

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.065

doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-52-59

## ИМИТАЦИОННОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОШИБОК ПЕРСОНАЛА ПРИ ВЫГРУЗКЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН

Олег Сергеевич Кузьмин<sup>1</sup>, Андрей Николаевич Луценко<sup>2</sup>, Елена Сергеевна Куликова<sup>3✉</sup>

<sup>1,2</sup> Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, Россия

<sup>3</sup> Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

<sup>1</sup> readheadunit@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-5301-9231>

<sup>2</sup> andyhab@mail.ru

<sup>3</sup> kulikovaes@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2125-8177>

### Аннотация

Статья посвящена проблеме негативного влияния человеческого фактора при выгрузке нефтепродуктов из железнодорожных цистерн на сливных эстакадах. Эмпирическим методом исследованы частота и причины ошибок персонала на действующем участке выгрузки, предложено техническое решение, способствующее повышению компетенции существующих и ускорению адаптации вновь поступающих сотрудников.

Актуальность обусловлена повсеместным внедрением на предприятиях цифровых решений для обучения сотрудников безопасным методам ведения работ в условиях постоянных кадровых перестановок и ужесточения требований безопасности.

Научная новизна состоит в следующем:

– разработке алгоритма симуляции, воспроизводящего не только стандартные операции, но и учитывающего распространенные ошибки персонала при выгрузке нефтепродуктов, установленных эмпирическим методом;

– проработке функциональных возможностей с упором на детальное ознакомление пользователя с эксплуатируемым оборудованием.

Теоретическая значимость заключается в разработке цифрового инструмента, способствующего ускоренному и эффективному пониманию ключевых положений безаварийного ведения работ, основанных на исследовании адаптации человека в производственной среде.

Практическая значимость определяется возможностью внедрения программной обучающей платформы в производственные процессы выгрузки опасных грузов, в том числе нефтепродуктов, из железнодорожных цистерн на всей территории Российской Федерации в связи с идентичностью характера выполняемых операций.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, нефтепродукты, цистерны, персонал, компьютерное обучение, симулятор.

Ссылка для цитирования:

Кузьмин О.С. Имитационное компьютерное обучение для предотвращения ошибок персонала при выгрузке нефтепродуктов из железнодорожных цистерн / О.С. Кузьмин, А.Н. Луценко, Е.С. Куликова // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 9. – С. 52-59. doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-52-59.

Original article

Open Access Article

## SIMULATION COMPUTER TRAINING TO PREVENT STAFF MISTAKES WHEN UNLOADING PETROLEUM PRODUCTS OUT OF RAILWAY TANKS

Oleg Sergeevich Kuzmin<sup>1</sup>, Andrey Nikolaevich Lutsenko<sup>2</sup>, Elena Sergeevna Kulikova<sup>3✉</sup>

<sup>1,2</sup> Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia

<sup>3</sup> Pacific National University, Khabarovsk, Russia

<sup>1</sup> readheadunit@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-5301-9231>

<sup>2</sup> andyhab@mail.ru

<sup>3</sup> kulikovaes@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2125-8177>

## Abstract

The paper is devoted to the problem of negative influence of the human factor when unloading petroleum products out of railway tanks on oil cargo piers. The frequency and causes of staff errors at the current unloading site are studied empirically, and a technical solution is proposed that would enhance the competence of existing employees and accelerate the adaptation of incoming employees.

The relevance is due to the widespread introduction of digital solutions at enterprises to train employees safely in the conditions of constant personnel changes and stricter security requirements.

The scientific novelty is in the following:

– development of a simulation algorithm that reproduces not only standard operations, but also takes into account common errors of personnel when unloading oil products, found empirically;

*Reference for citing:*

*Kuzmin OS, Lutsenko AN, Kulikova ES. Simulation computer training to prevent staff mistakes when unloading petroleum products out of railway tanks. Transport Engineering. 2025;9:52-59. doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-52-59.*

## Введение

На сегодняшний день перевозка нефти и продуктов ее переработки по железной дороге все еще занимает одну из лидирующих позиций среди всех видов транспорта, уступая только трубопроводному. Наряду с востребованностью, реализация железнодорожных перевозок тесно сопряжена с высокой степенью негативного воздействия на состояние окружающей среды [1, 2]. При этом в качестве основного источника такого воздействия, в зарубежных [3, 4] и отечественных [5] исследованиях, упоминаются аварийные разливы перевозимых грузов.

