

УДК 614.849

a\_kalach@mail.ru

**ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
И СЦЕНАРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ  
ПОЖАРООПАСНОЙ СИТУАЦИИ НА НЕФТЕНАЛИВНОМ ТАНКЕРЕ**

**PROBLEMS OF FIRE SAFETY AND SCENARIO MODELING  
OF THE DEVELOPMENT OF A FIRE-HAZARDOUS SITUATION  
ON AN OIL TANKER**

*Лоран Н. М., Главное управление МЧС России  
по Кемеровской области – Кузбассу, Кемерово,  
Калач А. В., доктор химических наук, профессор,  
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Laurent N., The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations  
of Russia in the Kemerovo region, Kuzbass, Kemerovo,  
Kalach A.,  
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry  
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,*

В статье рассмотрены актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности на объектах нефтегазового комплекса. Проведено сценарное моделирование возникновения пожароопасной ситуации и развития пожаров на нефтеналивных танкерах. Представлены результаты поведенного сценарного моделирования развития пожароопасной ситуации на нефтяном танкере при разливе нефти на площади 20 м<sup>2</sup> (в технологическом поддоне), вытекшей из перекачивающего насоса с использованием программы «СИТИС: Блок» на основе модуля CFAST, реализующего двухзонную модель тепломассопереноса при пожарах. Время моделирования составило 600 с, начальная температура 20 °С, состояние дверей и проемов 100 % и остается неизменным. По результатам моделирования рассматриваемого сценария установлено, что время блокирования составляет 14 с. Отдельное внимание авторами уделено анализу данных о местах возникновения пожаров на объектах, связанных с хранением, транспортировкой и переработкой нефти и нефтепродуктов. На основе проведенного анализа, обработки статистических данных сделан вывод, что пожары на судах, перевозящих нефтепродукты носят затяжной характер, заканчиваясь полным выгоранием нефтепродуктов. Сделан вывод о необходимости использовать полученные результаты при разработке мероприятий по повышению качества обеспечения пожарной безопасности на объектах нефтяной промышленности.

*Ключевые слова:* нефтеналивные танкеры, нефтепродукты, перевозка, моделирование, пожарная безопасность, пожар.

The article discusses the current problems of ensuring fire safety at the facilities of the oil and gas complex. Scenario modeling of the occurrence of a fire-hazardous situation and the development of fires on oil tankers was carried out. The results of the behavioral scenario modeling of the development of a fire-hazardous situation on an oil tanker during oil bottling on an area of 20 m<sup>2</sup> (in a technological pallet) that leaked from a pumping pump using the CITYYS program are presented.: Block" based on the CFAST module,

which implements a two-zone model of heat and mass transfer in case of fires. The simulation time was 600 s, the initial temperature was 20 °C, the condition of the doors and openings is 100% and remains unchanged. Based on the simulation results of the scenario under consideration, it was found that the blocking time is 14 seconds. Special attention is paid by the authors to the analysis of data on the places of occurrence of fires at facilities associated with the storage, transportation and processing of oil and petroleum products. Based on the analysis, processing of statistical data, it is concluded that fires on ships carrying petroleum products are protracted, ending in complete burnout of petroleum products. It is concluded that it is necessary to use the results obtained in the development of measures to improve the quality of fire safety at oil industry facilities.

*Keywords:* oil tankers, petroleum products, transportation, modeling, fire safety, fire.

Вопросы обеспечения пожарной безопасности на объектах нефтегазового комплекса России представляют собой актуальную задачу, возникающую при осуществлении производственных процессов добычи, переработки нефти и газа, организации перевозки нефти, газа и нефтепродуктов.

Анализ и обобщение статистических данных о пожарах на объектах, связанных с хранением, транспортировкой и переработкой нефти и нефтепродуктов, приведен на рис. 1 [1–4]. Все указанные причины необходимо учитывать при обеспечении пожарной безопасности перевозки нефти и нефтепродуктов.

