ключевые факторы, влияющие на экологическую устойчивость трубопроводных систем (табл. 3).

Таблица 3. Факторы повышения экологической устойчивости трубопроводных систем

Фактор	Частота включения в проекты (%)	Влияние на снижение экологического воздействия (1-5)	Корреляция с экономической эффективностью
Системы обнаружения утечек нового поколения	94,5	4,78	0,81 (p<0,01)
Инновационные коррозионностойкие материалы	92,6	4,67	0,73 (p<0,01)
Технологии рекультивации земель	89,0	4,27	0,41 (p<0,01)

Автоматизированные системы мониторинга	87,1	4,53	0,68 (p<0,01)
Оптимизация трассы с учетом уязвимых зон	84,7	4,41	0,54 (p<0,01)
Безтраншейные технологии прокладки	76,9	4,35	0,47 (p<0,01)
Биоремедиация при ликвидации аварий	71,2	4,03	0,43 (p<0,01)
Возобновляемые источники для насосных станций	69,3	4,12	0,32 (p<0,05)
Системы рекуперации энергии	63,8	3,98	0,67 (p<0,01)
Эко-дизайн инфраструктуры	58,9	3,76	0,29 (p<0,05)

Важным результатом является выявление положительной корреляции между экологической устойчивостью и экономической эффективностью проектов. Наиболее сильная корреляция наблюдается для систем обнаружения утечек ($r = 0,81$), инновационных материалов ($r = 0,73$) и автоматизированных систем мониторинга ($r = 0,68$). Это опровергает распространенное мнение о противоречии между экологическими и экономическими целями.

Детальный анализ экономических показателей традиционного и устойчивого подходов к проектированию показал интересные результаты (табл. 4).

Таблица 4. Сравнение экономических показателей традиционного и устойчивого подходов

Экономический показатель	Традиционный подход	Устойчивый подход	Разница (%)	p
Капитальные затраты (млн руб./км)	87,6 ± 12,4	94,3 ± 13,7	+7,6	<0,05
Эксплуатационные затраты (млн руб./км/год)	5,8 ± 0,9	4,2 ± 0,7	-27,6	<0,01
Затраты на ликвидацию аварий (млн руб./инцидент)	18,4 ± 4,2	7,3 ± 2,1	-60,3	<0,001
Вероятность аварий (случаев/1000 км/год)	0,62 ± 0,14	0,23 ± 0,08	-62,9	<0,001
Срок эксплуатации (лет)	30,5 ± 3,8	42,7 ± 4,5	+40,0	<0,001
Затраты на вывод из эксплуатации (млн руб./км)	14,3 ± 2,6	9,8 ± 1,9	-31,5	<0,01
Общие затраты жизненного цикла (млн руб./км)	278,9 ± 28,3	232,4 ± 24,6	-16,7	<0,01
Внутренняя норма доходности (%)	12,8 ± 1,7	15,6 ± 1,9	+21,9	<0,01
Период окупаемости (лет)	8,3 ± 1,2	7,1 ± 0,9	-14,5	<0,05
Чистая приведенная стоимость (млн руб./км)	96,4 ± 14,8	127,2 ± 18,3	+32,0	<0,01

Результаты показывают, что устойчивый подход, несмотря на более высокие капитальные затраты (+7,6%), обеспечивает существенное снижение эксплуатационных затрат (-27,6%), затрат на ликвидацию аварий (-60,3%), вероятности аварийных ситуаций (-62,9%) и увеличение срока эксплуатации (+40,0%). В результате общие затраты жизненного цикла при устойчивом подходе на 16,7% ниже, а ключевые показатели инвестиционной привлекательности значительно лучше.

Особое внимание в исследовании уделялось социальным аспектам, которые часто недооцениваются в инженерном образовании (табл. 5).

