

УДК 621.183.386

## Совершенствование транспортировки АХОВ на автомобильном транспорте

Е. Г. Асманкин, Е. М. Зубкова, В. В. Смыгалин, А. Н. Хлебородов, С. О. Шкуратов

Российский университет транспорта (МИИТ), Российская Федерация, 127994, Москва, ул. Образцова 9, стр. 9

**Для цитирования:** Асманкин Е. Г., Зубкова Е. М., Смыгалин В. В., Хлебородов А. Н., Шкуратов С. О. Совершенствование транспортировки АХОВ на автомобильном транспорте // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 4. — С. 828–834. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-4-828-834

### Аннотация

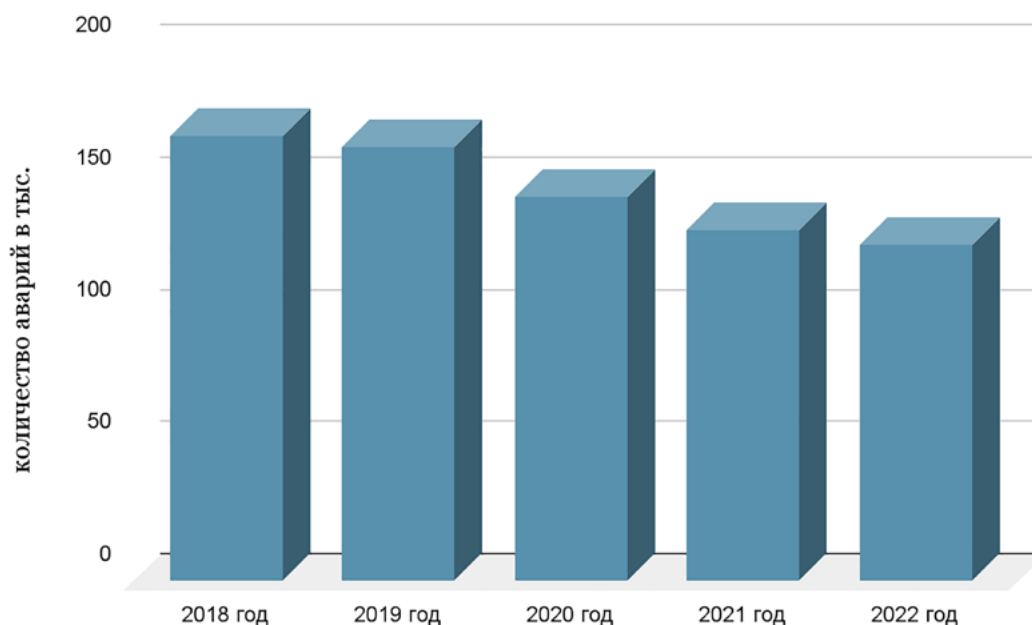
**Цель:** Проблема транспортировки АХОВ на автомобильном транспорте в настоящее время является особенно актуальной в связи с последними геополитическими событиями, именно транспортировка внутри страны является ключевой задачей для Российской Федерации. Для обеспечения безопасности перевозочного процесса требуется усовершенствование конструкций автомобильных транспортных средств. **Методы:** Инструментом для исследования и анализа проблемы выбора оптимального сечения предохранительного клапана на автомобильной цистерне является проходное сечение диаметра предохранительного клапана цистерны. **Результаты:** В статье предложены расчеты сечения предохранительного клапана цистерны с большим диаметром, чем устанавливаемые на данный момент на автоцистерны в России. Также в статье приведены статистические данные аварий на автомобильном транспорте с 2018 по 2020 г. **Практическая значимость:** Полуэмпирические модели теплофизических процессов внутри цистерны при возникновении избыточного давления описаны большим количеством авторов. Степень разработанности темы данного исследования невысокая, в отличие от тем, посвященных избыточному давлению в цистерне-разрядки и термодинамическому процессу. Статья рассматривает усовершенствование конструкций автомобильных цистерн для перевозки светлых нефтепродуктов. Предложен вариант усовершенствования конструкции цистерны посредством установки на цистерну предохранительного клапана с большим сечением. Представлены результаты расчетов оптимального сечения дыхательного клапана в табличной форме. Расчеты имеют практическую значимость, так как в случае внедрения данных предохранительных (дыхательных) клапанов существует возможность повысить устойчивость тонкостенной оболочки цистерны и увеличить безопасность при транспортировках на автомобильном транспорте. Увеличение проходного сечения предохранительного клапана цистерны — технически эффективный и экономически выгодный вариант увеличения степени безопасности перевозочного процесса.

