

Научная статья
УДК 614.841.3
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.27.46.023

Поле потенциального пожарного риска, создаваемое оборудованием склада нефтепродуктов в г. Чите Забайкальского края

Александр Вадимович Холопцев

Максим Константинович Коловский

Виктор Николаевич Любимов

Дмитрий Владимирович Седов

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Владимирович Седов, sedov_irk@list.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования потенциального пожарного риска на складе нефтепродуктов в г. Чите (Забайкальский край). Цель работы — оценка опасности, создаваемой технологическим оборудованием, и выявление зон с максимальным уровнем риска для персонала. Методология основана на расчете потенциального пожарного риска с использованием нормативной методики и специализированного программного обеспечения «PromRisk», позволяющего визуализировать распределение риска в виде графических полей. Установлено, что наиболее опасными участками являются железнодорожная эстакада (до $6,1 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹) и площадки налива автоцистерн (до $5,9 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹), что обусловлено возможностью возникновения пожаров, взрывов и вспышек паров топлива. В резервуарных парках наибольший риск связан с хранением бензина из-за его повышенной взрывоопасности. Результирующее поле риска формируется за счет наложения зон влияния различных технологических аппаратов с учетом климатических факторов (температура, роза ветров). Практическая значимость исследования заключается в возможности оптимизации режимов работы персонала в опасных зонах, разработке мер противопожарной защиты и актуализации нормативных требований. Научная новизна состоит в применении комплексного подхода к оценке рисков с использованием математического моделирования и визуализации данных. Результаты могут быть использованы при проектировании аналогичных объектов и совершенствовании систем промышленной безопасности.

Ключевые слова: потенциальный пожарный риск, склады нефти и нефтепродуктов, пожарная безопасность, оценка опасности, математическое моделирование, прогнозирование последствий аварии

Для цитирования: Холопцев А.В., Коловский М.К., Седов Д.В. Поле потенциального пожарного риска, создаваемое оборудованием склада нефтепродуктов в г. Чите Забайкальского края // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 3 (38). С. 242-253. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.27.46.023>.

Original article.

Potential fire risk field created by oil product warehouse equipment in Chita, trans-baikal territory

Alexander V. Kholoptsev

Maxim K. Kolovsky

Dmitry V. Sedov

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

Corresponding author: Dmitry V. Sedov, sedov_irk@list.ru

Abstract. The article presents the results of a study of the potential fire risk at an oil product warehouse in Chita (Zabaikalsky Krai). The objective of the work is to assess the hazard posed by process equipment and to identify areas with the highest risk to personnel. The methodology is based on calculating the potential fire risk using a regulatory methodology and specialized software "PromRisk", which allows visualizing the risk distribution in the form of graphical fields. It has been established that the most dangerous areas are the railway overpass (up to $6.1 \cdot 10^{-4} \text{ year}^{-1}$) and tanker loading areas (up to $5.9 \cdot 10^{-4} \text{ year}^{-1}$), which is due to the possibility of fires, explosions and flashes of fuel vapor. In tank farms, the greatest risk is associated with the storage of gasoline due to its increased explosiveness. The resulting risk field is formed by superimposing the zones of influence of various technological devices taking into account climatic factors (temperature, wind rose). The practical significance of the study lies in the possibility of optimizing the operating modes of personnel in hazardous areas, developing fire protection measures and updating regulatory requirements. Scientific novelty lies in the application of an integrated approach to risk assessment using mathematical modeling and data visualization. The results can be used in the design of similar facilities and the improvement of industrial safety systems.

Keywords: potential fire risk, oil and oil product warehouses, fire safety, hazard assessment, mathematical modeling, forecasting the consequences of an accident

For citation: Kholoptsev A.V., Kolovsky M.K., Sedov D.V. Potential fire risk field created by oil product warehouse equipment in Chita, trans-baikal territory // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 3 (38). С. 242-253. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.27.46.023>.

