

Научная статья  
УДК 007.51; 001.891.57  
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.23.10.006

## Моделирование возникновения аварийных ситуаций с разливом нефтепродуктов на объектах нефтяной промышленности в Арктической зоне Российской Федерации

*Виталий Александрович Онов<sup>1</sup>*  
*Мария Валентиновна Панкратова<sup>2</sup>*

*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-0466-9468>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-4411-1867>

*Автор ответственный за переписку: Мария Валентиновна Панкратова, r.masha-oskol@mail.ru*

**Аннотация.** Одной из актуальных задач в вопросах ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах нефтяной промышленности в Арктической зоне Российской Федерации является минимизация рисков возникновения аварий с разливом нефтепродуктов. Для формализации процесса моделирования в работе были использованы методы «Дерево отказов» и «Дерево событий», которые являются мощным средством в выявлении корневых причин возникновения аварийных ситуаций.

**Ключевые слова:** чрезвычайные ситуации, разлив нефтепродуктов, Арктическая зона Российской Федерации, «Дерево событий», «Дерево отказов», моделирование, аварийные ситуации, опасные производственные объекты

**Для цитирования:** Онов В.А. Панкратова М.В. Моделирование возникновения аварийных ситуаций с разливом нефтепродуктов на объектах нефтяной промышленности в Арктической зоне Российской Федерации // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 1 (28). С. 97-102. <http://10.34987/vestnik.sibpsa.2023.23.10.006>.

## Modeling of the occurrence of oil spill emergencies at oil industry facilities in the arctic zone of the russian federation

*Vitaly A. Onov<sup>1</sup>*  
*Maria V. Pankratova<sup>2</sup>*

*Saint - Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia*

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-0466-9468>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-4411-1867>

**Corresponding author:** Maria V. Pankratova, [r.masha-oskol@mail.ru](mailto:r.masha-oskol@mail.ru)

**Abstract.** One of the urgent tasks in the field of emergency response at oil industry facilities in the Arctic zone of the Russian Federation is to minimize the risks of accidents with oil spill. To formalize the modeling process, the methods "Failure Tree" and "Event Tree" were used in the work, which are a powerful tool in identifying the root causes of accidents.

**Keywords:** emergencies, oil spill, Arctic zone of the Russian Federation, "Event tree", "Failure tree", modeling, emergencies, hazardous production facilities

**For citation:** Onov V.A., Pankratova M.V. Modeling of the occurrence of oil spill emergencies at oil industry facilities in the Arctic zone of the Russian Federation // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2023. № 1 (28). p. 97-102. (In Russ.) [http: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.23.10.006](http://10.34987/vestnik.sibpsa.2023.23.10.006).

**Введение.** Интенсивное развитие нефтяной промышленной в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) на современном этапе неминуемо приводит к увеличению количества аварийных ситуаций и масштабов результатов, которые связаны с отсутствием непосредственного надзора за выбросом токсичных и взрывоопасных веществ в атмосферу. По этой причине появляется острый вопрос применения научных методов для защиты окружающей среды и всего общества. В составляющую часть управления промышленной безопасностью входит проведение анализа риска аварийных ситуаций. Сам анализ подразумевает нахождение количественной оценки вероятной угрозы взрывоопасных объектов [1; 2].

Выводы анализа масштабов последствий применяются при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов (ОПО), проведении экспертизы промышленной безопасности, аргументированию безопасных условий, исследованию проектных постановлений, страховании ответственности, оценке влияния хозяйственной работы на окружающую природную среду и при прочих процессах, которые связаны с проведением аналитической статистики безопасности.

Главная функция проведения анализа риска аварийных ситуаций (АС) заключается в определении уровня аварийной опасности ОПО или его совокупных элементов, в предупреждении аварийного события, в обеспечении защиты жизни и здоровья человека, имущества и окружающей среды. Кроме того, основные задачи анализа – это создание, плановое выполнение и соответствующее корректирование четко поставленных целей и предложений по уменьшению риска аварийных ситуаций [3; 4]. Особое внимание необходимо уделять анализу рисков возникновения АС на ОПО в АЗРФ, так как зачастую климатические условия данной зоны могут вести к проблемам ликвидации последствий ЧС или же могут сделать ликвидацию невозможной [5; 6]. Целью работы является минимизация рисков возникновения АС на объектах нефтяной промышленности в АЗРФ.

**Теоретические основы и методы исследования.** Одним из инструментов моделирования возникновения АС являются «Дерево отказов» и «Дерево событий», которые применяются для оценки рисков возникновения АС на ОПО.