**Ключевые слова:** Аварийно-опасные химические вещества (АХОВ), транспортировка АХОВ, эквивалентный диаметр клапана, автоцистерна, проходное сечение впускного предохранительного клапана.

### Введение

Ежегодно в Российской Федерации перевозится более 1 млрд тонн груза на автомобильном транспорте. Стоит отметить, что автомобили являются самым опасным видом

транспорта. Каждый день на дорогах России случается около 400 аварий с пострадавшими. Статистика аварий на автомобильном транспорте за период с 2018 по 2022 год представлена на рисунке.



Статистика аварий на автомобильном транспорте за 2018–2022 гг.

Несмотря на сниженное количество аварий, жизни людей на дорогах все равно в зоне риска. Добавляя к этому перевозку легковоспламеняющихся, взрывчатых, радиоактивных и других опасных химических веществ, последствия могут стать катастрофическими для жизни людей и окружающей среды.

Перевозка АХОВ требует специальной организации и зависит от класса опасности перевозимого вещества. Всего выделяют 4 класса опасности:

1. Вещества, которые взрывоопасны и имеют в основе легковоспламеняющиеся предметы. В первую очередь это сухие смеси пиротехнического назначения и т. д.
2. Вещества, которые транспортируются в газообразном состоянии: сжатые, сжиженные низкой температурой, растворенные под действием высокого давления.
3. Бензин, керосин, жидкие взрывчатые вещества, спиртосодержащие вещества и т. д.
4. Вещества, способные легко возгораться от воздействия открытого пламени, даже от искр,

а также способные к самонагреву: сера, калий, натрий и карбид кальция.

При перевозке АХОВ используются специально оборудованные транспортные средства: контейнеровозы, рефрижераторы, цистерны и специально оборудованные бортовые автомобили. Наиболее опасными АХОВ являются взрывчатые вещества. Помимо сухих смесей пиротехнического назначения к ним также относятся нефтепродукты. В качестве основного ТС по перевозке нефтепродуктов следует рассматривать автоцистерны. Моделей автоцистерн много, но в большинстве случаев они отличаются лишь объемом. В табл. 1 представлены характеристики некоторых автоцистерн. В табл. 2, соответственно, показаны параметры светлых нефтепродуктов [1].

#### Расчет эквивалентного диаметра клапана

Налив нефтепродуктов происходит различными способами: герметичными технологиями, открытой и замкнутой струей. При использовании герметичных технологий весь процесс авто-

Таблица 1. Характеристика автоцистерн

Модель автоцистерны	Наименование АХОВ	Емкость цистерны, м <sup>3</sup>	Донный клапан, мм	Материал цистерны	Устройство дыхательное
АЦ-10	Светлые нефтепродукты	10	80	09Г2С толщиной 4 мм	УД 2-80
АЦ-12		12			
АЦ-8		8			

Таблица 2. Характеристика некоторых АХОВ

Название АХОВ	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура кипения, °С	Пороговая токсодоза, мг/л	Смертельная концентрация, мг/кг
Бензин (АИ-100)	795	30–200	38–49	100
Керосин	780–850*	150–250		300–500
Дизель	830	240–400		400

\*В зависимости от температуры.

матизирован, при этом есть специальные отсеки, отводящие пары для избежания воспламенения. Также существует еще один способ налива. Его используют достаточно редко, так как он имеет значительные проблемы с контролем процесса. Этот способ осуществляется через сливной узел. Слив нефтепродуктов осуществляется разными методами. Их можно слить самотеком через нижний сливной узел в резервуар. Таким способом избегают потери нефтепродукта, характеризующегося высокой испаряемостью. Закрытый слив позволяет избегать загрязнения груза, так как все происходит через герметичный рукав, соединенный с автоцистерной. Верхний слив также производится самотеком при помощи вакуумного насоса.