Введение

Забайкальский край является перспективным регионом для развития экономических связей с Китаем. В этой связи увеличивается нагрузка на объекты нефтепродуктообеспечения [1], что косвенно приводит к росту аварийности. Около 56 % пожаров на объектах нефтяной промышленности России приходится на склады нефти и нефтепродуктов [2], при этом основными причинами пожаров являются воспламенение (77 %) и самовоспламенение паровоздушной смеси (2 %), самовозгорание пиррофорных отложений (4 %), ремонтные, очистные, сварочные и др. работы (14 %), неустановленные причины (3 %) [3]. Наиболее пожароопасными участками складов нефти и нефтепродуктов являются резервуарные парки, где происходит около 31 % пожаров [4]. Как показывают исследования авторов [5], около 60 % аварий на нефтехранилищах связаны с нарушениями технологических процессов, что подтверждает необходимость совершенствования методов оценки рисков. Аналогичные выводы содержатся в работе [6], где особо подчеркивается зависимость частоты аварий от плотности технологического оборудования. Аварии на складах нефти и нефтепродуктов представляют серьезную угрозу для персонала, в связи с чем на них должны предусматриваться меры по обучению действиям при пожаре и по социальной защите, компенсирующие работу в условиях повышенной опасности [7], [8].

Каждое пожароопасное оборудование на складах нефти и нефтепродуктов потенциально может привести к образованию аварийных поражающих факторов (тепловое излучение, взрывная волна, раскалённые продукты горения и т.д.). Поэтому вокруг оборудования возникает

область потенциальной опасности — потенциального пожарного риска. При появлении человека в данной области возникает угроза для жизни и здоровья. Учитывая то, что на территории складов нефти и нефтепродуктов расположен не один пожароопасный аппарат, а комплекс аппаратов, то области потенциального пожарного риска будут накладываться друг на друга, формируя результирующее поле потенциального пожарного риска. На отдельных участках данного поля значения потенциального пожарного риска будут максимальными. На данных участках руководителю предприятия рекомендуется минимизировать продолжительность присутствия персонала.

Для более точной и наглядной идентификации участков с максимальными значениями результирующего потенциального пожарного риска полученные результаты целесообразно представлять в виде графической интерпретации, где каждому значению соответствует определенный цветовой оттенок. В связи с этим целью исследования является оценка опасности, создаваемой оборудованием склада нефтепродуктов, расположенного в г. Чите Забайкальского края.

Объект исследования

Объектом исследования является склад нефтепродуктов на 2100 м³, расположенный в г. Чите Забайкальского края. Площадь участка составляет 2,0064 га. Количество операторов составляет 4 чел. Предприятие включает в себя следующие технологические участки: железнодорожную эстакаду, резервуарный парк, две площадки для налива топлива в автоцистерны (площадки для АЦ), открытую насосную станцию, здание операторной (Рис.1). В результате аварийного выхода топлива на отдельных участках возможно образование опасных факторов пожара и взрыва.