Под «Деревом отказов» определяется логическая схематичность причинно-следственных взаимосвязей образования АС, которая показывает последовательные действия и совокупность разнообразных ситуаций, возникновение которых может привести к разгерметизации резервуаров с нефтепродуктами и дальнейшему разливу с возможным воспламенением [7]. В структуру «Дерева отказов» входит головное событие, которое образует цепь со многими соответствующими нижестоящими событиями. Для установления этих связей между ситуациями в узлах «дерева» применяются обозначения «И» и «ИЛИ». Конечное событие возникает в итоге определенных неисправностей; представляется в виде прямоугольника. Событие, который означает первичный отказ, представлен в виде кружочка [1; 8].

Под «Деревом событий» определяется пошаговая последовательность событий, которая исходит из главной АС – применяется преимущественно для проведения анализа развития АС (сценария аварии) и для оценки возможности существования всех поражающих факторов.

Под сценариями событий АС определяются последовательные логические и взаимосвязанные между собой события, которые обусловлены конкретным событием, что приводит к появлению поражающих ключевых факторов АС, к ущербу персонала, имуществу и окружающей среде.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Модель анализа причин появления АС для емкостного оборудования с хранением нефтепродуктов представлена в виде «Дерева отказов» на рис. 1. Конечное событие – разгерметизация емкости, а начальные события – ошибка при ремонте, износ уплотнения, износ крепежных изделий, повреждение сальниковых уплотнений, отказ системы сигнализации уровня в емкости, ошибка персонала, ошибка обслуживающего персонала контроля, а также эрозия/коррозия металла. Как видно на рис.1, все события представлены с вероятностью их возникновения.

Вероятность первичного отказа определяется из формул теории надежности. Вероятность  $P(A)$  выходного события  $A$  при независимости входных событий  $A_1, A_2, \dots, A_n$  определяют по формулам (1) и (2) [1]:

- при знаке «И»:

$$P(A) = \prod_{i=1}^n P(A_i) \quad (1)$$

- при знаке «ИЛИ»:

$$P(A) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(A_i)) \quad (2)$$

где  $P(A_i)$  – вероятность события  $A_i$ .

При помощи построенной модели легко выявить аварийные сочетания, которые гарантируют появление конечного события, то есть разгерметизацию емкости.

В нашем случае такими сочетаниями будут:

1. Эрозия/коррозия металла.
2. Ошибка при ремонте и ошибка обслуживающего персонала контроля.
3. Износ крепежных изделий фланцевого соединения и ошибка обслуживающего персонала контроля.
4. Износ крепежных изделий и ошибка обслуживающего персонала контроля.
5. Повреждение сальниковых уплотнений запорной арматуры и ошибка обслуживающего персонала контроля.
6. Ошибка при ремонте и ошибка обслуживающего персонала контроля.
7. Отказ системы сигнализации уровня в емкости и ошибка персонала.

Выявленные сочетания являются минимально пропускными, одновременное возникновение которых достаточно для появления конечного события, то есть разгерметизации емкости. Такие сочетания используются, главным образом, для выявления «слабых» мест [9].

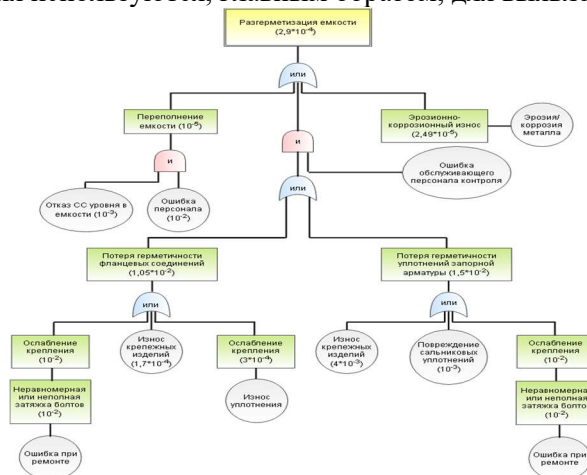


Рис. 1. Модель анализа причин появления АС для емкостного оборудования с хранением нефтепродуктов

Применение подхода «Дерева событий» для оценивания возможностей разнообразных сценариев АС представлено на рис. 2-3 «Дерево событий» зачастую начинается слева направо, с исходного события, приводящего к выходу из строя исследуемой системы. На рис.2 исходным

событием является полная разгерметизация резервуара с нефтепродуктами. На рис.3 представлена уже частичная разгерметизация резервуара с нефтепродуктами. Поэтапная декомпозиция головного события ведет к возможности появления 5 сценариев развития исходного события: ликвидация разлива без токсичного поражения, токсичное поражение, сгорание облака с последующим пожаром разлива, объемный взрыв с последующим пожаром разлива и пожар разлива.