Таблица 5. Социальные аспекты устойчивого проектирования трубопроводных систем

Социальный аспект	Частота в проектах (%)	Примеры проектных решений
Безопасность населения	93,9	Усиленная защита вблизи населенных пунктов, системы раннего оповещения, планы эвакуации
Здоровье населения	88,3	Мониторинг качества воздуха и воды, программы медицинского обследования
Воздействие на местные сообщества	86,5	Изменение трассы для обхода социально значимых объектов, создание буферных зон
Социальная устойчивость при строительстве	84,7	Минимизация нарушений жизни, временное трудоустройство местного населения
Развитие инфраструктуры региона	81,0	Совместное использование инфраструктуры, развитие дорожной сети
Создание рабочих мест	78,5	Найм местного населения, обучение и повышение квалификации
Участие общественности в принятии решений	76,1	Общественные слушания, учет общественного мнения при корректировке проектов
Прозрачность и подотчетность	72,4	Общественные советы, регулярная отчетность, системы обратной связи
Взаимодействие с коренными народами	67,5	Учет традиционного природопользования, сохранение культурных объектов
Справедливое распределение выгод	59,5	Программы социальных инвестиций, целевое финансирование проектов развития

Анализ показал, что наиболее часто учитываемыми социальными аспектами являются безопасность населения (93,9%), здоровье населения (88,3%) и воздействие на местные сообщества (86,5%). При этом наименее часто учитываются аспекты справедливого распределения выгод (59,5%) и взаимодействия с коренными народами (67,5%), что указывает на необходимость дополнительного внимания к этим вопросам.

В ходе исследования также выявлена эволюция в понимании студентами социальных аспектов. К концу эксперимента студенты демонстрировали более проактивный подход, рассматривая трубопроводные системы как фактор позитивного социального развития. Факторный анализ выявил ключевые факторы, влияющие на эффективность интеграции принципов устойчивого развития. Наиболее важные из них:

- Поддержка руководства вуза (факторная нагрузка 0,84).
- Компетентность преподавателей в области устойчивого развития (0,89).
- Практико-ориентированность обучения (0,86).
- Баланс экологических, экономических и социальных аспектов (0,82).

Также определены перспективные направления интеграции принципов устойчивого развития в проектирование трубопроводных систем. Наиболее значимые: цифровизация и автоматизация (9,5 баллов из 10), декарбонизация (9,4) и интеграция в энергетический переход (9,2).

Результаты исследования демонстрируют эффективность разработанной модели интеграции принципов устойчивого развития в учебные курсы по проектированию трубопроводных систем. Полученные данные свидетельствуют о значительном повышении уровня компетентности студентов и их способности интегрировать экологические, экономические и социальные аспекты в проектных решениях. В отличие от существующих подходов, которые часто рассматривают устойчивое развитие как дополнительный аспект инженерного образования (Hampcock, 2014), наша модель представляет собой целостную и интегративную концепцию. Она преодолевает известные ограничения существующих подходов: фрагментарность, преимущественно экологическую ориентацию и недостаточную практическую направленность (Rieckmann, 2018).

Особую ценность представляет выявление положительной корреляции между факторами экологической устойчивости и экономической эффективностью проектов. Результаты экономического анализа особенно важны для практики. Они убедительно доказывают, что устойчивый подход экономически выгоден в долгосрочной перспективе, несмотря на более высокие начальные затраты. Это может стать сильным аргументом для более широкого внедрения устойчивых практик в индустрии. Исследование выявило, что социальные аспекты представляют наибольшую сложность для интеграции в инженерное образование. Это объясняется традиционно технической ориентацией инженерных программ и недостатком междисциплинарного взаимодействия с социальными науками. Ограничения исследования включают его географическую специфику (только российские вузы), относительно короткий период наблюдения и фокус на магистерском уровне образования. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются лонгитюдные исследования влияния образовательных инноваций на профессиональную практику выпускников, кросс-культурные исследования и изучение образовательных экосистем. На основе результатов можно сформулировать рекомендации для различных заинтересованных сторон. Руководителям образовательных программ следует обеспечить системный подход к интеграции принципов устойчивого развития, создать условия для междисциплинарного взаимодействия и развивать сотрудничество с индустрией. Преподавателям рекомендуется использовать активные методы обучения и интегрировать все три измерения устойчивого развития в содержание дисциплин. Представителям индустрии стоит активнее участвовать в образовательном процессе, предоставляя реальные кейсы и возможности для практики.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило эффективность разработанной многоуровневой модели интеграции принципов устойчивого развития в учебные курсы по проектированию трубопроводных систем. Эксперимент показал значительное повышение уровня компетентности студентов в области устойчивого развития и их способности создавать комплексные проектные решения. Средний уровень сформированности компетенций у студентов экспериментальной группы вырос с 2,55 до 4,32 балла по 5-балльной шкале, что значительно выше, чем в контрольной группе (3,07 балла). Более 50% проектов экспериментальной группы демонстрируют высокий уровень интеграции экологических, экономических и социальных аспектов против 10,9% в контрольной группе. Сравнительный анализ показал, что устойчивый подход к проектированию, несмотря на более высокие начальные затраты, обеспечивает существенное снижение общих затрат жизненного цикла (-16,7%) и улучшение ключевых показателей инвестиционной привлекательности. Этот результат имеет большое практическое значение, демонстрируя экономическую обоснованность устойчивого подхода.