Отчужденность перевозочных маршрутов, низкий уровень предупреждающих и контрольных средств обеспечения безопасности придают перевозкам высокий аварийный потенциал. Негативный опыт железной дороги сформировал у обывателя имидж того, что разливы нефтепродуктов на железной дороге – это событие, связанное со сходом и опрокидыванием подвижного состава в пути его следования, и сопровождаемая выбросом больших объемов жидкости на обширную площадь.

## Основная часть

Несанкционированные разливы нефтепродуктов при их выгрузке происходят в результате разгерметизации так

– study of functional possibilities with an emphasis on detailed examination of the user with the equipment in use.

Theoretical significance is in the development of a digital tool that facilitates an accelerated and effective understanding of the key provisions of trouble-free work based on the study of human adaptation in the industrial environment.

Practical significance is determined by the possibility of introducing a software training platform into the production processes of unloading dangerous goods, including petroleum products, out of railway tanks throughout the Russian Federation due to the identity of the operations performed.

**Keywords:** railway transport, petroleum products, tanks, personnel, computer training, simulator.

Однако, с увеличением переработки нефти, потребности в топливе и, как следствие, производительности его транспортировки, увеличивается и доля инцидентов их проливов, возникающих на других этапах перевозочного процесса. Не менее весомый вклад в загрязнение окружающей среды вносит этап выгрузки нефтепродуктов, являющийся последним звеном транспортной цепи. В силу своей специфичности процесс выгрузки (слива) нефтепродуктов неотвратимо связан с их частыми несанкционированными разливами.

Принимая во внимание полноценное выполнение слива персоналом в ручном режиме можно сделать вполне обоснованный вывод о том, что главной причиной таких инцидентов является человеческий фактор, выраженный в ошибках сотрудников. Таким образом снижение влияния человеческого фактора на разливы нефтепродуктов при их выгрузке выступает одной из важнейших задач в рамках реализации перевозочного процесса, особенно в его экологической и экономической составляющей.

называемого сливного узла, являющегося сборочным соединением устройства слива, смонтированного на эстакаде, и сливного

приборы выгружаемой железнодорожной цистерны [6, 7, 8]. При этом такая разгерметизация подразделяется на частичную, путем выхода нефтепродукта из мелких зазоров или неплотностей в сливном узле, а также полную, означающую разъединение элементов узла во время выгрузки.

На основе данных эмпирических исследований, проведенных на действующем объекте выгрузки нефтепродуктов, выполнен анализ причин, влияющих на возникновение разливов. Результаты анализа представлены на диаграмме (рис. 1).

