

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ/TECHNOSPHERE SAFETY OF TRANSPORT SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.56>

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРДНОГО ГАЗА

Научная статья

Гурьянов Е.С.^{1,*}, Елизарьев А.Н.², Кострикова Н.В.³, Несголоворов Н.С.⁴

²ORCID : 0000-0002-5612-8121;

^{1, 2, 3, 4} Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (guryanov.jegor[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются особенности транспортировки сжиженного углеводородного газа (СУГ), относящегося к числу опасных грузов, требующих особых условий при перевозке и представляющих собой ценный энергетический ресурс, широко используемого в различных отраслях. Проведен сравнительный анализ трех видов полуприцепов-цистерн, применяемых при транспортировке СУГ с учетом их уровня безопасности и эксплуатационной эффективности, включая технические аспекты выбора транспортных средств. В ходе анализа предложены рекомендации по их использованию. Описаны причины аварий, которые могут быть при транспортировке СУГ и разбор основных методов доставки СУГ к потребителю, а также выявлены ключевые преимущества и недостатки.

Ключевые слова: СУГ, газ, транспортировка, автотранспорт, аварии, перевозка, опасный груз, цистерна.

STUDY OF SAFETY SPECIFICS IN THE TRANSPORTATION OF LIQUEFIED HYDROCARBON GAS

Research article

Guryanov Y.S.^{1,*}, Elizaryev A.N.², Kostriukova N.³, Nesgоловоров N.S.⁴

²ORCID : 0000-0002-5612-8121;

^{1, 2, 3, 4} Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation

* Corresponding author (guryanov.jegor[at]yandex.ru)

Abstract

The article examines the specifics of transporting liquefied hydrocarbon gas (LHG), which is classified as dangerous cargo requiring special conditions during transportation and represents a valuable energy resource widely used in various industries. A comparative analysis of three types of semi-trailer tanks used for LHG transportation is carried out, taking into account their level of safety and operational efficiency, including technical aspects of vehicle selection. Recommendations for their use are proposed in the course of the analysis. The causes of accidents that may occur during the transportation of LHG are described, the main methods of delivering LHG to consumers are analysed, and the key advantages and disadvantages are identified.

Keywords: LHG, gas, transportation, motor transport, accidents, transport, dangerous goods, tanker.

Введение

Сжиженный углеводородный газ является источником энергии, обладающим уникальными свойствами, обеспечивающими его широкое применение даже в самых удаленных уголках планеты. В отличие от электричества, доступ к которому ограничен развитой инфраструктурой электросетей, СУГ легко транспортируется и хранится, что делает его идеальным решением для регионов с ограниченным доступом к централизованным энергосистемам, включая сельские районы, удаленные поселения и даже труднодоступные горные местности [1].

Производство СУГ в России по оптимистичному сценарию к 2030 году увеличится на 65% — с 14,5 млн до 24 млн т, а их экспорт удвоится, составив 7,8 млн т в год [2]. В то же время СУГ входит в число опасных грузов и относится ко второму классу (ГОСТ 19433-88), что определяет высокую степень пожаро-взрывоопасности при перевозках [3]. Для определения к какому классу опасности относится перевозимое вещество на цистерне наносятся специальные маркировки [4].

Целью данной работы является исследование особенностей обеспечения безопасности при перевозке сжиженного углеводородного газа.

Для достижения поставленной цели необходимо решения следующих задач:

- провести сравнение эффективности способов транспортировки;
- определить основные факторы риска при транспортировке СУГ;
- выполнить сравнительный анализ на примере часто используемых трёх видов автоцистерн.

В условиях растущего спроса на эффективный источник энергии вопрос о его транспортировки приобретает все большего значения. От выбранного способа перевозки могут зависеть как экономические показатели, так и возможные риски доставки до потребителя. На практике используется несколько способов транспортировки: автомобильный (для транспортировки на малые расстояния, наиболее мобилен среди других способов), железнодорожный (в основном при невозможности использования автотранспорта из-за отдаленности пунктов доставки и при отсутствии возможности транспортировки трубопроводом), морской (при перемещении газа по морским и речным путям с использованием специальных судов — танкеров), трубопроводный (редко используется для СУГ на большие расстояния из-за

особенностей физико-химических свойств газа, применяется на промышленных объектах внутри предприятий, между установками и складами) [5].