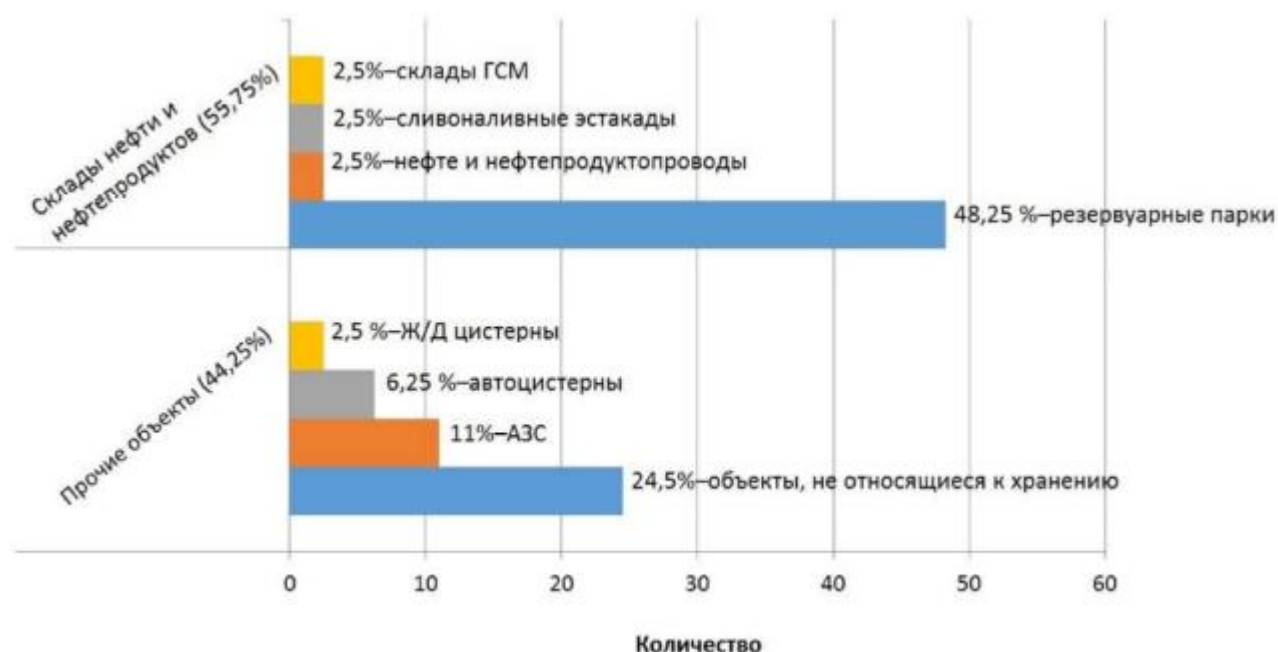


Рисунок 1. Иллюстрация данных о местах возникновения пожаров на объектах нефтегазового комплекса

Из рис. 1 следует, что пожары возникают на объектах, не относящихся к хранению, в 24,5 % случаев. К таким объектам относятся буровые установки для добычи нефти, нефтеналивные танкеры, ректификационные колонны.

Таким образом, актуальным представляется задача исследования причин и

условий, при которых возникают пожароопасные ситуации на нефтеналивных танкерах с целью обеспечения заданного уровня пожарной безопасности.

Следует отметить, что одной из особенностей пожаров на судах, перевозящих нефтепродукты, является то, что они имеют затяжной характер, заканчиваясь

полным выгоранием нефтепродуктов [3–7]. При этом основной причиной пожаров и взрывов являлось воспламенение паров нефти (нефтепродуктов) с воздухом при наличии источника зажигания различного генезиса [1].

Анализ пожаров на танкерных нефтеперевозящих судах показал, что взрыв и последующее тепловое воздействие на установки горящих танков выводят оборудования из строя [6; 8–11]. В этих обстоятельствах актуально использование сценарного моделирования развития пожароопасной ситуации на танкере.