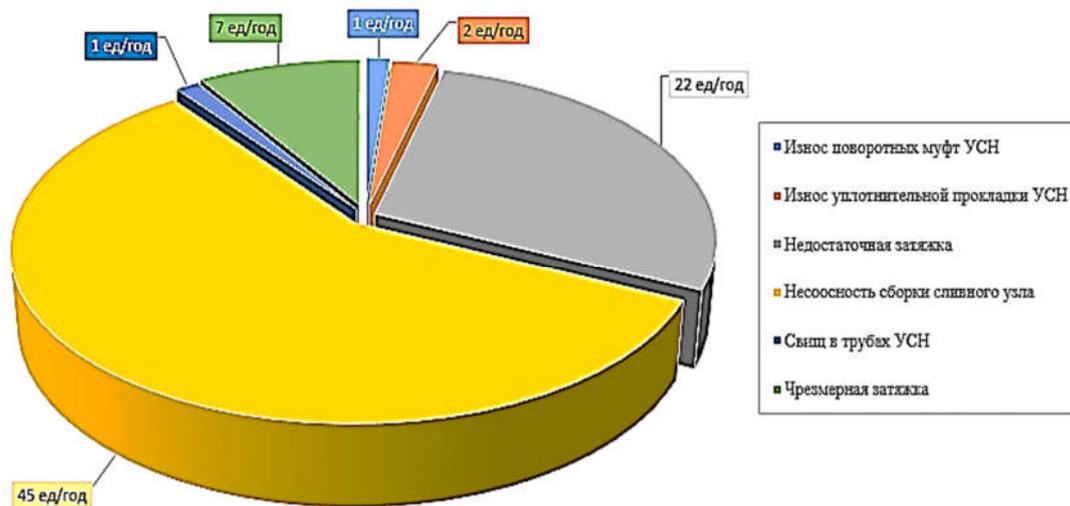


Рис. 1. Причины возникновения аварийных разливов нефтепродуктов в ходе их выгрузки  
 Fig. 1. Causes of accidental oil product spills during their unloading

Из графика следует, что в меньшей степени разливы случаются по причине износа элементов УСН, в то время как преобладающая доля относится к ошибкам среди персонала, в связи с отсутствием необходимого опыта, либо его переизбытка, а также низким уровнем подготовки.

Следствием указанных причин установлена высокая текучесть кадров и проблемы с адаптацией по причине снижения квалификационных требований к персоналу, вновь поступающему на работу.

Таким образом, каждое действие, совершаемое неподготовленным сотрудником, является потенциальной аварией.

Следовательно, решение данной проблемы заключается в разработке превентивных средств обеспечения безопасного ведения производственного процесса, способных компенсировать влияние человеческого фактора.

Минимизация ошибок антропогенного характера лежит через повышение уровня компетентности эксплуатационного персонала, занятого выгрузкой НП из железнодорожных цистерн.

Практика показывает, что сегодняшние меры, выраженные в увеличении размеров штрафных санкций, не способны привести к достижению поставленной цели и полностью обеспечить безаварийное ведение технологических процессов.

Такие меры имеют краткосрочный эффект, после чего тенденция к совершенному ошибкам возвращается вновь, в связи с недостаточным уровнем понимания особенностей работы эксплуатируемого технологического оборудования и происходящих процессов каждого отдельного этапа работ.

В современных условиях для подготовки квалифицированных кадров требуется создание материально-технической базы и соответствующих образовательных программ, определенных государственными стандартами.

При этом большое значение имеет проведение обучения сотрудников соответствующих профилей методом геймификации. Это подтверждается и востребованностью таких технологий в отрасли железнодорожного транспорта для большого спектра специалистов [9], которые способ-

ствуют существенному сокращению производственных затрат за счет уменьшения количества ошибок, совершаемых персоналом. С учетом этого, в рамках исследования разработано обучающее программ-

ное средство «Обучающий симулятор оператора товарного» [10], направленное на повышение уровня безопасности проведения выгрузки НП из железнодорожных цистерн (рис. 2).