Для оценки проходного сечения впускного предохранительного клапана будем исходить из предположения, что поток теплоты, вносимый воздухом через предохранительный клапан, должен компенсировать тепловой поток за счет внешней теплоотдачи котла цистерны в окружающую среду.

Запишем выражение для теплового потока воздуха, вносимого в цистерну через предохранительный клапан:

Таблица 3. Исходные данные для расчета [2, 3]

№	Физическая величина	Размерность	Величина
1	Материал стенок котла (сталь 09ГС 2)	—	—
2	Коэффициент теплопроводности стали ( $\lambda_{ст}$ )	Вт/(м · К)	58
3	Объем цистерны (АЦ-8, АЦ-10, АЦ-12)	м <sup>3</sup>	8, 10, 12
4	Коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности котла цистерны	Вт/(м <sup>2</sup> · К)	362,3
5	Коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности котла цистерны	Вт/(м <sup>2</sup> · К)	17,6
6	Толщина стенок котла ( $\sigma_{ст}$ )	мм	4
7	Перепад давления ( $\Delta P$ )	Па	0,024

$$Q_{cp} = C_{pв} G \chi (t_T - t_o), \quad (1)$$

где  $C_{pв}$  — удельная изобарная теплоемкость воздуха;

$t_T$  — температура технологического процесса;

$t_o$  — температура окружающей среды;

$\chi = \frac{0,1}{1}$  — коэффициент, характеризующий

степень нагрева поступающего воздуха;

$G$  — массовый расход воздуха через впускной предохранительный клапан;

$$G = \mu S \sqrt{2\rho_B \Delta P}, \quad (2)$$

где  $\mu$  — коэффициент расхода;

$S$  — эквивалентная площадь проходного сечения впускного предохранительного клапана;

$\rho_B$  — плотность воздуха;

$\Delta P$  — перепад давления, при котором срабатывает впускной предохранительный клапан.

$$G = 0,7 \cdot 58,169 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,2754 \cdot 0,024} = 10,07;$$

$$Q_{cp1} = 1004 \cdot 10,07 \cdot 0,1 \cdot 30 = 30345,08676$$

при  $\chi = 0,1$ ;

$$Q_{cp2} = 1004 \cdot 10,07 \cdot 0,5 \cdot 30 = 151725,4338$$

при  $\chi = 0,5$ ;

$$Q_{cp3} = 1004 \cdot 10,07 \cdot 1 \cdot 30 = 303450,8676$$

при  $\chi = 1$ ;

Запишем выражение для теплового потока за счет внешней теплоотдачи котла цистерны в окружающую среду:

$$Q_{cp} = kF(t_T - t_o), \quad (3)$$

где  $k$  — коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\sigma_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{362,3} + \frac{0,004}{58} + \frac{1}{17,6}} = 16,76522, \quad (4)$$

где  $\alpha_1$  — коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности котла цистерны;

$\alpha_2$  — коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности котла цистерны;  $\lambda_{ст}, \sigma_{ст}$  — коэффициенты теплопроводности материала стенки котла и толщины стенки котла;

$F$  — внешняя поверхность котла цистерны.

Для недопущения снижения давления в котле цистерны после открытия впускного предохранительного клапана необходимо выполнение условия:

$$Q_{cp} = Q_B. \quad (5)$$

По полученным данным найдем внешнюю поверхность котла цистерны (1–5):

$$F = \frac{Q_B}{k(t_T - t_o)}; \quad (6)$$

$$F_1 = \frac{30345,08676}{16,76522 \cdot (15 + 15)} = 0,000603334$$

при  $\chi = 0,1$ ;

$$F_2 = \frac{151725,4338}{16,76522 \cdot (15 + 15)} = 0,00301667$$

при  $\chi = 0,5$ ;

$$F_3 = \frac{303450,8676}{16,76522 \cdot (15 + 15)} = 0,00603334$$

при  $\chi = 1$ ;