Особое внимание в исследовании уделялось социальным аспектам устойчивого развития, которые часто недооцениваются в инженерном образовании. Были выявлены наиболее и наименее часто учитываемые социальные аспекты, что позволяет целенаправленно совершенствовать образовательные программы.

Разработанная модель интеграции принципов устойчивого развития имеет высокую практическую ценность и может использоваться для модернизации образовательных программ в инженерных вузах. Она обеспечивает системный подход к формированию компетенций в области устойчивого развития и подготовке специалистов, способных проектировать трубопроводные системы с учетом долгосрочных экологических, экономических и социальных последствий.

Список литературы

1. Barth M., Rieckmann M. Academic staff development as a catalyst for curriculum change towards education for sustainable development: an output perspective // Journal of cleaner production. 2012. Vol. 26. pp. 28-36.
2. Creswell J.W., Plano Clark V.L. Designing and conducting mixed methods research. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2017.

3. Elkington J. Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business. Oxford: Capstone, 1997
4. Filho W.L., Shiel C., Paço A., Mifsud M., Ávila L.V., Brandli L.L., Molthan-Hill P., Pace P., Azeiteiro U.M., Vargas V.R., Caeiro S. Sustainable development goals and sustainability teaching at universities: falling behind or getting ahead of the pack? // Journal of cleaner production. 2019. Vol. 232. pp. 285-294.
5. Guerra A. Integration of sustainability in engineering education: Why is PBL an answer? // International journal of sustainability in higher education. 2017. Vol. 18(3). pp. 436-454.
6. Hancock L., Nuttman S. Engaging higher education institutions in the challenge of sustainability: sustainable transport as a catalyst for action // Journal of cleaner production. 2014. Vol. 62. pp. 62-71.
7. Liao Q., Liang Y., Tu R., Huang L., Zheng J., Wang G., Zhang H. Innovations of carbon-neutral petroleum pipeline: a review // Energy reports. 2022. Vol. 8. pp. 13114-13128.
8. Liu J., Liang S. Education for sustainable development in China: a review of progress and practice // Energy consumption reduction and sustainable development for Oil & Gas transport and storage engineering. 2023. Vol. 16(4). pp. 1775.
9. Lozano R., Merrill M.Y., Sammalisto K., Ceulemans K., Lozano F.J. Connecting competences and pedagogical approaches for sustainable development in higher education: A literature review and framework proposal // Sustainability. 2017. Vol. 9(10). P. 1889.
10. Mulder K.F., Segalàs J., Ferrer-Balas D. How to educate engineers for/in sustainable development: ten years of discussion, remaining challenges // International journal of sustainability in higher education. 2012. Vol. 13(3). pp. 211-218.
11. Rieckmann M. Learning to transform the world: key competencies in education for sustainable development // Issues and trends in Education for Sustainable Development. 2018. pp. 39-59.
12. Sterling S., Glasser H., Rieckmann M., Warwick P. «More than scaling up»: a critical and practical inquiry into operationalizing sustainability competencies // Routledge handbook of higher education for sustainable development. 2017. pp. 307-324.
13. United Nations. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. NY: UN General Assembly, 2015. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
14. Wiek A., Withycombe L., Redman C.L. Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development // Sustainability science. 2011. Vol. 6(2). pp. 203-218.
15. World Commission on Environment and Development. Our common future. Oxford: Oxford University Press, 1987.

