



ЛОГИСТИКА

УДК 656.085.11

DOI: 10.31799/2077-5687-2026-2-111-117

КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР ФАКТОРОВ, ПРИВОДЯЩИХ К УТЕЧКАМ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ АВТОЦИСТЕРНАМИ

А. Н. Шадрин, С. В. Уголков

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Современная промышленность требует непрерывных поставок разных видов грузов для обеспечения функционирования производственной сферы и поддержания ее эффективности. В число таких поставок входит транспортировка опасных грузов, требующих соблюдения множества правил и нормативов для того, чтобы гарантировать безопасность как для самого груза, так и для его потребителей. К таким опасным грузам относится азотная кислота, используемая в химической, аграрной и металлообрабатывающей сферах. Несоблюдение принципов и стандартов безопасной перевозки азотной кислоты может привести к масштабным последствиям в виде ущерба транспортно-логистической инфраструктуре и вреда жизни и здоровью лиц, затронутых данным происшествием. Необходимо определить комплекс мер, связанных с оценкой свойств азотной кислоты, как она взаимодействует с разнородными материалами и веществами, алгоритмом действий при выявлении утечки опасного груза из автоцистерны и предложением процедур по локализации аварийной ситуации.

Ключевые слова: опасный груз, азотная кислота, автоцистерна, комплекс экстренных мероприятий, утечка, химическая реакция, меры утилизации.

Для цитирования:

Шадрин, А. Н. Комплексный обзор факторов, приводящих к утечкам азотной кислоты при транспортировке автоцистернами / А. Н. Шадрин, С. В. Уголков // Системный анализ и логистика. – 2026. – № 2(50). – с. 111-117. DOI: 10.31799/2077-5687-2026-2-111-117.

A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF FACTORS LEADING TO NITRIC ACID LEAKAGE DURING TRANSPORTATION IN TANKER TRUCKS

A. N. Shadrin, S. V. Ugolkov

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Modern industry necessitates a continuous supply of various goods to ensure the operational integrity and efficiency of the manufacturing sector. This includes the transportation of hazardous materials, which requires strict adherence to numerous rules and regulations to guarantee the safety of both the cargo and its end-users. Nitric acid, used extensively in the chemical, agricultural, and metal-processing industries, is one such hazardous material. Failure to comply with the principles and standards for the safe transport of nitric acid can lead to severe consequences, including damage to transportation and logistics infrastructure, as well as harm to the life and health of individuals affected by such an incident. It is imperative to develop a comprehensive set of measures related to the assessment of nitric acid's properties, its interactions with various materials and substances, the procedural algorithm for responding to a hazardous material leak from a tanker truck, and the proposal of protocols for emergency containment.

Keywords: hazardous material, nitric acid, tanker truck, complex of emergency measures, leakage, chemical reaction, disposal procedures.

For citation:

Shadrin, A. N. A comprehensive analysis of factors leading to nitric acid leakage during transportation in tanker trucks / A. N. Shadrin, S. V. Ugolkov // System analysis and logistics. – 2026. – № 2(50). – p. 111-117. DOI: 10.31799/2077-5687-2026-2-111-117.

Введение

Транспортировка азотной кислоты в грузовых цистернах строго регламентирована Европейским соглашением о дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ) [1]. Этот определяющий правила документ является международным договором, который закрепляет ряд особых требований к транспортировке опасных грузов, к которым относится азотная кислота [2].



Краткая характеристика азотной кислоты и сферы ее применения

Азотная кислота чаще всего используется для производства удобрений, взрывчатых веществ, травления и растворения металлов, а также синтеза иных химических веществ ввиду своих сильных окислительных свойств. Некоторые реакции могут приводить к образованию большого количества тепла и энергии, вследствие чего нельзя исключать фактор взрывоопасности при работе с данным веществом.

Азотная кислота нестабильна и быстро разлагается под воздействием света и воздушной среды, выделяя токсичный газ оксида азота (IV) бурого цвета, поэтому она хранится в стеклянных бутылках с двойной крышкой и кислотостойкой пластиковой таре. Чаще всего вышеописанный химический реактив получают с помощью аммиака, путем реакции диоксида азота с водой или перекисью водорода [3].