Из уравнений (1–6) получим формулу для оценки эквивалентного диаметра проходного сечения впускного предохранительного клапана:

$$D = \sqrt{\frac{4kF}{\pi C_{P_B} \chi \mu \sqrt{2\rho_B \Delta P}}}; \quad (7)$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 16,76522 \cdot 0,000603334}{\pi \cdot 1004 \cdot 0,1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,2754 \cdot 0,024}}} = 0,0264316;$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 16,76522 \cdot 0,00301667}{\pi \cdot 1004 \cdot 0,5 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,2754 \cdot 0,024}}} = 0,0264972;$$

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 16,76522 \cdot 0,00603334}{\pi \cdot 1004 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,2754 \cdot 0,024}}} = 0,0264316.$$

Расчет произведем для цистерн моделей АЦ-8, АЦ-10, АЦ-12 для следующих характеристик предохранительного клапана:  $\Delta P = 0,024 \cdot 10 \cdot \text{Па}$ ,  $\Delta t = -15 \text{ }^\circ\text{C}$  — и температуры окружающей среды. Для определения коэффициентов теплоотдачи воспользуемся критериальными уравнениями для естественной конвекции.

Результаты расчета эквивалентного диаметра проходного сечения впускного предохранительного клапана представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты расчета для АЦ-8

$\chi$	$D_1$
0,1	0,0264316
0,5	0,0264972
1	0,0264316

Данные расчеты были проведены также для АЦ-10, АЦ-12.

Для получения уточненной количественной оценки необходимо проведение специальных экспериментальных исследований либо построение нестационарных математических моделей более высокого уровня с целью уточнения  $\chi$  — коэффициента, характеризующего степень нагрева воздуха, поступающего в цистерну через клапан [4, 5].

## Выводы

Проблема транспортировки АХОВ на автомобильном транспорте в настоящее время является особенно актуальной. Инструментом для

исследования и анализа проблемы выбора оптимального сечения предохранительного клапана на автомобильной цистерне является проходное сечение диаметра предохранительного клапана цистерны. В статье предложен вариант усовершенствования конструкции цистерны методом установки на нее предохранительного клапана с большим сечением. Представлены результаты расчетов оптимального сечения дыхательного клапана в табличной форме. Расчеты имеют практическую значимость, так как в случае внедрения данных предохранительных (дыхательных) клапанов существует возможность повысить устойчивость тонкостенной оболочки цистерны и увеличить безопасность при транспортировках на автомобильном транспорте. Увеличение проходного сечения предохранительного клапана цистерны — технически эффективный и экономически выгодный вариант увеличения степени безопасности перевозочного процесса [6–8].

## Библиографический список

1. Цистерны: устройство, эксплуатация, ремонт: справочное пособие. — М.: 1990. — 154 с.
2. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. — М.: Наука, 1972. — 720 с.
3. Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. — М.: Энергоиздат, 1981. — 417 с.
4. Петров И. Совершенствование методов оценки и управления аварийным риском в чрезвычайных ситуациях при перевозке нефтепродуктов на железнодорожном транспорте / И. Петров. — URL: <https://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-metodov-otsenki-i-upravleniya-avariinym-riskom-v-chrezvychainykh-situatsii>.
5. Безопасность жизнедеятельности / Под общ. ред. С. В. Белова. — М.: Высшая школа, 2001.
6. ГОСТ Р 22.0.01—94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.
7. Правила перевозок опасных грузов. — М., 2004.

8. Соколов Ю. И. Вопросы безопасности транспортировки опасных грузов / Ю. И. Соколов // Проблемы анализа риска. — 2009. — Т. 6. — № 1.

Дата поступления: 25.07.2023

Решение о публикации: 19.09.2023

**Контактная информация:**

АСМАНКИН Евгений Геннадьевич — ст. преподаватель кафедры «ХиИЭ»; asman08@yandex.ru

ШКУРАТОВ Семен Олегович — студент;

sem.shkuratov@yandex.ru

ЗУБКОВА Екатерина Михайловна — студент;

katya.zubkova2909@gmail.com

СМЫГАЛИН Владислав Вадимович — студент;

noname23082@yandex.ru

ХЛЕБОРОДОВ Алексей Николаевич — студент;

pazan2021@mail.ru

## The Improvement of Hazardous Chemicals Transportation Methods by Motor Vehicles

Ye. G. Asmankin, Ye. M. Zubkova, V. V. Smygalin, A. N. Khleborodov, S. O. Shkuratov