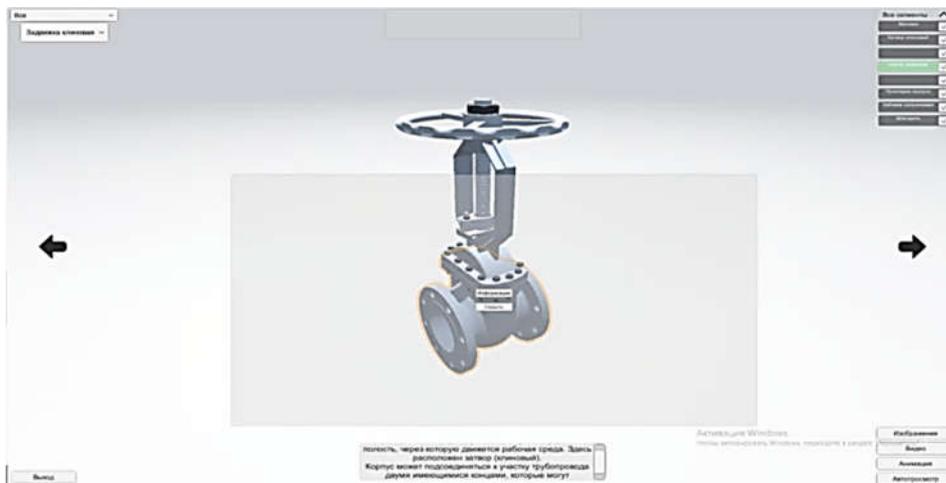


Рис. 2. Фрагменты обучающего симулятора  
*Fig. 2. Fragments of the training simulator*

Суть предлагаемого решения заключается в воспроизведении действующего участка выгрузки НП с полноценным моделированием всех этапов работ, сопровождаемых подробными инструктажами в контексте обеспечения безаварийного ведения работ.

Для усиления эффекта симулятор взаимодействует с программой «Анатомия оборудования нефтебаз», также защищенной свидетельством [11], предусматривающей возможность ознакомления с эксплуатируемым оборудованием в 3D режиме как показано на рис. 3.



Рис. 3. Фрагменты режима «Анатомия оборудования»  
*Fig. 3. Fragments of "Anatomy of equipment" mode*

Поскольку в ходе исследования установлено, что наибольшим образом человеческий фактор проявляет себя в рамках подготовительно-заключительных ра-

бот, основной упор при разработке симулятора осуществлялся именно на эти подэтапы. Алгоритм работы симулятора приведен на рис. 4.