Процесс транспортировки азотной кислоты автомобильным транспортом

Перевозка опасных грузов автомобильным транспортом осуществляется в цистернах или автоцистернах, изготовленных из материалов, соответствующих установленным стандартам, обеспечивающих целостность тары, контактирующей с едким веществом.

Для перевозки азотной кислоты используются цистерны, изготовленные из алюминия марки А85 или стали ЭИ 654, ЭИ 794 [4]. Эти сплавы надежно противостоят коррозии при нормальных значениях температуры, обладают достаточной прочностью и высокой устойчивостью к сильному давлению, а также отличаются высокой ударопрочностью. Особенностью таких цистерн являются внутренние волнорезы, основная функция которых заключается в снижении инерции движущихся потоков жидкости и плавного распределения воздействующих изнутри сил.

Наиболее частые причины утечки азотной кислоты

Одними из самых распространенных причин непредвиденного вытекания азотной кислоты из цистерны являются:

- Потеря герметичности уплотнительных клапанов и корпуса автоцистерн (т.е. разрывы оболочки, протечки);
- Образование щели или прокола цистерны;
- Использование неподходящей под регламент автоцистерны;
- Ошибка оператора при заполнении или дозаправке цистерны.

Потеря герметичности, в частности у сливного клапана, является одной из наиболее распространенных причин утечек опасных грузов, объем которых может достигать 100 литров. Такой вид протечки гораздо проще локализовать и устранить, в отличие от повреждения корпуса цистерны, который может произойти, например, в результате ДТП.

В 2010 году в Словакии, недалеко от города Долны Кубин, произошел выброс азотной кислоты на трассе Е77 ввиду плохо подобранной цистерны, корпус которой, в процессе эксплуатации, был сильно изношен и образовал микротрещины, в последствие переросшие в щели, которые привели к утечке опасного груза в окружающую среду, рисунок 1.



Рис. 1. ДТП при перевозке азотной кислоты в Словакии

Материалы, с которыми азотная кислота может контактировать при ДТП

В табл. 1 приведены результаты эксперимента, проведенного сотрудниками Жилинского университета Михалом Оринча и Яной Мюллеровой, по взаимодействию 65% азотной кислоты с разными типами материалов и с разной продолжительностью их взаимодействия с реактивом [5, 6], таблица 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента по взаимодействию с азотной кислотой

Вещество и соотношение реактивов	Время проведения эксперимента, мин.	Уровень распада вещества (0-3)	Уровень силы реакции (0-3)	Описание наблюдений
Дизель (93:7)	15	-	1-2	Проявление свертывания
	30			
	60		2	Темные плотные сгустки
Бензин (50:50)	15	-	1	Цвет бензина поменялся на белый, жидкости не смешались
	60		1	
Моторное масло	60	-	1	Плотность масла снизилась, раствор обесцветился
Антифриз	60	-	1	Смена цвета антифриза
Резина покрышки	15	1-2	1-2	Смесь резины и кислоты приобрела темно-коричневый оттенок, резина немного растворилась и стала вязкой
	30			
	60			
Сталь	30	1	1	Спокойная реакция, отсутствие видимых изменений
	60			
	90	3	3	Неожиданная, сильная реакция с выделением паров оксида азота
Медь	15	3	3	Очень сильная реакция, сопровождающаяся выделением бурого газа оксида азота
Асфальтовое покрытие	15	2	2	Асфальт размягчился и стал легко крошиться
Пластик	90	1	1	Спокойная реакция, изменения в составе на микроскопич. уровне
Алюминий	90	1	1	Спокойная реакция



Азотная кислота характеризуется своими специфическими свойствами при взаимодействии с окружающими ее веществами и материалами. В случае попадания азотной кислоты в топливные баки и отсеки с иными жидкостями (масло, дизель, антифриз), может начаться неконтролируемый процесс протекания бурной химической реакции, который осложнит локализацию и устранение утечки кислоты в окружающую среду. Этот непредсказуемый процесс взаимодействия азотной кислоты касается и других веществ, например – резина от покрышек, металлические конструкции и пластиковые детали корпуса транспортного средства, асфальтовое покрытие.