Moscow State University of Railway Engineering, 9 bld. 9, Obraztsova st., Moscow, 127994, Russian Federation

**For citation:** Asmankin Ye. G., Zubkova Ye. M., Smygalin V. V., Khleborodov A. N., Shkuratov S. O. The Improvement of Hazardous Chemicals Transportation Methods by Motor Vehicles // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 4, pp. 828–834. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-4-828-834

### Abstract

**Purpose:** The issue of hazardous chemicals transportation by motor vehicles is especially crucial nowadays, given recent geopolitical situation. Transportation inside the country has become a key task for the Russian Federation. The improvement of motor vehicle construction is required in order to provide security of the transportation process. **Methods:** The tool for research and analysis of the issue of choosing the optimal cross-section of the relief valve on a tank car is the flow section diameter of the tank car's relief valve. **Results:** The article proposes calculations for the cross-section of the relief valve of a tank with a larger diameter than those currently installed on tank cars in Russia. The article also provides statistical data on accidents in road transport from 2018 to 2020. **Practical significance:** Semi-empirical models of thermophysical processes inside a tank during the occurrence of excess pressure have been described by numerous authors. The level of development of the topic of this research is relatively low, unlike topics dedicated to excess pressure in pressure-relief tanks and thermodynamic processes. The article discusses the improvement of designs of tank cars used for the transportation of light petroleum products. The authors have offered a way to improve the construction of a tank with the help of installation of a relief valve of a bigger section. The results of the calculations of the optimal section in the relief valve are presented in a tabular form. The calculation has practical significance as in the case of integration of the data on relief (breather) valves there exists a possibility of increasing the stability of the thin shell of a tank and so of increasing the security during the transportation by motor vehicles. The enlargement of flow area of the tank relief valve is a technically efficient and economically profitable way to increase the degree of transportation process security.

**Keywords:** Emergency hazardous chemicals (AHS), transportation of AHS, equivalent valve diameter, tank car, orifice of the inlet relief valve.

## References

1. *Tcisterny: ustrojstvo, jekspluatacija, remont: spravochnoe posobie* [Tanks: device, operation, repair: reference book]. Moscow, 1990, 154 p. (In Russian)

2. Vargafitik N. B. *Spravochnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zhidkostej* [Handbook of thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow: Nauka Publ., 1972, 720 p. (In Russian)

3. Isachenko V. P. *Teploperedacha* [Heat transfer]. Moscow: Energoizdat Publ., 1981, 417 p. (In Russian)

4. Petrov I. *Sovershenstvovanie metodov ocenki i upravlenija avarijnym riskom v chrezvychajnyh situacijah pri perevozke nefteproduktov na zheleznodorozhnom transporte* [Improvement of methods for assessing and managing emergency risk in emergency situations during the transportation of petroleum products by rail]. Available at: <https://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-metodov-otsenki-i-upravleniya-avariinym-riskom-v-chrezvychajnykh-situatsii>. (In Russian)

5. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life safety]. Belov S. B. (Ed.). Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2001. (In Russian)

6. *GOST R 22.0.01—94. Bezopasnost' v chrezvychajnyh situacijah. Osnovnye polozhenija* [GOST R 22.0.01—94. Safety in emergency situations. Basic provisions]. (In Russian)

7. *Pravila perevozok opasnyh gruzov* [Rules for the transportation of dangerous goods]. Moscow, 2004. (In Russian)

8. Sokolov Yu. *Voprosy bezopasnosti transportirovki opasnyh gruzov* [Issues of safety of transportation of dangerous goods]. *Problemy analiza riska* [Risk Analysis Issues]. 2009, vol. 6, Iss. 1. (In Russian)

Received: July 25, 2023

Accepted: September 19, 2023

### Author's information:

Evgeny G. ASMANKIN — Senior Lecturer, Department “Chemistry and Environmental Engineering”;

asman08@yandex.ru

Semyon O. SHKURATOV — Student;

sem.shkuratov@yandex.ru

Ekaterina M. ZUBKOVA — Student;

katya.zubkova2909@gmail.com

Vladislav V. SMYGALIN — Student;

noname23082@yandex.ru

Alexey N. KHLEBORODOV — Student;

pazan2021@mail.ru