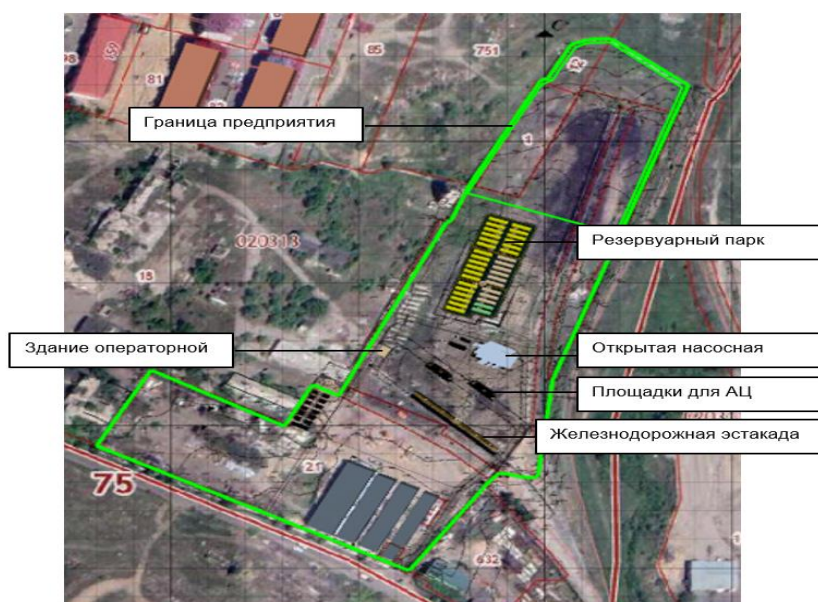


Рис.1. Технологические участки предприятия

На железнодорожной эстакаде расположено 5 шт. сливных постов с устройствами слива УСН-150. Резервуарный парк разделен на три части (поддона), выделенные ограждающими стенками. В первом поддоне располагается 11 шт. резервуаров, из них 6 шт. резервуаров с дизтопливом и 5 шт. резервуаров с бензином. Во втором поддоне резервуарного парка располагается 12 шт. резервуаров, из них 6 шт. резервуаров с дизельным топливом и 6 шт. резервуаров с бензином. В третьем поддоне располагается 12 шт. резервуаров только с дизельным топливом. На территории предприятия две площадки для АЦ. На каждой площадке предусмотрено три устройства верхнего налива АСН-80-02, а также отбортовка

для ограничения площади аварийного пролива топлива. Открытая насосная станция представляет собой площадку, где открытым способом проложены трубопроводы диаметром 80 мм и 150 мм. Здание операторной одноэтажное размерами в плане 3,5×7,5 м, высотой 4,5 м. Оператор находится в здании операторной, контролирует параметры технологических процессов. Взаимное расположение объектов склада и расстояния между ними удовлетворяют требованиям СП 155.13130.2014.

Согласно нормативной методике [9] в качестве расчетной температуры допускается принимать максимальную температуру воздуха, которая согласно СП 131.13330.2012 [10] для г. Читы составляет 37 °С. Также учтена роза ветров рассматриваемого района.

Методы исследования

Величина потенциального пожарного риска в определенной точке территории согласно нормативной методике [9] определяется по формуле:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) \cdot Q_j,$$

где, J — число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);

$Q_{dj}(a)$ — условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному инициирующему аварии событию;

Q_j — частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год⁻¹.

Величина $Q_{dj}(a)$ рассчитывается в зависимости от значений поражающих факторов в конкретной точке территории. При этом необходимо учитывать климатические характеристики района (температура, скорость и направление ветра). Величина Q_j определяется по статистическим данным, приведенным в нормативной методике [9] с использованием метода логического дерева событий, который позволяет учесть особенности технологического процесса.

В настоящем исследовании для реализации указанных выше положений нормативной методики [9] был использован метод математического моделирования последствий аварии с применением специализированной программы «PromRisk» [11]. Программа «PromRisk» зарегистрирована в фонде алгоритмов и программ МЧС России в области обеспечения пожарной безопасности (Свидетельство № 02.0004.01 от 21 ноября 2018 г.). Указанная программа позволяет построить графическую интерпретацию поля потенциального пожарного риска для отдельно взятого технологического аппарата и для комплекса таких аппаратов.

Применяемая методика расчета развивает подходы, предложенные в работе [12] для объектов нефтепродуктообеспечения. Для моделирования сценариев развития аварий использован усовершенствованный алгоритм, аналогичный применяемому авторами [13] при анализе каскадных аварийных процессов.

Результаты исследования

С помощью программы «PromRisk» были определены значения поражающих факторов, которые возникают при авариях на различных технологических участках склада нефтепродуктов.

На железнодорожной эстакаде расположено 5 шт. сливных постов с устройствами слива УСН-150. Опасность при авариях при сливе бензина связана с возникновением пожара пролива, взрыва и пожара-вспышки. На Рис.2 показано полученное с помощью программы поле потенциального риска, которое возникает вокруг одного устройства слива УСН-150. Поскольку данные устройства расположены вдоль участка пути железнодорожной эстакады, поля потенциального пожарного риска будут отличаться друг от друга только местом расположения

эпицентра аварии (в остальном поля потенциального пожарного риска для всех устройств слива аналогичны).