Рассмотрим основные положения модели. Развитие горения на начальной стадии происходит при достаточном количестве кислорода при большом количестве пожарной нагрузки, что также влияет на мощность горения.

Исходя из вышеизложенных заключений, для модели расчета времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара можно выбрать зонный метод математического моделирования пожаров.

Для расчета используется программа «СИТИС: Блок 4.12» на основе модуля CFAST, реализующего двухзонную модель тепломассопереноса при пожарах. Применяемые в программе математические модели более подробно описаны в техническом руководстве программы «СИТИС: Блок», в техническом руководстве программы CFAST, а также в документе СИТИС «Методические рекомендации по использованию программы CFAST».

Для иллюстрации последствий смоделируем розлив нефти на площади 20 м<sup>2</sup> (в технологическом поддоне), вытекшей из перекачивающего насоса. Расчетная точка располагается при выходе из секции (рис. 2). В качестве пожарной нагрузки рассматривали нефть. Результаты моделирования приведены на рис. 2.

Время моделирования составило 600 с, начальная температура 20 °С, состояние дверей и проемов 100 % и остается неизменным. Предельно допустимые значения определяются автоматически.

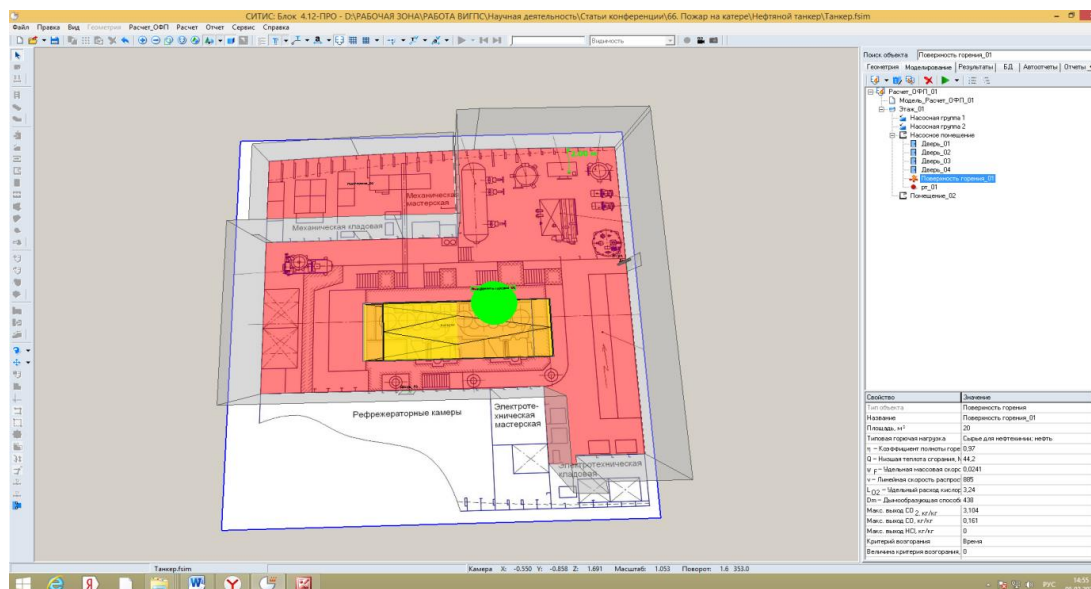


Рисунок 2. Иллюстрация расположения места начала развития пожароопасной ситуации на нефтяном танкере

Характеристики поверхности го-

рения в модели рассматриваемого сценария представлены в табл. 1.