Основные результаты

Выбор способа зависит от объёма поставок, расстояния, инфраструктуры, экологической и промышленной безопасности. Для сравнения способов транспортировки с точки зрения эффективности транспортировки выявлены их преимущества и недостатки (табл. 1).

Таблица 1 - Сравнение способов транспортировки

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.56.1>

Способ	Преимущества	Недостатки
Автомобильный	1. Мобильность и гибкость маршрутов. 2. Более доступный потребителю.	1. Наименьшие объемы партий (по сравнению с другими способами). 2. Повышенный риск аварий.
Железнодорожный	1. Большая грузоподъемность. 2. Хорошая безопасность.	1. Зависимость от ж/д инфраструктуры. 2. Труднодоступная доставка потребителю.
Морской	1. Перевозка крупных партий (десятки тысяч тонн). 2. Эффективен в международной торговле.	1. Большой экологический ущерб при аварии. 2. Высокие капитальные затраты.
Трубопроводный	1. Автоматизированная подача газа. 2. Экономичные эксплуатационные расходы.	1. Ограниченнное применение. 2. Высокая стоимость строительства.

Среди представленных способов более подробно был рассмотрен автомобильный способ транспортировки, осуществляемый полуприцепами-цистернами, которые обычно разрабатываются с учетом определенного объема, могут колебаться в зависимости от конкретной модели и назначения, выполнены из прочных материалов, что обеспечивает долговечность и надежность при надлежащем контроле за их состоянием.

В то же время автомобильный способ является немало опасным и аварийным, что позволил на анализе статистических данных и литературных источников выявить основные причины аварий с СУГ (рис. 1).

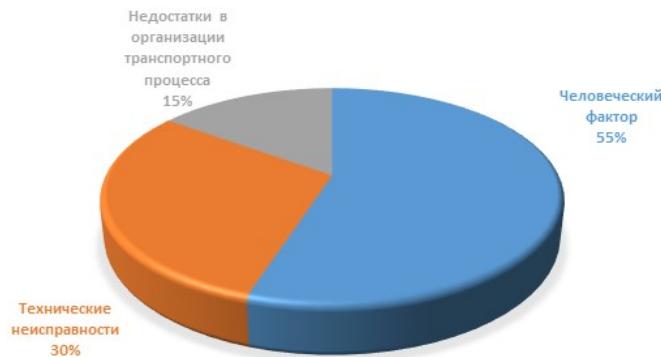


Рисунок 1 - Основные причины аварий с СУГ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.56.2>

Примечание: по ист. [6]

Анализ основных причин аварий с СУГ, представленном на диаграмме 1 показал, что существенную долю аварий при транспортировке СУГ составляет человеческий фактор (55%), включающий ошибки водителей, операторов, а также управленческого персонала. Наиболее распространённые причины — нарушение правил дорожного движения, неправильные действия при погрузке и разгрузке, игнорирование требований безопасности и неадекватное поведение

в аварийных ситуациях. Часто аварии происходят вследствие переутомления водителей, недостаточной квалификации или отсутствия регулярной подготовки по работе с опасными грузами. Кроме того, человеческий фактор проявляется в виде формального подхода к контролю за персоналом и обучением. Таким образом, повышение уровня профессиональной подготовки, психологической устойчивости и культуры безопасности является важнейшим направлением снижения риска аварий по причине человеческого фактора. Так, например, 24 января 2024 года в Монголии из-за нарушения правила дорожного движения водителем газовоза произошло столкновение с легковым автомобилем с разгерметизацией цистерны с последующим взрывом (более 20 человек пострадали) [7].

На втором месте находятся технические неисправности (30%), которые при несоблюдении ГОСТа 21561-2017 могут возникнуть при перевозке СУГ:

1. Неисправность запорной арматуры. Она должна быть закрыта защитными кожухами, которые можно опломбировать на время транспортирования и хранения газа в автоцистернах.

2. Неисправность предохранительных клапанов. На каждом сосуде должно быть установлено не менее двух клапанов для предотвращения повышения давления в сосуде более установленной нормы.