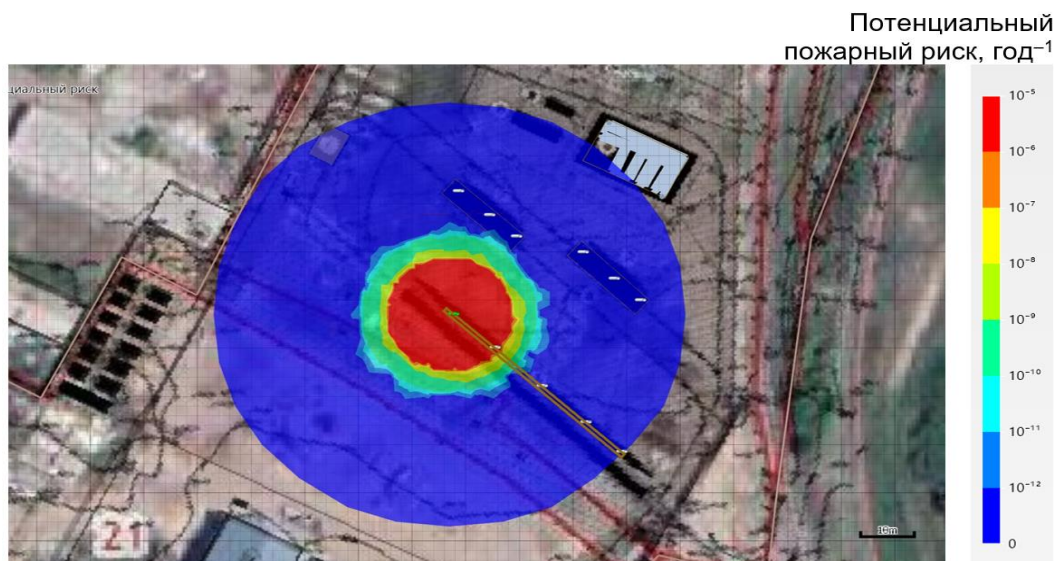


Рис.2. Поле потенциального пожарного риска на железнодорожной эстакаде, обусловленное устройством слива UCH-150

Резервуарный парк разделен на три части (поддона), выделенные ограждающими стенками. В первом поддоне располагается 11 шт. резервуаров, из них 6 шт. резервуаров с дизтопливом и 5 шт. резервуаров с бензином. Опасность при авариях на резервуарах с дизельным топливом связана с возникновением только пожара пролива. Опасность при авариях на резервуарах с бензином связана с возникновением пожара пролива, взрыва и пожара-вспышки. На Рис.3 представлены полученные поля потенциального пожарного риска для первого поддона, которые обусловлены авариями на всех резервуарах с бензином. Обращает на себя внимание то, что значения потенциального пожарного риска для резервуаров с бензином являются более значительными, что связано с возможностью возникновения не только пожара, но также взрыва и пожара-вспышки (при аварии на резервуарах с дизельным топливом возможен только пожар).

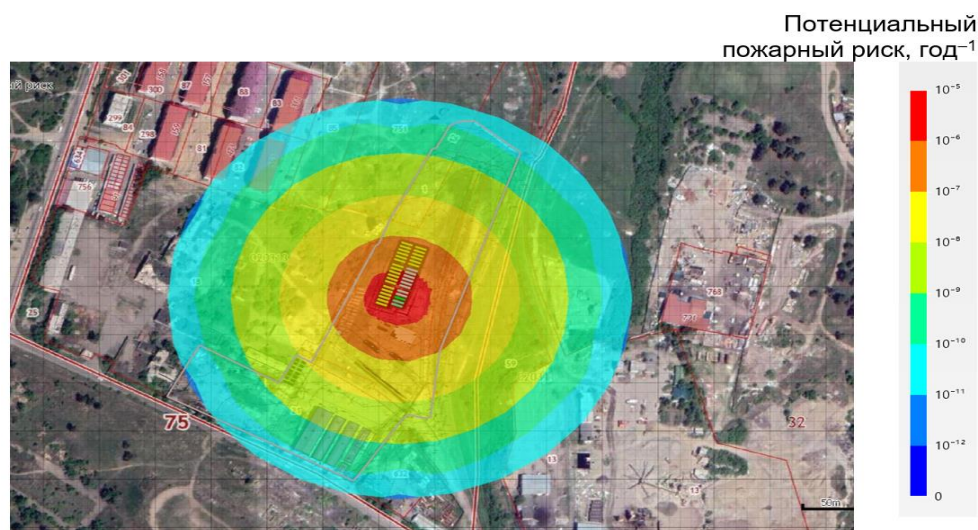


Рис.3. Поле потенциального пожарного риска, создаваемое резервуарами с бензином первого поддона резервуарного парка

Во втором поддоне резервуарного парка располагается 12 шт. резервуаров, из них 6 шт. резервуаров с дизельным топливом и 6 шт. резервуаров с бензином. Опасность при авариях

на резервуарах с дизельным топливом связана с возникновением только пожара пролива. Опасность при авариях на резервуарах с бензином связана с возникновением пожара пролива, взрыва и пожара-вспышки. На Рис.4 представлены поля потенциального пожарного риска для второго поддона, которые обусловлены аварией на всех резервуарах с бензином.