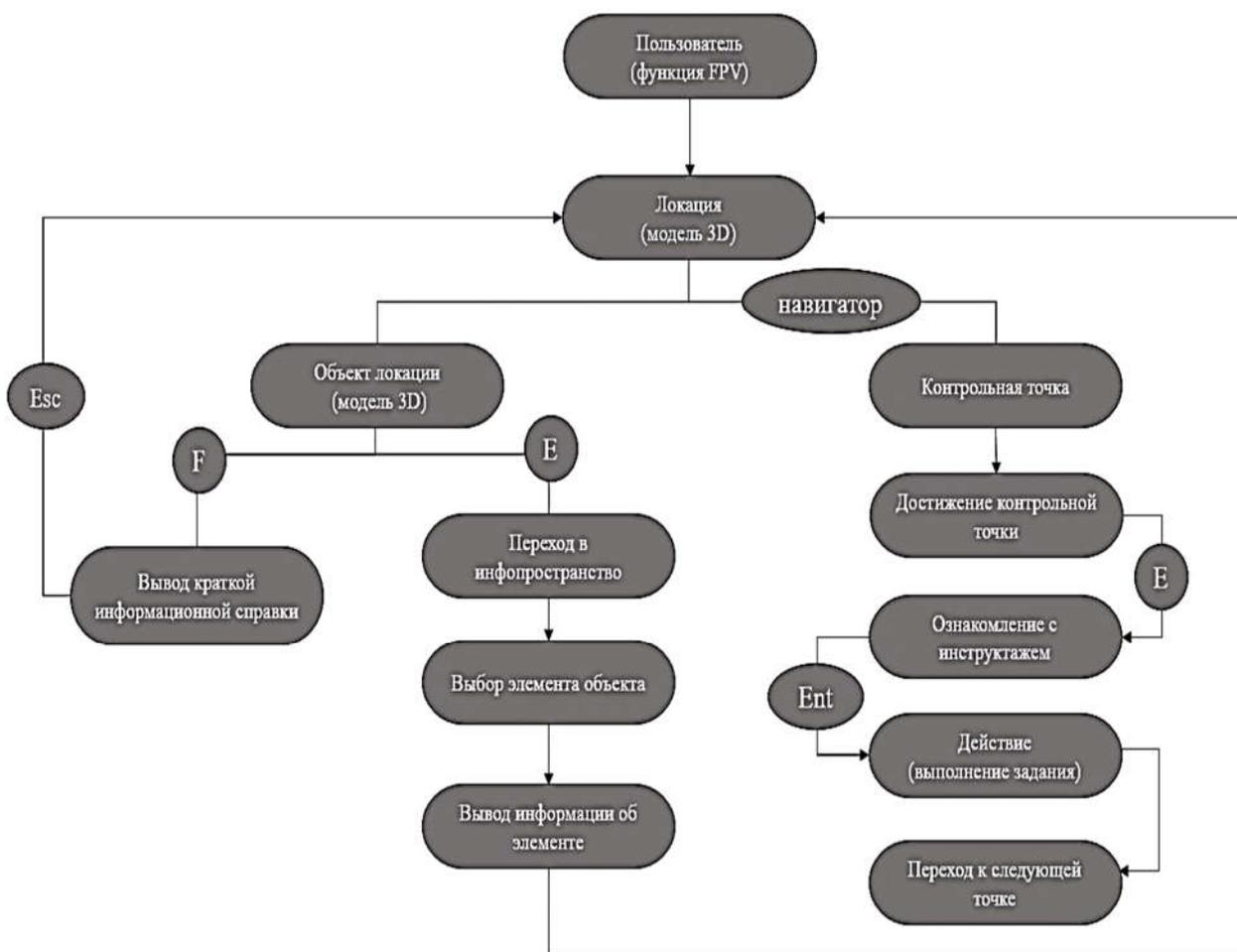


Рис. 4. Блок-схема алгоритма работы симулятора  
Fig. 4. Block diagram of the simulator operation algorithm

В целях верификации симулятора его разработка сопровождалась испытаниями на действующих пользователях.

Для оценки эффективности обучающего средства использована методика

определения среднего прироста обучения «pre-test/post-test», теоретические основы которой применяются в педагогике и статистике [12].

Оценка осуществлялась по формуле:

$$\Delta = \left( \frac{(Y_1 - X_1)/X_1 + (Y_2 - X_2)/X_2}{n} \right) 100 \%, \quad (1)$$

где  $\Delta$  – средний прирост, %;  $X_i$  – значение ошибок до обучения (pre-test), %;  $Y_i$  – значение ошибок после обучения (post-test), %;  $n$  – количество испытуемых, ед.

Относительный прирост  $\Delta_{отн}$  для каждого участника по формуле:

$$\Delta_{отн} = \frac{Y_i - X_i}{X_i} 100 \%. \quad (2)$$

Испытание было проведено согласно семе, представленной на рис. 5.

Результаты испытаний представлены в таблице.