Реакция моторного масла и кислоты была спокойной. При соотношении 1:1 произошло изменение цвета масла, которое стало белым, и была видна граница между маслом и кислотой.

Через 30 минут после взаимодействия дизельного топлива с кислотой, его плотность заметно уменьшилась (он стал более жидким). При соотношении 5:1 образовался осадок, который при соотношении 13:1 был прозрачным и более темным, рисунок 2.

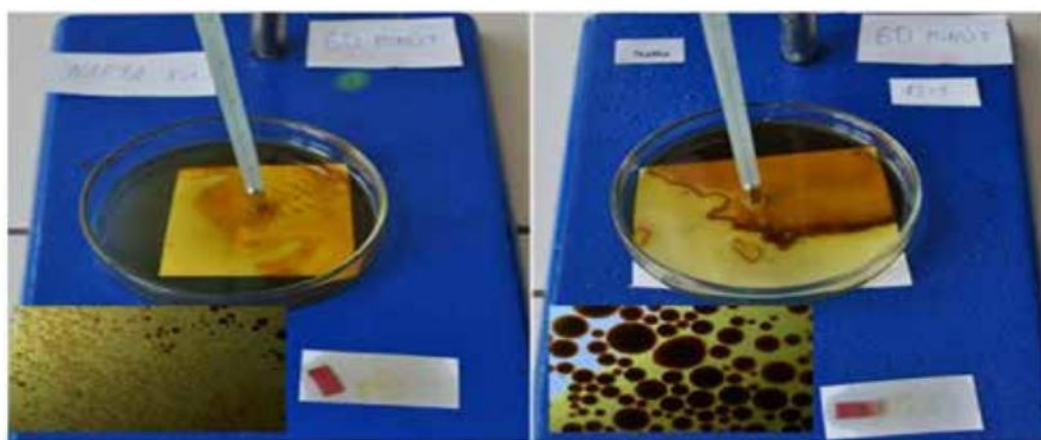


Рис. 2. Микроскопические снимки образцов дизеля с азотной кислотой в соотношении 5:1 и 13:1 спустя 60 минут

Реакция бензина и азотной кислоты в соотношении 1:1 прошла без значительных изменений и реакций. Произошло только изменение цвета бензина. Он стал бледным, и стала видна четкая граница между бензином и кислотой. В тесте при соотношении 5:1 (5 частей бензина и 1 часть кислоты) раствор бензина и кислоты имел желтый цвет. В обеих реакциях наблюдалось небольшое повышение температуры, рисунок 3.



Рис. 3. Образец бензина до эксперимента, и после с азотной кислотой в соотношении 1:1 через 60 минут вместе с изображением смеси под микроскопом

Реакция резины покрышки с азотной кислотой протекала быстро с видимыми признаками ее воздействия на образец (рис. 4), как указано в табл. 1. В ходе эксперимента



образовался раствор коричневого цвета, а резина стала значительно мягче и более впитывающей. Начальный вес образца до реакции составлял 2,04 г. Примерно через 60 минут реакции вес увеличился до 2,24 г.