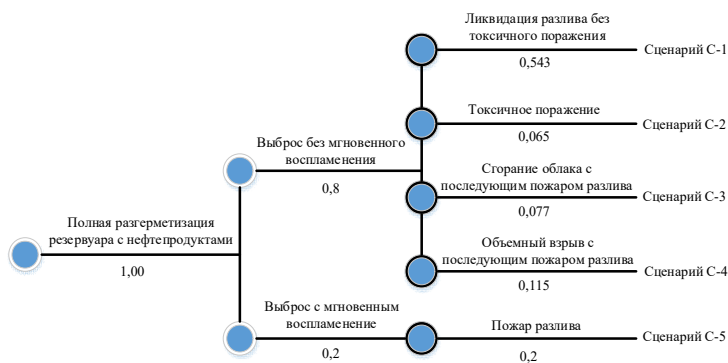


Рис.2. Модель полной разгерметизации резервуара с нефтепродуктами

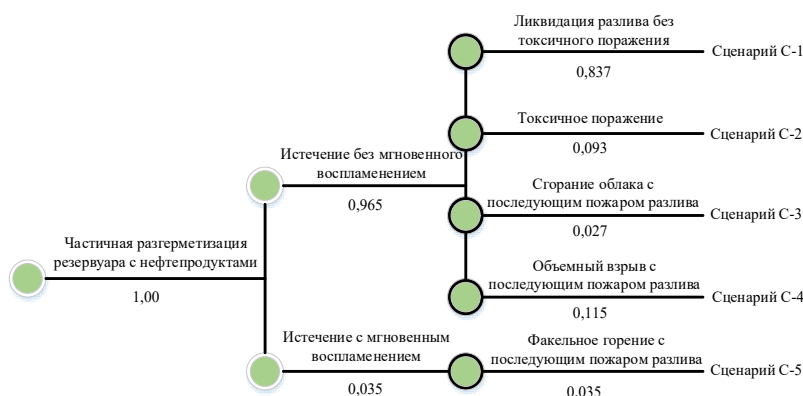


Рис.3. Модель частичной разгерметизации резервуара с нефтепродуктами

Как видно на рисунках, цифровые обозначения, расположенные вблизи с событиями, изображают вероятность возникновения события, причем вероятность появления инициирующей ситуации равна 1. Частота появления конкретного случая или события просчитывается посредством проведения расчетного действия, где умножается частота появления инициирующей ситуации на условную вероятность заключительного события [10; 11]. После того, как определяются все исходные события, необходимо проводить анализ количества всех потенциальных сценариев. Анализ «Дерева событий» позволяет получить перспективы развития АС, предотвратить риск их появления [12].

**Заключение.** Таким образом, аварийные ситуации с разливом нефтепродуктов на объектах нефтяной промышленности являются одной из важнейших проблем современности в силу быстрого развития технологического прогресса в сфере добычи, хранения и транспортировки нефтепродуктов в Арктической зоне Российской Федерации. Комплексный подход к прогнозированию рисков возникновения ЧС может минимизировать вероятность возникновения аварийных ситуаций, что, в свою очередь, позволит уменьшить ущерб окружающей среде и материальные затраты на ее восстановление. Реализация предлагаемого подхода позволит повысить эффективность ликвидации разливов нефтепродуктов в Арктической зоне Российской Федерации и разработать рекомендации по минимизации рисков возникновения аварийных ситуаций на опасных производственных объектах.

