

Научная статья  
УДК 614.841  
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.70.25.009

## ОСОБЕННОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА И ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ, ПОВРЕЖДЕННЫХ РЕЗЕРВУАРОВ С НЕФТЕПРОДУКТАМИ

*Дмитрий Валентинович Каргашилов<sup>1,2</sup>*

*Ирина Александровна Иванова<sup>1</sup>*

*Евгений Заудятович Арифиллин<sup>1,2</sup>*

*Георгий Дмитриевич Каргашилов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России, Воронеж, Россия

*Автор ответственный за переписку: Дмитрий Валентинович Каргашилов, kargashil@mail.ru*

**Аннотация.** На основании фундаментальных основ, описывающих условия образования горючей среды в технологическом оборудовании, а также действующих нормативных правовых актах и нормативных документах, содержащих требования пожарной безопасности [1-3], в статье проведен анализ пожарной опасности резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов в период связанный с их возможным горением и действиями по тушению пожара. Описаны процессы движения парогазовых потоков, характерных при возникновении эффектов «больших» и «малых» дыханий, которые наблюдаются при тушении заполненных нефтепродуктами горящих резервуаров с поврежденным корпусом в области его свободного объема и сливо-наливного патрубка, расположенного в нижней части емкости. Рассмотрен пример горения поврежденного резервуара с горючей жидкостью и предложен алгоритм действий, направленный на эффективное и безопасное тушение пожара и проведение аварийно-спасательных работ. Для наглядности материалы статьи иллюстрированы рисунками резервуара вертикального стального со стационарной крышей, с детализацией предусмотренного на резервуаре оборудования, а также вариант выбранного по каталогам хомута, который можно использовать для герметизации поврежденных фланцев и трубопроводов резервуара. Также на рисунке представлен предлагаемый алгоритм действий с указанием их последовательности.

**Ключевые слова:** пожар, резервуар, большое, малое, дыхание, охлаждение, тушение, горючая среда, свободный объем, горючая жидкость, аварийный

**Для цитирования:** Каргашилов Д.В., Иванова И.А., Арифиллин Е.З., Каргашилов Г.Д. Особенности тушения пожара и проведения аварийно-спасательных работ, поврежденных резервуаров с нефтепродуктами // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 4 (35). С. 74-80 <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.70.25.009>

Original article

## FEATURES OF FIRE EXTINGUISHING AND EMERGENCY RESCUE OPERATIONS OF DAMAGED TANKS WITH PETROLEUM PRODUCTS

*Dmitry V. Kargashilov*<sup>1,2</sup>

*Irina A. Ivanova*<sup>1</sup>

*Evgeny Z. Arifullin*<sup>1,2</sup>

*Georgy D. Kargashilov*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

<sup>2</sup>Voronezh institute of Advanced Training of Employees of the EMERCOM of Russia, Voronezh, Russian Federation

**Corresponding author:** Dmitry V. Kargashilov, kargashil@mail.ru

**Abstract.** Based on the fundamental principles describing the conditions of formation of a combustible environment in technological equipment, as well as current regulatory legal acts and regulatory documents containing fire safety requirements [1-3], the article analyzes the fire hazard of oil and petroleum products storage tanks during the period associated with their possible gorenje and fire extinguishing actions. The processes of movement of steam-gas flows characteristic of the occurrence of the effects of "large" and "small" breaths, which are observed when extinguishing burning tanks filled with petroleum products with a damaged body in the area of its free volume and a discharge nozzle located in the lower part of the container, are described. The processes of movement of steam-gas flows characteristic of the occurrence of the effects of "large" and "small" breaths, which are observed when extinguishing burning tanks filled with petroleum products with a damaged body in the area of its free volume and a discharge nozzle located in the lower part of the container, are described. An example of the burning of a damaged tank with a flammable liquid is considered and an algorithm of actions aimed at effective and safe fire extinguishing and emergency rescue operations is proposed. Gorenje For clarity, the materials of the article are illustrated with drawings of a vertical steel tank with a fixed roof, with details of the equipment provided on the tank, as well as a variant of the clamp selected from catalogs, which can be used to seal damaged flanges and pipelines of the tank. The figure also shows the proposed algorithm of actions with an indication of their sequence.