Таблица 1

*Качественные характеристики моделируемой поверхности горения*

Параметры	Значение
Расположение	Насосное помещение
Площадь, м <sup>2</sup>	20
Типовая горючая нагрузка	Сырье для нефтехимии; нефть
h – коэффициент полноты горения	0,97
Q – низшая теплота сгорания, МДж/кг	44,2
Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м <sup>2</sup> ·с)	0,0241
v – линейная скорость распространения пламени, м/с	885
L <sub>O2</sub> – Удельный расход кислорода, кг/кг	3,24
Дымообразующая способность горящего материала, Нп·м <sup>2</sup> /кг	438
Макс. выход СО <sub>2</sub> , кг/кг	3,104
Макс. выход СО, кг/кг	0,161
Макс. выход НСl, кг/кг	0
Критерий возгорания	Время
Величина критерия возгорания	0

Предельно допустимые значения опасных факторов пожара приведены в табл. 2.

Таблица 2

*Предельно допустимые значения опасных факторов пожара*

Название	T, °C	O <sub>2</sub> , кг/м <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> , кг/м <sup>3</sup>	CO, кг/м <sup>3</sup>	НСl, кг/м <sup>3</sup>	AT, Вт/м <sup>2</sup>
Значение	70	0,226	0,11	0,00116	2,3E-5	1400

Результаты моделирования значений опасных факторов представлены в табл. 3.

Таблица 3

*Результаты проведения моделирования значений опасных факторов пожара*

Параметры	Значение
Время блокирования, с	14
По повышенной температуре, с	26
По пониженному содержанию кислорода, с	26
По СО, с	27
По СО <sub>2</sub> , с	223
По НСl, с	> 600
По тепловому потоку, с	14
По потере видимости, с	27

Из результатов моделирования рассматриваемого сценария следует, что время блокирования составляет 14 с. Дальнейшие рассуждения о вариантах развития

пожароопасной ситуации следует формулировать исходя из последовательности, представленной на рис. 3.



Рисунок 3. Процесс сценарного планирования

В результате использования программы «СИТИС: Блок» получили аналитическое решение задачи распределения опасных факторов пожара в помещении в условиях кондуктивного режима свободной конвекции. Решение поставленной задачи определяет время эвакуации персонала и возможность реагирования систем и установок пожаротушения для танкерных судов в конкретный период времени [12].

Таким образом, проведенное сценарное моделирование не представляет собой прогноз, а является описанием сравнительно предсказуемого развития события, дает возможность управлять рисками, а по-

лученные результаты могут быть использованы при разработке мероприятий по повышению качества обеспечения пожарной безопасности на объектах нефтяной промышленности.

Проведенный анализ полученной сценарной модели возникновения пожароопасной ситуации и развития пожара на нефтеналивном танкере позволил выделить большое количество системных проблем, которые для своего решения требуют комплексного подхода. При этом применение компьютерного моделирования позволяет свести к минимуму гибель людей и обеспечить сохранность материальных ресурсов.

#### Литература

1. Дупляков Г. С. Анализ и обобщение статистических данных по опасным техногенным явлениям на объектах нефтяной промышленности РФ // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 77–86.
2. Максимов А. А., Егоров В. Р. Судовая система безопасной эксплуатации танкеров // Совершенствование проектирования и эксплуатации морских судов и сооружений. сборник статей по материалам XIII студенческой межвузовской научно-технической конференции. Севастополь, 2018. С. 166–200.
3. Мехдиев И. Д., Ершов А. А. Особенности теплозащитных свойств пенообразующих систем при ликвидации пожаров на танкерах // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 1. С. 18–23.
4. Епихин А. И. Основные причины аварийности танкеров-газовозов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2016. № 4. С. 7–12.
5. Жуйков Д. А., Старков Н. Н., Триполицын А. А. Повышение эффективности применения мобильных средств пожаротушения с использованием компрессионной пены для обеспечения пожарной безопасности объектов военной инфраструктуры и воинских подразделений // Воен. инженер. 2019. № 3 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-primeneniya-mobilnyh-sredstv-pozharotusheniya-sispolzovaniem-kompressionnoy-peny-dlya-obespecheniya>
6. Калач А. В., Гусаков А. Н., Шарапов С. В. К вопросу о совершенствовании технологии и техники пенного пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. 2017. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kvoprosu-o-sovershenstvovanii-tehnologii-i-tehniki-pennogo-pozharotusheniya>
7. Харченко Ю. А. и др. Критерий комплексной безопасности плавучих нефтегазовых платформ // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2019. № 1. С. 45–48.
8. Алферов В. И., Кудрин М. А., Шапошников В. М. Расчет остаточных напряжений корпусных конструкций после пожара в аварийном танке // Труды Центрального научно-исследовательского института им. Академика А. Н. Крылова. 2015. № 86 (370). С. 201–208.
9. Сафонов В. С. Современное состояние исследований конструктивной надежности танкеров для транспортировки СПГ и последствий аварийных разливов СПГ на водной поверхности // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2019. № 2 (39). С. 118–128.