Обобщенные результаты испытаний симулятора

Таблица

Table

Total simulator test results

Кол-во испытуемых	$X_1, \%$	$Y_1, \%$	$\Delta, \%$
15 чел.	35	10	71,4

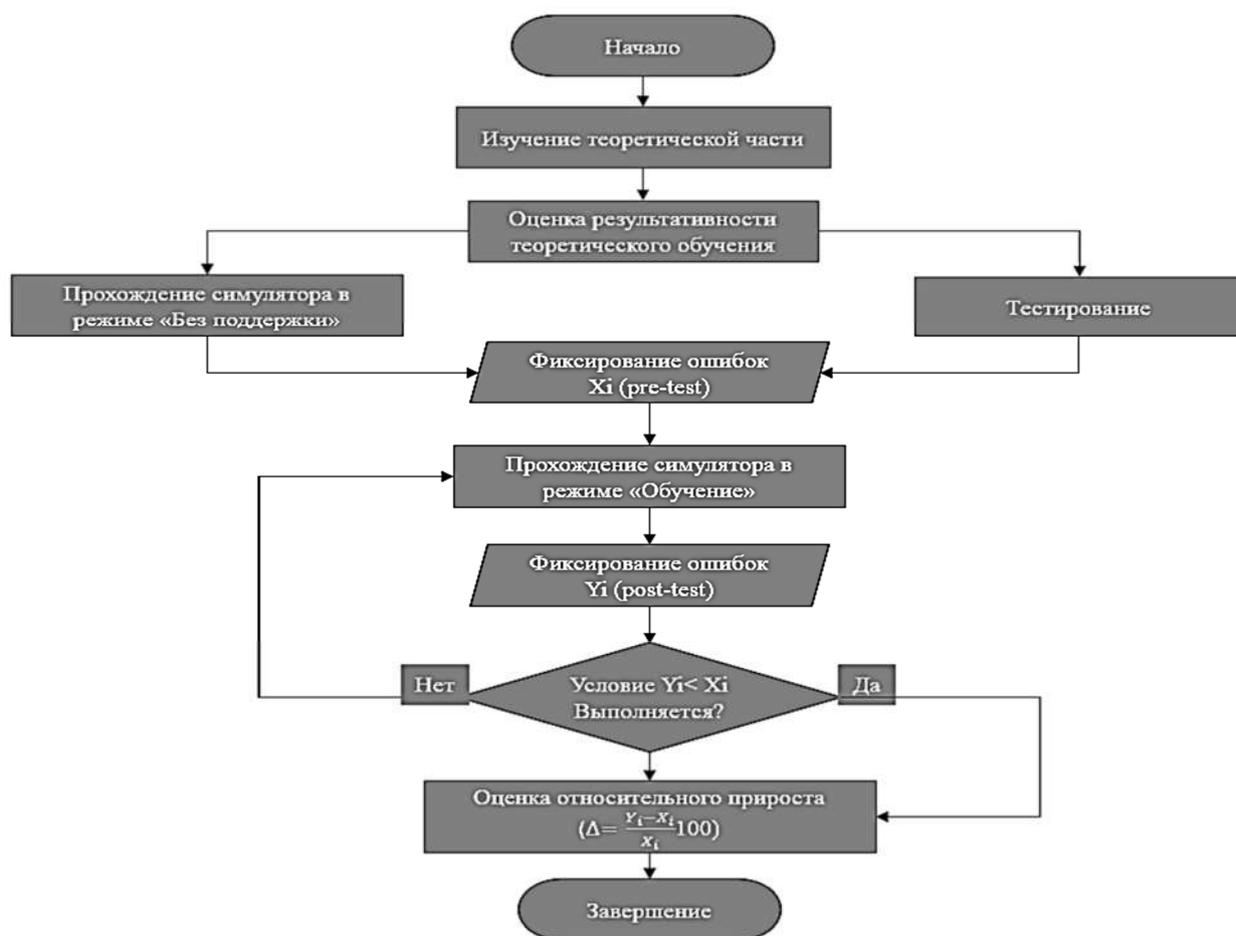


Рис. 5. Сема проведения испытаний симулятора  
 Fig. 5. Diagram of simulator tests

Результаты использования обучающего симулятора показали положительную динамику для испытуемых, ошибки которых сократились в среднем с 35 до 10 %.

Полученные данные по приросту продемонстрировали снижение ошибок испытуемых на 71 %, что соответствует высокому эффекту в сравнении с традиционными методами обучения.

Таким образом, интеграция предлагаемого решения в производственный процесс выгрузки НП увеличит уровень защи-

ты окружающей среды от загрязняющего воздействия этапа, за счет доказанной эффективности обучения и ускорения адаптации, что особенно актуально в условиях высокой текучести кадров.

Кроме того, внедрение данной разработки в перспективе позволит сократить затраты на ликвидацию аварийных ситуаций, связанных с человеческим фактором, а также убытки от утери НП в результате несанкционированных разливов из железнодорожных цистерн.

### Заключение

Проведенное исследование подтвердило, что человеческий фактор является одной из ключевых причин несанкционированных разливов нефтепродуктов при их выгрузке из железнодорожных цистерн. Анализ эмпирических данных показал, что ошибки персонала, связанные с недостаточным опытом или низким уровнем под-

готовки, составляют значительную долю инцидентов, что подчеркивает необходимость внедрения современных методов обучения, способных минимизировать влияние антропогенных факторов на производственные процессы.