**Keywords:** fire, reservoir, large respiration, small respiration, cooling, extinguishing, combustible medium, free volume, flammable liquid, emergency

**For citation:** Kargashilov D.V., Ivanova I.A., Arifullin E.Z., Kargashilov G.D. Features of fire extinguishing and emergency rescue operations, damaged tanks with petroleum products // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 4 (35). С. 74-80. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.70.25.009>

Пожарная опасность любого объекта, в том числе технологического процесса, как и всего оборудования, – это то состояние, которое характеризуется возможностью возникновения и развития пожара, напрямую связанное с условиями образования горючей среды и источника ее зажигания [2]. Когда рассматривается пожарная опасность резервуаров для хранения горючих жидкостей, учитывается возможность образования в них горючей среды и, как правило, рассматриваются варианты хранения жидкости в резервуарах под наливом или под избыточным давлением. В статье будем опираться на условия образования горючей среды в наливных резервуарах вертикальных стальных со стационарной крышей (РВС).

### **Теоретические предпосылки возникновения пожара в резервуарах вертикальных стальных со стационарной крышей.**

Как известно, по условию хранения горючих жидкостей в резервуарах имеется наличие свободного объема, который образуется между верхним аварийным уровнем жидкости в резервуаре и его крышей [4]. Каждый такой резервуар оборудован дыхательной арматурой (Рис.1) [5], которая обеспечивает возможность свободного слива и налива жидкости, а также обеспечивает дыхание резервуара,

обусловленное изменением температур окружающей среды. Как известно, изменение уровня и давления жидкостей вследствие операций слива-налива или колебания температур окружающей среды называют соответственно «большим» и «малым» дыханием [6]. В результате в резервуар при уменьшении уровня жидкости и, как следствие, увеличении его свободного объема, поступает воздух, что при определенных условиях приводит к образованию горючей среды внутри резервуара. Горючая среда в области расположения дыхательного клапана возможна при выходе паров горючих жидкостей при увеличении ее уровня в аппарате. При появлении известных источников зажигания горючая среда воспламеняется. Каждый дыхательный клапан имеет огнепреградитель, который предотвращает распространение пламени из одного объема в смежный, коим является аппарат и окружающее его пространство. При повреждении резервуара в области наличия свободного объема распространение пламени происходит беспрепятственно как снаружи внутрь резервуара, так и из резервуара в окружающую среду.

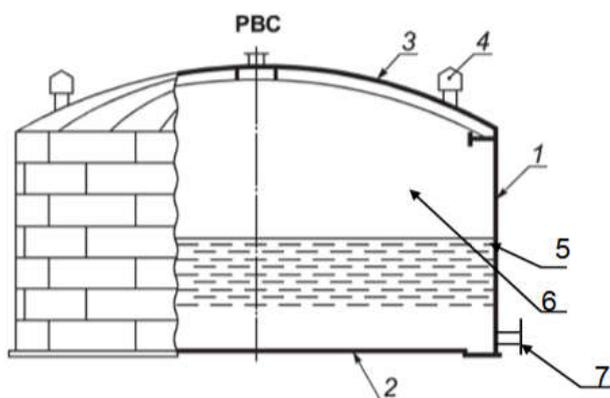


Рис.1. Вертикальный стальной резервуар со стационарной крышей,

где: 1 – стенка резервуара; 2 – днище резервуара; 3 – стационарная крыша; 4 – дыхательная арматура (клапан); 5 – уровень жидкости; 6 – свободный объем; 7 – сливо-наливной патрубок

### Постановка и решение задачи

Рассмотрим пожар резервуара для хранения дизельного топлива (далее ДТ). До приезда первых подразделений пожарной охраны происходит следующее: горение дизельного топлива в обваловании с 4 РВС; его истечение из сливного патрубка одного из РВС и горение в месте повреждения прокладки фланцевого соединения между запорной арматурой и патрубком; горение в верхней поврежденной части резервуара ниже стационарной крыши, крыша резервуара не повреждена. Стационарные установки пожаротушения резервуара отсутствуют.

Замеры температур с помощью бесконтактного пирометра показывают, что резервуар разогрет до температуры + 580<sup>0</sup>С, это выше температуры самовоспламенения ДТ – от + 210<sup>0</sup>С [7].

Поставлена задача: охлаждение горящего резервуара, защита соседних резервуаров, тушение ДТ в обваловании, ликвидация горения на поврежденном фланцевом соединении.

Проблемными вопросами становятся: разгерметизация фланцевых соединений, а также высокая температура ДТ, первое приводит к уменьшению уровня жидкости и, как следствие, затягиванию в свободный объем атмосферного воздуха (эффект «большого дыхания»), второе не дает возможности локализовать горение истекающей жидкости. Также наблюдается и эффект малого дыхания, который возникает при охлаждении разогретого, горящего резервуара.