3. Неисправность манометра.

4. Выход из строя указателей уровнемерных устройств.

5. Срыв или разрыв соединительных рукавов.

6. Не герметичность газопроводов обвязки, запорной и предохранительной арматуры.

7. Утечки СУГ или конденсирование в сварных швах, во фланцевых и резьбовых соединениях.

8. Трещины, вмятины и другие дефекты.

9. Коррозия

На третьем месте среди причин аварий с СУГ относятся недостатки в организации транспортного процесса (15%), к которым можно отнести неэффективное планирование маршрутов, нарушение режимов труда и отдыха водителей, несоблюдение сроков технического обслуживания, а также формальный подход к контролю технического состояния транспортных средств. Дополнительными факторами риска выступают недостаточная подготовка персонала, слабое взаимодействие между участниками логистической цепочки и низкий уровень организационной культуры безопасности.

Анализ аварийности с СУГ показал, что одним из ключевых факторов безопасности являются средства транспортировки, поэтому для обеспечения эффективной и безопасной транспортировки СУГ проведен сравнительный анализ оптимальных условий использования результативных цистерн. Результаты сравнительного анализа цистерн ППЦТ-30, ППЦТ-40, ППЦТ-55 представлены в таблице.

Таблица 2 - Сравнительный анализ цистерн

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.56.3>

Критерий	ППЦТ-30	ППЦТ-40	ППЦТ-55
Безопасность			
Устойчивость к авариям	1 балл — базовые системы, достаточные для небольших объёмов	2 балла — усиленные меры безопасности, адаптированные к увеличенному объёму	3 балла — продвинутые системы, оптимизированы для перевозки больших объёмов
Системы предотвращения утечек	1 балл — стандартные уплотнения и клапаны	2 балла — улучшенные технологии защиты	3 балла — дополнительные средства контроля и защиты утечек
Системы контроля (давление, температура)	1 балл — ручной контроль	2 балла — автоматизированный контроль с повышенной точностью	3 балла — высокотехнологичные датчики и системы автоматической коррекции
Эффективность			
Эксплуатационные расходы	3 балла — меньше затрат на обслуживание и управление, стоимость цистерны ≈ 5,7 млн. ₽	2 балла — сбалансированные расходы, стоимость цистерны ≈ 6-7 млн. ₽	1 балл — более высокие расходы из-за сложности систем и увеличенного объёма, стоимость цистерны ≈ 8-9 млн. ₽
Маневренность и управляемость	3 балла — компактная конструкция, хорошо подходит для городских маршрутов (длина — 10,39м,	2 балла — универсальное решение для пригородных маршрутов (длина — 12,69м,	1 балл — крупногабаритная конструкция, ограниченная маневренность (длина — 13,96м,

Критерий	ППЦТ-30	ППЦТ-40	ППЦТ-55
	ширина — 2,5м высота-3,8м)	ширина — 2,5м высота — 3,8м)	ширина — 2,5м, высота — 4м)
Грузоподъемность (перевозка объемов)	1 балл — 30 тонн, оптимально для малых объемов	2 балла — 40 тонн, подходит для большинства региональных перевозок	3 балла — 55 тонн, высокая эффективность при дальних маршрутах
Итог	10 баллов	12 баллов	14 баллов

Примечание: для проведения сравнительного анализа использовалась трехбалльная система оценивания; в рамках данной системы оценка 1 балл выставлялась модели с наименьшими показателями, 2 балла — для модели со средними характеристиками, 3 балла — для наилучшей модели; по ист. [8], [9], [10]

Из таблицы 2 видно, что каждая из цистерн имеет свои оптимальные условия эксплуатации, которые зависят от грузоподъемности, размеров, маневренности и требований безопасности. На основе сравнительного анализа можно сформулировать следующие рекомендации:

1. ППЦТ-30 Эффективные места для использования:

- Городские маршруты: благодаря меньшим размерам и маневренности, цистерна оптимально подходит для перевозки СУГ в городах, где важна способность быстро маневрировать и работать на ограниченных площадках.
- Краткосрочные перевозки: хорошо подходит для перевозок на небольшие расстояния, где не требуется перевозить большие объемы газа.
- Труднодоступные места: компактные размеры позволяют использовать цистерну в местах с ограниченным пространством.