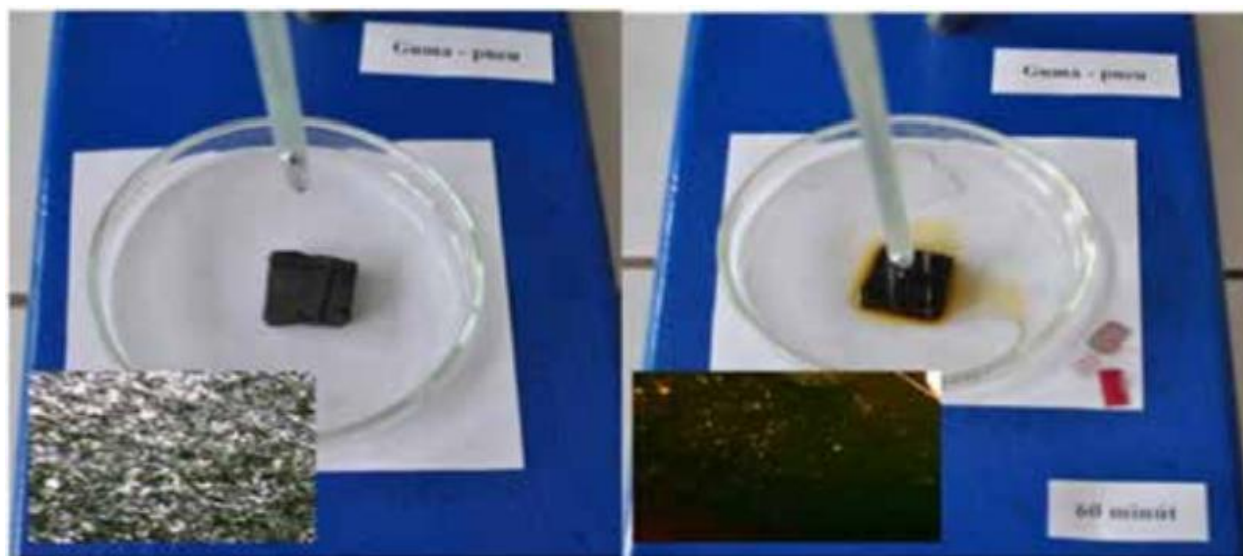


Рис. 4. Образец резины до добавления азотной кислоты и спустя 60 минут после реакции, изображения под микроскопом

Изменение цвета произошло в реакции с жидкостью-антифризом, где раствор изменил свой цвет на светло-голубой.

Эксперименты со сталью по большей части проходили спокойно, однако через 90 минут произошла бурная реакция и выделение опасных испарений оксида азота.

Реакции алюминия и пластика были спокойными и без видимых изменений, произошло только повреждение на микроскопическом уровне.

Последними исследованными образцами были резина покрышки и асфальт. Резина под воздействием кислоты размякла. Асфальт после воздействия кислоты стал значительно мягче, и его гораздо легче было надломить, отломать.

В этих экспериментах ожидалась бурная реакция, поскольку в паспортах безопасности предписывается повышенная вероятность возгорания и взрыва в сочетании с топливом. С этой точки зрения реакции были спокойными, полностью контролируруемыми. В большинстве образцов изменение структуры было видно исключительно под микроскопом.

Проведенные эксперименты показывают, что с точки зрения безопасности следует избегать контакта опасных коррозионных веществ со сталью и медью, которые часто встречаются в транспортных средствах в виде обшивки корпуса и составляющих деталей, а утечка кислоты может нанести ущерб транспортному средству.

Предложения по утилизации утечек

При потере герметичности важно постараться перекрыть протечку кислоты особым кислотостойким герметиком, а затем перекачать данный опасный груз в иной резервуар, емкость или цистерну. Используемый в таком случае насос так же должен быть кислотостойким и изготовлен из специального пластика. В случае, если цистерна имеет запасной пустой отсек, кислоту можно перекачать из поврежденной секции в невредимую ячейку, которая по регламенту оставляется незаполненной из соображений безопасности [7, 8].

В ситуациях, когда в цистерне есть повреждение в виде щели, в зависимости от ее размеров должны быть предприняты соответствующие меры. В случае небольших трещин можно остановить утечку с помощью особых кислотостойких устройств и материалов для



уплотнения трещин (уплотнительный клин, уплотнительная масса, лента и т. д.). В случае более крупных разрывов корпуса цистерны необходимо действовать быстро и своевременно перекачать пролитую кислоту в отведенный резервуар или сборный контейнер.