В третьем поддоне располагается 12 шт. резервуаров только с дизельным топливом. Опасность при авариях на резервуарах с дизельным топливом связана с возникновением только пожара пролива. На Рис.5 представлены поля потенциального пожарного риска для третьего поддона, которые обусловлены аварией на всех резервуарах с дизельным топливом.

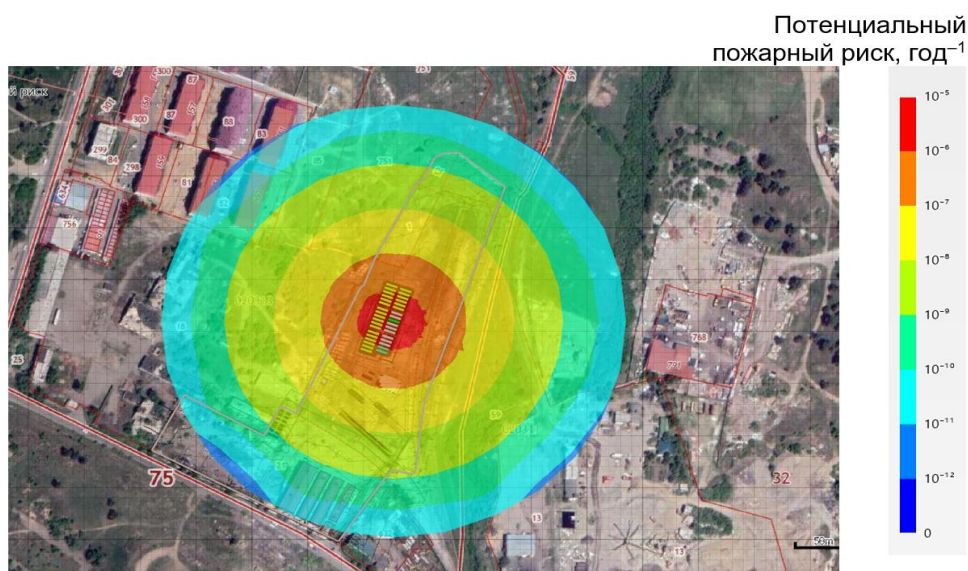


Рис.4. Поле потенциального пожарного риска, создаваемое резервуарами с бензином второго поддона резервуарного парка

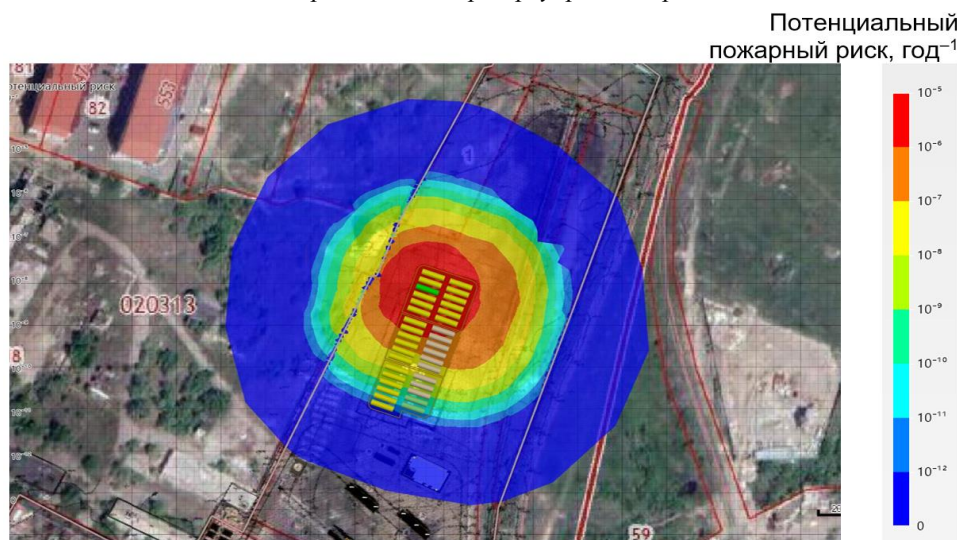


Рис.5. Поле потенциального пожарного риска, создаваемое резервуарами с дизельным топливом