Охлаждение горящего резервуара и расходование кислорода на реакцию горения, играет свою положительную роль и с течением определенного периода времени в поврежденной верхней части РВС процесс горения прекращается, однако спустя некоторое время происходит самовоспламенение горючей

среды внутри свободного объема резервуара, которая образовалась благодаря его дыханиям («большому» и «малому»). Источником зажигания служит высокая температура ДТ в слоях, удаленных от наружной стенки резервуара, которая выше температуры его самовоспламенения. В результате происходит сброс избыточного давления взрыва из свободного объема через поврежденные участки стенки резервуара и восстановление процесса горения. Так как происходит истечение ДТ через поврежденное фланцевое соединение, свободный объем увеличивается и со временем объемы паровоздушной смеси в резервуаре нарастают, что в итоге приводит к увеличению избыточного давления взрыва. При недостаточности площади проемов, образовавшихся от повреждения, это приводит к его большему или возможно полному разрушению.

Проанализировав все возможные факторы, нужно выполнить следующие мероприятия по эффективному тушению поврежденного резервуара и проведению аварийно-спасательных работ (далее АСР), дополнительно к охлаждению горящего и соседних резервуаров, тушению пеной ДТ в обваловании [8], а именно: организацию подачи инертных газов в область повреждений стенки РВС с помощью имеющейся пожарной техники, коленчатого подъемника - АКП, автолестницы пожарной – АЛ; провести установку на поврежденное фланцевое соединение (или трубопровод) ремонтного хомута (Рис.2) [9], который обеспечит его обхват и герметизацию.



*Рис.2. Хомут ремонтный*

Также на основании анализа пожарной опасности РВС с горючими жидкостями необходимо учитывать особенности проведения аварийного скачивания жидкости из поврежденного резервуара в резервные (аварийные) емкости. Свободный объем аварийных емкостей необходимо заполнить углекислотой, что предотвратит образование горючей среды (для ДТ нижний концентрационный предел распространения пламени – 0,5 % об. [7]) и исключит возможность воспламенения паров ГЖ, нагретой выше температуры самовоспламенения. Наличие углекислоты будет способствовать снижению вероятности образования горючей среды в области дыхательного клапана аварийного резервуара.

#### **Алгоритм тушения пожара и проведения АСР**

На Рис.3 представим алгоритм действий по тушению пожара и проведению АСР поврежденного РВС с ДТ.



Рис.3. Алгоритм действия по тушению пожара и проведению АСР поврежденного РВС с ДТ

### Заключение

В статье представлены проблемные вопросы, связанные с тушением пожара поврежденных резервуаров РВС в местах, ограниченных в доступе для пожарных подразделений. Развитие различных ситуаций в момент тушения пожара и проведения АСР рассмотрено с учетом анализа пожарной опасности резервуаров. Предложены мероприятия, направленные на эффективное тушение пожара с учетом проведения АСР, что позволит уменьшить время тушения пожара, и снизит вероятность повреждения резервуара от воздействия опасных факторов пожара, в частности избыточного давления взрыва паровоздушной среды в его свободном объеме, распространение пожара на соседние резервуары, травмирование личного состава, принимающего участие в тушении пожара на территории складов нефти и нефтепродуктов [10].

### Список источников

1. Швырков С.А. и др. под общ. ред. Швыркова С.А. Пожарная безопасность технологических процессов: учебник // – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 388 с.
2. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ // КонсультантПлюс: сайт. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LA](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LA) (дата обращения 05.10.2024).
3. ГОСТ Р 12.3.047-2012 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля» // Информационная компания «Кодекс»: сайт. – URL: [https:// docs.cntd.ru/document/1200103505](https://docs.cntd.ru/document/1200103505) (дата обращения 17.10.2024).

4. РМГ 116 -2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Резервуары магистральных нефтепроводов и нефтебаз. Техническое обслуживание и метрологическое обеспечение в условиях эксплуатации // сайт. –URL: <http://gost.gtsever.ru/Index2/1/4293788/4293788926.htm?ysclid=m0x9kvpssa431716739/> (дата обращения 05.10.2024).

5. ГОСТ 31385-2016 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия» // сайт. –URL: <http://gost.gtsever.ru/Index2/1/4293826/4293826788.htm/> (дата обращения 10.09.2024).

6. Шевцов С.А. Влияние испарения нефтепродуктов при осуществлении сливо-наливных операций в резервуарах хранения на величины пожарных рисков / Шевцов С.А., Каргашилов Д.В., Цаценко В.С. // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. - 2019. - № 1(10). С. 474-482. – URL://<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39842537> (дата обращения 15.09.2024).

7. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения: справочник / Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — Москва: Ассоциация "Пожнаука", 2004; 24.—ISBN5-901283-02-3. –URL:[https://rusneb.ru/catalog/000200\\_000018\\_RU\\_NLR\\_bibl\\_1128890/](https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_bibl_1128890/) (дата обращения 03.09.2024).

8. Рекомендации по тушению пожаров в резервуарных парках хранения темных и светлых нефтепродуктов при атаках беспилотных летательных аппаратов. Москва. 2024. –URL: <https://fireman.club/literature/ushenie-pozharov-v-rezervuarah-pri-atakah-bpla-2024/?ysclid=m201m431rq29953036/> (дата обращения 08.10.2024).

9. Ремонтный хомут 1 ½" Ду 40 (Дн 45–53) оцинкованный типа «краб» шириной 70 мм // Сансфера: сайт. – URL: <https://sansfera.ru/clamps/rc/17005/> (дата обращения 03.09.2024).

10. СП 155.13130.2014. Свод правил. Склады нефти и нефтепродуктов // Требования пожарной безопасности: сайт. –URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/vsedokumenty/6679?ysclid=m0xcikflx794861983/> (дата обращения 08.10.2024).

## References

1. Shvyrkov S.A. et al. under the general editorship of Shvyrkov S.A. Fire safety of technological processes: textbook // – М.: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2012. – 388 pp.

2. The Russian Federation. Laws. Technical regulations on fire safety requirements: Federal Law №. 123-FZ dated 07.22.2008 // ConsultantPlus: website. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LA/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LA/) (accessed 05.10.2024).

3. GOST R 12.3.047-2012 "System of occupational safety standards. Fire safety of technological processes. General requirements. Methods of control" // Information company "Codex": website. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103505/> (accessed 17.10.2024).

4. RMG 116 -2011 State system for ensuring the uniformity of measurements. Reservoirs of main oil pipelines and tank farms. Maintenance and metrological support under operating conditions // website. –URL: <http://gost.gtsever.ru/Index2/1/4293788/4293788926.htm?ysclid=m0x9kvpssa431716739/> (accessed 05.10.2024).

5. GOST 31385-2016 "Vertical cylindrical steel tanks for oil and petroleum products. General technical conditions" // website. –URL: <http://gost.gtsever.ru/Index2/1/4293826/4293826788.htm/> (accessed 09.10.2024).

6. Shevtsov S.A. The influence of oil product evaporation during loading and unloading operations in storage tanks on the magnitude of fire risks / Shevtsov S.A., Kargashilov D.V., Tsatsenko V.S. // Modern technologies for ensuring civil defense and eliminating the consequences of emergency situations. - 2019. - № 1(10). PP. 474-482. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39842537> (accessed 09.15.2024).

7. Korolchenko A.Ya. Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them: handbook / Korolchenko A.Ya., Korolchenko D.A. — Ed. 2nd, reprint. and add. — Moscow: Association "Pozhnauka", 2004. 24.—ISBN5-901283-02-3. –URL:[https://rusneb.ru/catalog/000200\\_000018\\_RU\\_NLR\\_bibl\\_1128890/](https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_bibl_1128890/) (accessed 09.03.2024).

8. Recommendations for extinguishing fires in tank farms for storing dark and light petroleum products during attacks by unmanned aerial vehicles. Moscow. 2024. –URL: <https://fireman.club/literature/ushenie-pozharov-v-rezervuarah-pri-atakah-bpla-2024/?ysclid=m201m431rq29953036/> (accessed 08.10.2024).

9. Repair clamp 1 ½" Du 40 (Dn 45–53) galvanized “crab” type, 70 mm wide // Sansfera: website. – URL: <https://sansfera.ru/clamps/rc/17005/> (date of access 09.03.2024).

10. SP 155.13130.2014. A set of rules. Warehouses of oil and petroleum products. Fire safety requirements: website. –URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/vsedokumenty/6679?ysclid=m0xcikf1x794861983/> (accessed 08.10.2024).

Информация об авторах

Д.В. Каргашилов - кандидат технических наук

И.А. Иванова - кандидат технических наук

Е.З. Арифуллин - кандидат технических наук

Information about the author

D.V. Kargashilov - Ph.D. of Engineering Sciences

I.A. Ivanova - Ph.D. of Engineering Sciences

E.Z. Arifullin - Ph.D. of Engineering Sciences

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22.10.2024, одобрена после рецензирования 10.11.2024, принята к публикации 25.11.2024.

The article was submitted 22.10.2024, approved after reviewing 10.11.2024, accepted for publication 25.11.2024.