Разработанный имитационный компьютерный симулятор для обучения опе-

раторов товарных нефтебаз продемонстрировал высокую эффективность в сокращении количества ошибок персонала. Это свидетельствует о значительном преимуществе предложенного решения.

Внедрение симулятора в производственные процессы позволит не только повысить уровень безопасности и экологической защиты, но и сократить экономические потери, связанные с ликвидацией аварийных ситуаций и утерей нефтепродуктов. Кроме того, использование подобных цифровых инструментов способствует

ускоренной адаптации новых сотрудников, что особенно актуально в условиях высокой текучести кадров.

Таким образом, результаты исследования имеют важное теоретическое и практическое значение для отрасли железнодорожного транспорта нефтепродуктов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение функционала симулятора, а также на изучение возможностей его интеграции с другими цифровыми платформами для комплексного обучения персонала.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ли Я. Анализ рисков транспортировки нефтепродуктов из России в Китай / Я. Ли // Экономические науки. 2018. № 160. С. 37-40.
2. Султанов Р.М. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций при транспортировке нефтепродуктов железнодорожным транспортом / Р.М. Султанов, Л.А. Ибатуллина // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. № 1(107).
3. New Report: Concerns Remain Over Safety of Rail to Transport Energy Liquids and Gases URL: <https://www.nationalacademies.org/news/2017/10/concerns-remain-over-safety-of-rail-to-transport-energy-liquids-and-gases> (дата обращения: 15.01.2024).
4. Safety in the Transportation of Oil and Gas: Pipelines or Rail? – URL: <https://www.fraserinstitute.org/sites/default/files/safety-in-the-transportation-of-oil-and-gas-pipelines-or-rail-rev2.pdf> (дата обращения: 17.01.2024).
5. Никулин А.А. Подходы к прогнозированию негативного влияния железнодорожного транспорта на окружающую среду / А.А. Никулин, М.В. Медов, Р.В. Кошкарлов // Universum: технические науки. 2021. № 4-1(85). С. 18-22.
6. Кузьмин О.С. Совершенствование отгрузочного этапа транспортировки нефтепродуктов железнодорожным транспортом в целях повышения безопасности и защиты окружающей среды / О.С. Кузьмин, А.Н. Луценко, Е.С. Куликова // Транспортное дело России. 2024. – № 1. С. 189-192.;
7. Loading and unloading of road and rail tankers – hazards, good practice and case studies [ Электронный ресурс] режим доступа: <https://www.icheme.org/media/2088/lpb250pg15.pdf>.
8. Ensuring Safety at Railway Siding Operation of Oil Terminals.– URL : <https://www.pahwametaltech.co.in/post/ensuring-safety-at-railway-siding-operation-of-oil-terminals> (дата обращения: 18.01.2024).
9. VR-тренажеры уменьшают число ошибок машинистов и ремонтных бригад. – URL : <https://rzdigital.ru/projects/vr-trenazhery-umenshayut-chislo-oshibok-mashinistov-i-remontnykh-brigad/> (дата обращения 24.04.2025).
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610748 Российская Федерация. Обучающий симулятор оператора товарной нефтебазы: № 2019665169: заявл. 26.11.2019 : опубл. 20.01.2020 / А.В. Каменчуков, О.С. Кузьмин, Е.С. Куликова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет».
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021613541 Российская Федерация. Обучающий тренажер "Анатомия оборудования нефтебаз" : № 2021612667 : заявл. 25.02.2021 : опубл. 10.03.2021 / О. С. Кузьмин, Е. С. Куликова, Т. А. Куликова.
12. David S. Moore. The Basic Practice of statistics / S. David // Fourth Edition, 2010. 890 p. – URL : <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/39032/1/David%20S.%20Moore.pdf> (дата обращения: 23.02.2025).