На территории предприятия предусмотрено две площадки для налива топлива в АЦ. На каждой площадке предусмотрено три устройства верхнего налива АСН-80-02, а также отбортовка для ограничения площади аварийного пролива топлива. Поэтому на каждой площадке налива в АЦ возможны три одинаковых аварии. Опасность при авариях при наливе бензина связана с возникновением пожара пролива, взрыва и пожара-вспышки. На Рис.6 представлено поле потенциального пожарного риска, которое возникает в районе первой площадки налива в силу возможности возникновения аварий на любой из трех установок

верхнего налива. На второй площадке налива возникает аналогичное поле потенциального пожарного риска.

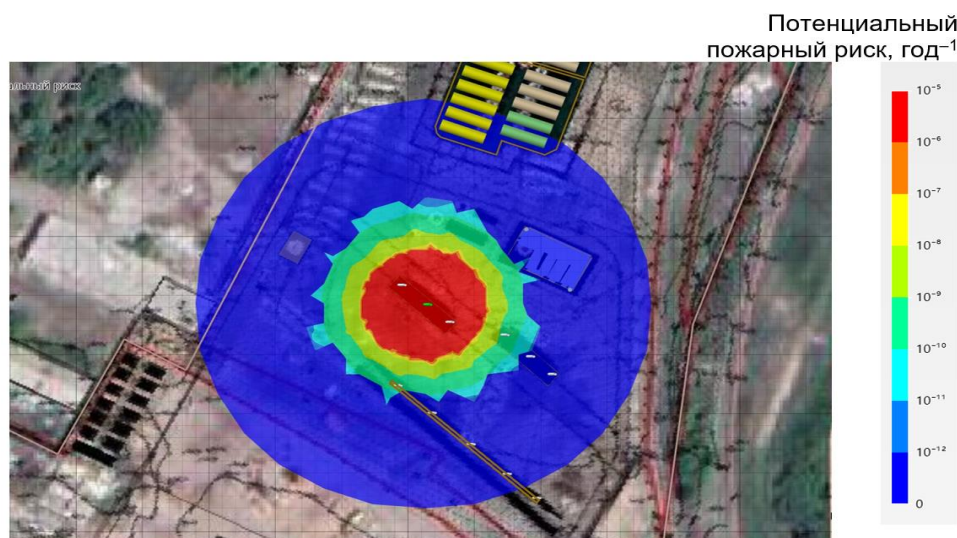


Рис.6. Поле потенциального пожарного риска, создаваемое оборудованием первой площадки налива в АЦ (3 шт. наливных установки)

Открытая насосная станция представляет собой площадку, где открытым способом проложены трубопроводы диаметром 80 мм и 150 мм. Поскольку насосная станция выполнена в открытом исполнении, опасные факторы пожара при аварии могут образовываться на прилегающей территории. Опасность при авариях на открытой насосной станции связана с возникновением пожара пролива, взрыва, пожара-вспышки, факельного горения (топливо подается по трубопроводам под давлением). На Рис.7 показаны поля потенциального пожарного риска на открытой насосной станции, обусловленного опасностью, создаваемой трубопроводом диаметром 150 мм. Полу потенциального пожарного риска диаметром 80 мм существенно меньше по размерам.

Путем наложения друг на друга полей потенциального пожарного риска, создаваемых рассмотренным технологическим оборудованием предприятия, получено результирующее поле потенциального пожарного риска, обусловленного возникновением пожароопасных ситуаций на всем оборудовании.