2. ППЦТ-40 Эффективные места для использования:

- Периферия города и пригородные зоны: цистерна будет актуальна для перевозки газа по периферийным районам города или в пригородных зонах, где нет таких серьезных ограничений по размерам, как в центральных районах.
- Средние дистанции: подходит для перевозки газа на средние расстояния, как в пределах области, так и между городами, если требуются умеренные объемы и не такие строгие ограничения по маневренности.

• Транспортные узлы: будет удобна для перевозки на крупных логистических узлах или для доставки газа на промежуточные склады и перерабатывающие предприятия.

3. ППЦТ-55 Эффективные места для использования:

- Федеральные маршруты: цистерна подходит для дальних перевозок, где требуется перевозить большие объемы СУГ. Она подойдет для маршрутов между большими городами, промышленными зонами и крупными складскими комплексами.

• Транспортировка на длинные дистанции: использование оправдано при перевозке газа на большие расстояния, где важно перевозить максимальный объем за один рейс, и требования к маневренности и размеру дороги не такие строгие.

• Транспортировка по автомагистралям: эффективна для использования на магистралях и дорогах с хорошей пропускной способностью, где можно перевозить большие объемы газа, эта цистерна будет наиболее оптимальной.

Заключение

В ходе исследования выполнено сравнение способов транспортировки в виде матрицы преимуществ и недостатков с учетом их особенностей и специфики, определены основные факторы риска при транспортировке СУГ, к которым относятся технические неисправности, человеческий фактор и организационные просчеты, что подчеркивает необходимость системного подхода к управлению рисками на всех этапах, выполнен сравнительный анализ трёх видов автоцистерн путем определения их конструктивных особенностей и технических параметров, что позволил выявить уровни безопасности и эффективности каждой цистерны. Такой комплексный подход позволяет более объективно оценить безопасность и эффективность каждого средства транспортировки.

Полученные результаты могут быть использованы при выборе оптимальных ёмкостей для перевозки СУГ, разработке новых стандартов и совершенствования систем обеспечения техносферной безопасности.

Таким образом, в результате были предложены рекомендации по выбору оптимальных условий использования средств транспортировки.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Мишкин Д.В., Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.56.4>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Mishkin D.V., Pacific National University, Khabarovsk
Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160.56.4>