10. Ефимов В. В. О применимости рекомендаций международной морской организации по оценке риска систем для морских автономных надводных судов // Морской вестник. 2020. № 4 (76). С. 110–115.
11. Калач А. В. и др. Анализ аварийности развития пожароопасной ситуации на нефтяном танкере // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2020. № 4 (19). С. 38–43.

#### References

1. Duplyakov G. S. Analysis and generalization of statistical data on dangerous technogenic phenomena at the facilities of the oil industry of the Russian Federation // Actual problems of fire safety and protection from emergencies. Collection of articles based on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. 2019. Pp. 77–86.
2. Maksimov A. A., Egorov V. R. Ship system of safe operation of tankers // Improving the design and operation of marine vessels and structures. collection of articles based on the materials of the XIII student interuniversity scientific and technical conference. Sevastopol, 2018. Pp. 166–200.
3. Mehdiyev I. D., Ershov A. A. Features of heat-protective properties of foaming systems in the elimination of fires on tankers // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology. 2021. No. 1. Pp. 18–23.
4. Epikhin A. I. The main causes of accidents of gas tankers // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology. 2016. No. 4. Pp. 7–12.
5. Zhuikov D. A., Starkov N. N., Tripolitsyn A. A. Improving the efficiency of the use of mobile firefighting equipment using compression foam to ensure fire safety of military infrastructure and military units // Military engineer. 2019. No. 3 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-primeneniya-mobilnyh-sredstv-pozharotusheniya-sispolzovaniem-kompressionnoy-peny-dlya-obespecheniya>
6. Kalach A. V., Gusakov A. N., Sharapov S. V. On the issue of improving the technology and technique of foam fire extinguishing // Fire and explosion safety. 2017. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kvoprosu-o-sovershenstvovanii-tehnologii-i-tehniki-pennogo-pozharotusheniya>
7. Kharchenko Yu. A. et al. Criterion of complex safety of floating oil and gas platforms // Bulletin of the Association of Drilling Contractors. 2019. No. 1. Pp. 45–48.
8. Alferov V. I., Kudrin M. A., Shaposhnikov V. M. Calculation of residual stresses of hull structures after a fire in an emergency tank // Proceedings of the Central Research Institute. Academician A. N. Krylov. 2015. No. 86 (370). Pp. 201–208.
9. Safonov V. S. The current state of research on the structural reliability of tankers for LNG transportation and the consequences of emergency LNG spills on the water surface // Scientific and Technical Collection of Vestn gazovoi nauki. 2019. No. 2 (39). Pp. 118–128.
10. Efimov V. V. On the applicability of the recommendations of the International Maritime Organization on risk assessment of systems for marine autonomous surface vessels // Marine Bulletin. 2020. No. 4 (76). Pp. 110–115.
11. Kalach A. V. et al. Analysis of the accident rate of the development of a fire-hazardous situation on an oil tanker // Siberian Fire and rescue Bulletin. 2020. No. 4 (19). Pp. 38–43.