Integration of sustainable development principles into training courses on pipeline transport system design

Vyacheslav P. Zykov

Expert specialist

Ufa State Petroleum Technological University

Ufa, Russia

Slavych7@yandex.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Dias S. Karabekov

Expert specialist

Ufa State Petroleum Technological University
Ufa, Russia
karabekovdias@gmail.com
ORCID 0000-0000-0000-0000

Alexander S. Zhivotyagin

Expert specialist
Ufa State Petroleum Technological University
Ufa, Russia
povarov_003@mail.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Radim R. Minniakhmetov

Expert specialist
Ufa State Petroleum Technological University
Ufa, Russia
radimminniakhmetoff@yandex.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Alexander S. Danilov

Expert specialist
Ufa State Petroleum Technological University
Ufa, Russia
alexandr.danilow2018@yandex.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 06.02.2025

Accepted 26.03.2025

Published 30.04.2025

UDC 629.736:37.64:333.79

DOI 10.25726/c4150-2067-7292-i

EDN UALJOB

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

OECD 05.03.HE. EDUCATION, SPECIAL

Abstract

The article explores methodological approaches to the implementation of the principles of sustainable development in educational programs for the design of pipeline transport systems. A comprehensive analysis of existing educational practices has been carried out in the context of three basic dimensions of sustainable development: environmental, economic and social. Based on empirical data obtained during the testing of an integrated educational course in five leading engineering universities in Russia, key factors of the effectiveness of the implementation of the principles of sustainable development in engineering education have been identified. A multilevel model for integrating the principles of sustainable development into training programs has been developed and validated, taking into account the specific features of pipeline systems and current trends in decarbonization of the energy sector. The results demonstrate a significant increase in students' professional competencies in the field of designing environmentally safe, socially responsible and cost-effective pipeline transport systems using the developed model. Statistical analysis shows a correlation between the introduction of an integrated course and the increased readiness of graduates to solve complex engineering problems in the context of global challenges of sustainable development. The research results are of practical value for the

modernization of engineering curricula and can serve as a methodological basis for the development of new generation educational standards.

Keywords

sustainable development, pipeline transport, engineering education, integrated approach, environmental safety, decarbonization.

References

1. Barth M., Rieckmann M. Academic staff development as a catalyst for curriculum change towards education for sustainable development: an output perspective // *Journal of cleaner production*. 2012. Vol. 26. pp. 28-36.
2. Creswell J.W., Plano Clark V.L. *Designing and conducting mixed methods research*. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2017.
3. Elkington J. *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business*. Oxford: Capstone, 1997.
4. Filho W.L., Shiel C., Paço A., Mifsud M., Ávila L.V., Brandli L.L., Molthan-Hill P., Pace P., Azeiteiro U.M., Vargas V.R., Caeiro S. Sustainable development goals and sustainability teaching at universities: falling behind or getting ahead of the pack? // *Journal of cleaner production*. 2019. Vol. 232. pp. 285-294.
5. Guerra A. Integration of sustainability in engineering education: Why is PBL an answer? // *International journal of sustainability in higher education*. 2017. Vol. 18(3). pp. 436-454.
6. Hancock L., Nuttman S. Engaging higher education institutions in the challenge of sustainability: sustainable transport as a catalyst for action // *Journal of cleaner production*. 2014. Vol. 62. pp. 62-71.
7. Liao Q., Liang Y., Tu R., Huang L., Zheng J., Wang G., Zhang H. Innovations of carbon-neutral petroleum pipeline: a review // *Energy reports*. 2022. Vol. 8. pp. 13114-13128.
8. Liu J., Liang S. Education for sustainable development in China: a review of progress and practice // *Energy consumption reduction and sustainable development for Oil & Gas transport and storage engineering*. 2023. Vol. 16(4). pp. 1775.
9. Lozano R., Merrill M.Y., Sammalisto K., Ceulemans K., Lozano F.J. Connecting competences and pedagogical approaches for sustainable development in higher education: A literature review and framework proposal // *Sustainability*. 2017. Vol. 9(10). P. 1889.
10. Mulder K.F., Segalàs J., Ferrer-Balas D. How to educate engineers for/in sustainable development: ten years of discussion, remaining challenges // *International journal of sustainability in higher education*. 2012. Vol. 13(3). pp. 211-218.
11. Rieckmann M. Learning to transform the world: key competencies in education for sustainable development // *Issues and trends in Education for Sustainable Development*. 2018. pp. 39-59.
12. Sterling S., Glasser H., Rieckmann M., Warwick P. «More than scaling up»: a critical and practical inquiry into operationalizing sustainability competencies // *Routledge handbook of higher education for sustainable development*. 2017. pp. 307-324.
13. United Nations. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. NY: UN General Assembly, 2015. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
14. Wiek A., Withycombe L., Redman C.L. Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development // *Sustainability science*. 2011. Vol. 6(2). pp. 203-218.
15. World Commission on Environment and Development. *Our common future*. Oxford: Oxford University Press, 1987.