Список литературы / References

1. Применение сжиженных углеводородных газов // s-vfu. — 2020. — URL: https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/instituty/iti/erasmus_all/LPEB/Б1.В.ОД.6.5.Тема%209.%20Применение%20жиженных%20углеводородных%20газов.pdf. (дата обращения: 17.02.25)
2. Производство СУГ в РФ к 2030г вырастет на 65% // rupec. — 2021. — URL: <https://rupec.ru/news/47793/?ysclid=m7hpwnzmq7243920390>. (дата обращения: 17.02.25)
3. Михайлов П.А. Анализ безопасности методов транспортировки газа / П.А. Михайлов, А.Н. Елизарев, Д.Р. Шарафутдинов // 63-я международная научная конференция Астраханского государственного технического университета, посвященная 25-летию Астраханского государственного технического университета. — Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2019.
4. Минаева Е.М. Анализ состояния перевозок опасных грузов автомобильным транспортом. / Е.М. Минаева, А.В. Симушкин, И.В. Колпаков. // Вестник науки; — Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2024. — С. 784–788.
5. Криутин А.А. Современные тенденции развития аграрной науки / А.А. Криутин, Н.Е. Сакович // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. — Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2024.
6. Аварийные случаи с опасными грузами // seanews. — 2022. — URL: <https://seanews.ru/2022/02/24/ru-avarijnye-sluchai-s-opasnymi-gruzami/>. (дата обращения: 17.02.25)
7. Взрыв в Монголии // babr24. — 2024. — URL: <https://www.babr24.news/?IDE=255787>. (дата обращения: 28.01.25)
8. Тактико-технические характеристики ППЦТ-30 // kamaz45. — 2025. — URL: <https://kamaz45.ru/avtomobili/pritsepnaya-tehnika/gt7-equipment/gazovozy/polupritsep-tsisterna-gazovoz-pptst-30-gt7-30-kub-m-2-osi-pnevmo/>. (дата обращения: 10.04.25)
9. Тактико-технические характеристики ППЦТ-40 // gt7. — 2025. — URL: <https://gt7.ru/catalog-tr/gazovozy/gazovoz-pptst-40/?ysclid=m98p51f7ta888115788>. (дата обращения: 10.04.25)
10. Тактико-технические характеристики ППЦТ-55 // gt7. — 2025. — URL: <https://gt7.ru/catalog-tr/shflu/gazovoz-gt7-shflu-pptst-55/?ysclid=m8yas02i4r771155764> (дата обращения: 10.04.25)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Primenenie szhizhenny'x uglevodorodny'x gazov [Use of liquefied petroleum gases] // s-vfu. — 2020. — URL: https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/instituty/iti/erasmus_all/LPEB/Б1.В.ОД.6.5.Тема%209.%20Применение%20жиженных%20углеводородных%20газов.pdf. (accessed: 17.02.25) [in Russian]
2. Proizvodstvo SUG v RF k 2030g vy'rastet na 65% [LPG production in Russia will grow by 65% by 2030] // rupec. — 2021. — URL: <https://rupec.ru/news/47793/?ysclid=m7hpwnzmq7243920390>. (accessed: 17.02.25) [in Russian]
3. Mikhailov P.A. Analiz bezopasnosti metodov transportirovki gaza [Safety Analysis of Gas Transportation Methods] / P.A. Mikhailov, A.N. Yelizarev, D.R. Sharafutdinov // 63rd International Scientific Conference of Astrakhan State Technical University dedicated to the 25th anniversary of Astrakhan State Technical University. — Astrakhan: Astrakhan State Technical University, 2019. [in Russian]
4. Minaeva E.M. Analiz sostoyaniya perevozok opasny'x gruzov avtomobil'ny'm transportom [Analysis of the state of transportation of dangerous goods by road]. / E.M. Minaeva, A.V. Simushkin, I.V. Kolpakov. // Bulletin of Science; — Oryol: Orlovskij gosudarstvennyj universitet im. I.S. Turgeneva, 2024. — P. 784–788. [in Russian]
5. Kriutin A.A. Sovremennie tendentsii razvitiya agrarnoi nauki [Modern Trends in the Development of Agricultural Science] / A.A. Kriutin, N.E. Sakovich // Collection of scientific works of the International Scientific-Practical Conference. — Bryansk: Bryansk state agrarian university, 2024. [in Russian]
6. Avarijny'e sluchai s opasny'mi gruzami [Accidents involving dangerous goods] // seanews. — 2022. — URL: <https://seanews.ru/2022/02/24/ru-avarijnye-sluchai-s-opasnymi-gruzami/>. (accessed: 17.02.25) [in Russian]
7. Vzry'v v Mongolii [Explosion in Mongolia] // babr24. — 2024. — URL: <https://www.babr24.news/?IDE=255787>. (accessed: 28.01.25) [in Russian]
8. Taktiko-tehnicheskie xarakteristiki PPCzT-30 [Performance data PPTsT-30] // kamaz45. — 2025. — URL: <https://kamaz45.ru/avtomobili/pritsepnaya-tehnika/gt7-equipment/gazovozy/polupritsep-tsisterna-gazovoz-pptst-30-gt7-30-kub-m-2-osi-pnevmo/>. (accessed: 10.04.25) [in Russian]
9. Taktiko-tehnicheskie xarakteristiki PPCzT-40 [Performance data PPTsT-40] // gt7. — 2025. — URL: <https://gt7.ru/catalog-tr/gazovozy/gazovoz-pptst-40/?ysclid=m98p51f7ta888115788>. (accessed: 10.04.25) [in Russian]
10. Taktiko-tehnicheskie xarakteristiki PPTsT-55 [Performance data PPTsT-55] // gt7. — 2025. — URL: <https://gt7.ru/catalog-tr/shflu/gazovoz-gt7-shflu-pptst-55/?ysclid=m8yas02i4r771155764> (accessed: 10.04.25) [in Russian]