В случае использования неподходящего типа цистерны, вытекающую азотную кислоту сложно, а порой и невозможно, остановить. Расходящиеся трещины в цистерне порождают новые щели. Необходимо как можно скорее начать перекачку в целостную, неповрежденную цистерну. Следует обратить внимание на канализационную сеть в ближайшем радиусе от утечки. Требуется перекрыть стоки воды и законсервировать участок канализации в зоне разлива опасного реагента кислотостойкими подушками [9].

Азотная кислота чаще всего разлагается путем нейтрализации гашеной известью (гидроксидом кальция). В этом случае также можно использовать карбонат натрия или карбонат калия – они, в ходе химической реакции с кислотой, образуют соединения соли и воду, с которыми безопаснее работать. В крайнем случае стоит использовать подручные материалы, такие как почва, песок, гравий или цемент, рисунок 5 [10].



Рис. 5. Проведение работы по устранению утечки азотной кислоты

Заключение

В данной статье были рассмотрены основные свойства азотной кислоты и ее реакция с веществами и материалами, встречающимися в ходе ее транспортировки автоцистернами. Приведены результаты эксперимента по взаимодействию азотной кислоты с металлами, жидкостями, участвующими в процессе работы транспортного средства, пластиком, резиной и асфальтом.

Исходя из результатов эксперимента, можно сделать вывод, что наиболее опасный момент в случае утечки азотной кислоты из цистерны связан с взаимодействием этого опасного груза с металлами и окружающей средой, поскольку бурная реакция может запустить неконтролируемый и необратимый химический процесс, наносящий колоссальный ущерб и представляющий опасность для окружающих.

Поэтому были предложены меры локализации и нейтрализации утечки азотной кислоты, которая может произойти в ходе ее транспортировки автоцистерной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДОПОГ. Действует с 1 января 2023 года. Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов с приложениями. – Нью-Йорк, Женева: Организация объединенных наций, 2023. – 728 с.
2. Palladium Art. Перевозка азотной кислоты [Электронный ресурс]. – URL: <https://palladiumart.by/service/perevozka-nalivnykh-gruzov/perevozka-azotnoy-kisloty> (дата обращения 19.11.2025).
3. Википедия. Азотная кислота [Электронный ресурс]. –



- URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Азотная_кислота (дата обращения 19.11.2025).
- ГОСТ 5632-72 Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки (с Изменениями № 1-5). – Москва: Изд-во стандартов, 1997. – 61 с.
 - Orinčák M.* Specificity of Leaking Nitric Acid From a Tank Vehicle / *M. Orinčák, J. Müllerová* // *Security Dimensions: International & National Studies*. – 2017. – № 1 (21). – P. 62-74.
 - May Asit. Safety Data Sheet, Nitric Acid [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mayasit.com.tr/eng/pdf/nitricacid.pdf> (дата обращения 20.11.2025).
 - Троицкая Н. А.* Транспортно-технологические схемы перевозок отдельных видов грузов: учебное пособие / *Н. А. Троицкая, М. В. Шилимов*. — М.: КНОРУС, 2010. – 232 с.
 - Грузовые автомобильные перевозки: Учебник для вузов / *А. В. Вельможин [и др.]* – М.: Горячая линия, Телеком, 2006 – 560 с.
 - Горев А. Э.* Организация автомобильных перевозок и безопасность движения: учебное пособие для высших учебных заведений / *А. Э. Горев*. – М.: Издательский центр «Академия». 2006 – 178 с.
 - Перевозка опасных грузов: учебное пособие / *Кириченко А. В. [и др.]* – СПб.: ГУАП, 2011. – 151 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шадрин Антон Николаевич

Магистр

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А

E-mail: mkobzz54@gmail.com

Уголков Сергей Вячеславович

Доцент кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А

E-mail: u.sergey.v68@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Shadrin Anton Nikolaevich

Master's student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: mkobzz54@gmail.com

Ugolkov Sergey Vyacheslavovich

PhD, Associate Professor, Department of System Analysis and Logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: u.sergey.v68@gmail.com

Дата поступления: 26.04.2026

Дата принятия: 03.05.2026