### Список источников

1. Антюхов В. И. Системный анализ и принятие решений / В. И. Антюхов [и др.]; под ред. В. С. Артамонова – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский ун-т ГПС МЧС России, 2017. – 389 с.
2. Матвеев А. В. Методы моделирования и прогнозирования. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России имени Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева, 2022. 230 с.
3. Онов В. А. Метод экологически чистой локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов / В. А. Онов, М. В. Панкратова // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Научный и практический подходы к развитию и реализации технологий безопасности: сборник тезисов по материалам XVII Международной научно-практической конференции, Воронеж, 26 марта 2021 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2021. – С. 45-46.
4. Рыжих М. В. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на основе "Дерева решений" / М. В. Рыжих, Е. Н. Трофимец // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – Т. 1. – № 9. – С. 786-788.
5. Артамонов В. С., Лукин В. Н., Мусиенко Т. В. Геополитика Арктики: проблемы обеспечения безопасности // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2020. № 1(29). С. 9-22.
6. Матвеев А. В., Метельков А. Н. Развитие системы информационного взаимодействия в интересах обеспечения безопасности в Арктической зоне РФ // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2021. № 4(36). С. 12-19.
7. Pradhan B. Marine oil spills: Implications on response plan / B. Pradhan, C. Pradhan, M. Das // EnvironmentAsia. – 2021. – Vol. 14. – No 3. – P. 13-22.
8. Рыжих М. В. Системный анализ процесса моделирования рисков возникновения аварийных ситуаций на опасных производственных объектах / М. В. Рыжих, В. Ф. Щетка // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2020. – № 1(5). – С. 522-525.
9. Dickins D. Behavior of oil spills in ice and implications for arctic spill response / D. Dickins // Society of Petroleum Engineers - Arctic Technology Conference 2011, Houston, TX, 07–09 февраля 2011 года. – Houston, TX, 2011. – P. 779-793.
10. Soussi A. Environmental Impacts of Oil Spills and Response Technologies / A. Soussi, C. Bersani, R. Sacile // Advances in Environmental Research, 2021. – P. 139-179.
11. Онов В. А. Метод локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов силами и средствами МЧС России / В. А. Онов, М. В. Панкратова // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2021. – № 2. – С. 1-7.
12. Матвеев А. В. Организационные и методические аспекты обеспечения безопасности потенциально опасных объектов. СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2019. 144 с.

### List of sources

1. Antyukhov V.I. System analysis and decision-making / V.I. Antyukhov [et al.]; edited by V.S. Artamonov – St. Petersburg: St. Petersburg Un-t GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2017. – 389 p.
2. Matveev A. V. Metody modelirovaniya i prognozirovaniya [Methods of modeling and forecasting]. Saint-Petesburg: Sankt-Peterburgskij universitet GPS MCHS Rossii named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinichev, 2022, 230 p.
3. Onov V. A. Method of environmentally friendly localization and elimination of oil and petroleum product spills / V. A. Onov, M. V. Pankratova // Complex problems of technosphere safety.

Scientific and practical approaches to the development and implementation of security technologies: a collection of abstracts based on the materials of the XVII International Scientific and Practical Conference, Voronezh, March 26, 2021. – Voronezh: Voronezh State Technical University, 2021. – pp. 45-46.

4. Ryzhikh M. V. Forecasting of emergency situations based on the "decision tree" / M.V. Ryzhikh, E. N. Trofimets // Fire safety: problems and prospects. – 2018. – Vol. 1. – No. 9. – pp. 786-788.

5. Artamonov V. S., Lukin V. N., Musienko T. V. Geopolitics of the Arctic: Security Problems // National Security and Strategic Planning. 2020. No. 1(29). pp. 9-22.

6. Matveev A. V., Metelkov A. N. Development of an information interaction system in the interests of ensuring security in the Arctic zone of the Russian Federation // National Security and Strategic Planning. 2021. No. 4(36). pp. 12-19.

7. Pradhan B. Marine oil spills: Implications on response plan / B. Pradhan, C. Pradhan, M. Das // EnvironmentAsia. – 2021. – Vol. 14. – No 3. – P. 13-22. 8. Ryzhikh M. V. System analysis of the process of modeling the risks of emergency situations at hazardous production facilities / M.V. Ryzhikh, V. F. Brush // Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement. – 2020. – № 1(5). – Pp. 522-525

9. Dickins D. Behavior of oil spills in ice and implications for arctic spill response / D. Dickins // Society of Petroleum Engineers - Arctic Technology Conference 2011, Houston, TX, February 07-09, 2011. – Houston, TX, 2011. – P. 779-793.

10. Soussi A. Environmental Impacts of Oil Spills and Response Technologies / A. Soussi, C. Bersani, R. Sacile // Advances in Environmental Research, 2021. – P. 139-179.

11. Onov V. A. Method of localization and liquidation of oil and petroleum product spills by the forces and means of the EMERCOM of Russia / V. A. Onov, M. V. Pankratova // Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia". – 2021. – No. 2. – pp. 1-7.

12. Matveev A. V. Organizational and methodological aspects of ensuring the safety of potentially dangerous objects. St. Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2019. 144 p.

#### **Информация об авторах**

В.А. Онов - кандидат технических наук

#### **Information about the author**

V.A. Onov - 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 no conflicts of interests.

Статья поступила в редакция 08.02.2023; одобрена после рецензирования 17.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was submitted 08.02.2023, approved after reviewing 17.03.2023, accepted for publication 21.03.2023.