## REFERENCES

1. Li Ya. Risk analysis of transporting petroleum products from Russia to China. Economic Sciences. 2018;160:37-40.
2. Sultanov RM, Ibatullina LA. Forecasting emergency situations during transportation of petroleum products by rail. Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2017;1(107).
3. New Report: Concerns remain over safety of rail to transport energy liquids and gases [Internet]. [cited 2024 Jan 15]. Available from: <https://www.nationalacademies.org/>

- news/2017/10/concerns-remain-over-safety-of-rail-to-transport-energy-liquids-and-gases.
4. Safety in the transportation of oil and gas: pipelines or rail [Internet]? [cited 2024 Jan 17]. Available from: <https://www.fraserinstitute.org/sites/default/files/safety-in-the-transportation-of-oil-and-gas-pipelines-or-rail-rev2.pdf>.
  5. Nikulin AA, Medov MV, Koshkarov RV. Approaches to forecasting the negative impact of railway transport on the environment. *Universum: Technical Sciences*. 2021;4-1(85):18-22.
  6. Kuzmin OS, Lutsenko AN, Kulikova ES. Improvement of the shipping stage of oil products transportation by rail in order to improve safety and environmental protection *Transportnoe Delo Rossii*. 2024;1:189-192.
  7. Loading and unloading of road and rail tankers – hazards, good practice and case studies [ Internet]. Available from: <https://www.icheme.org/media/2088/lpb250pg15.pdf>
  8. Ensuring safety at railway siding operation of oil terminals [Internet]. [cited 2024 Jan 18]. Available from: <https://www.pahwametaltech.co.in/post/ensuring-safety-at-railway-siding-operation-of-oil-terminals>.
  9. VR simulators reduce the number of mistakes made by machinists and repair crews [Internet]. [cited 2025 April 24]. Available from: <https://rzdigital.ru/projects/vr-trenazhery-umenshayut-chislo-oshibok-mashinistov-i-remontnykh-brigad/>
  10. Kamenchukov AV, Kuzmin OS, Kulikova ES. RF Certificate of state registration of the computer program No. 2020610748. Training simulator of a commercial tanker operator. 2020 Jan 20.
  11. Kuzmin OS, Kulikova ES, Kulikova TA. RF Certificate of state registration of the computer program No. 2021613541. Training course "Anatomy of Tank Farm Equipment". 2021 Nov 03.
  12. Moore DS. The basic practice of statistics [Internet]. 4<sup>th</sup> ed. 2010 [cited 2025 Feb 23]. Available from: <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/39032/1/David%20S.%20Moore.pdf>.

#### Информация об авторах:

**Кузьмин Олег Сергеевич** – аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Дальневосточного государственного университета путей сообщения, Author ID РИНЦ 1087908, тел. +79963898395.

**Луценко Андрей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Дальневосточного государственного

**Kuzmin Oleg Sergeevich** – Postgraduate Student of Technosphere Safety Department at Far Eastern State Transport University, Author ID of RSCI 1087908; phone: +79963898395.

**Lutsenko Andrey Nikolaevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Technosphere

университета путей сообщения, Author ID РИНЦ 860647.

**Куликова Елена Сергеевна** – старший преподаватель ВШ «Транспортного строительства, землеустройства и геодезии» Тихоокеанского государственного университета, Author ID РИНЦ 222668, тел. +79625001403.

Safety Department at Far Eastern State Transport University, Author ID RSCI 860647.

**Kulikova Elena Sergeevna** – Senior Lecturer of the Higher School of Economics at the Department of Transport Construction, Land Management and Geodesy at Pacific National University, Author ID RSCI 222668; phone: +79625001403.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**  
**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**  
**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.**  
**Article published in Open Access mode.**

Статья поступила в редакцию 24.07.2025; одобрена после рецензирования 04.08.2025; принята к публикации 28.08.2025. Рецензент – Нагоркин М.Н., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, заместитель председателя редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 24.07.2025; approved after review on 04.08.2025; accepted for publication on 28.08.2025. The reviewer is Nagorkin M.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University, Vice-Chairman of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.