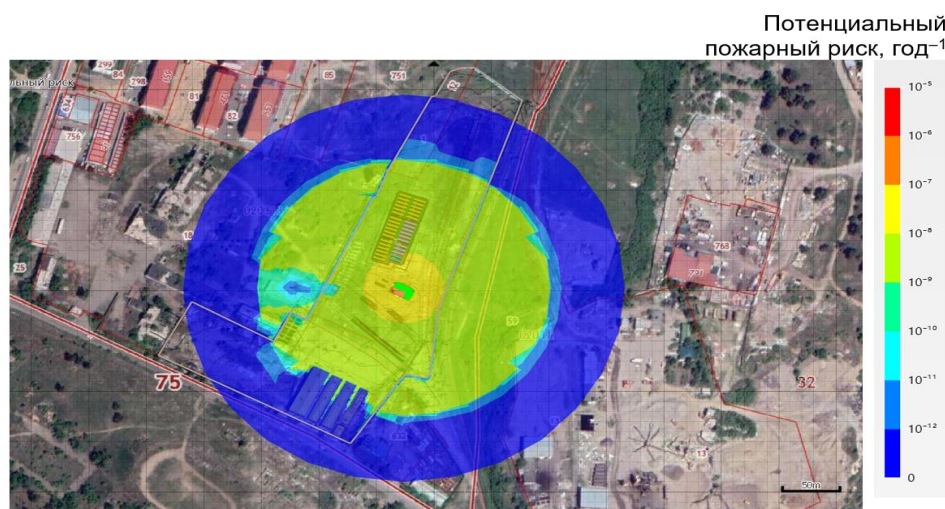


Рис.7. Поле потенциального пожарного риска, создаваемое трубопроводом диаметром 150 мм на открытой насосной станции

На Рис.8 представлено полученное результирующее поле пожарного потенциального риска. Как видно из рисунка, под влиянием ветрового режима поле потенциального риска несколько смещено в южном направлении.

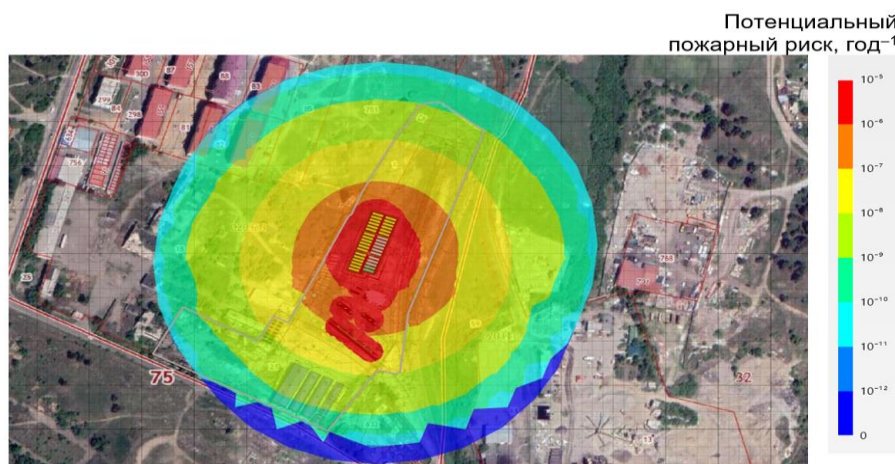


Рис.8. Результирующее поле потенциального пожарного риска
для всего оборудования предприятия

Из полученной графической интерпретации результирующего поля пожарного риска видно, что на железнодорожной эстакаде результирующий потенциальный пожарный риск принимает следующие значения: $P = 1,7 \cdot 10^{-4} \dots 6,1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$. В первом поддоне резервуарного парка результирующий потенциальный пожарный риск принимает следующие значения: $P = 1,76 \cdot 10^{-5} \dots 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$. Во втором поддоне резервуарного парка результирующий потенциальный пожарный риск принимает следующие значения: $P = 4,2 \cdot 10^{-5} \dots 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$. В третьем поддоне резервуарного парка результирующий потенциальный пожарный риск принимает следующие значения: $P = 2,9 \cdot 10^{-6} \dots 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$.

На первой площадке для АЦ результирующий потенциальный пожарный риск принимает следующие значения: $P = 6,2 \cdot 10^{-5} \dots 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$. На второй площадке для АЦ результирующий потенциальный пожарный риск принимает следующие значения: $P = 5,9 \cdot 10^{-5} \dots 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$. На участке открытой насосной станции результирующий потенциальный пожарный риск принимает следующие значения: $P = 1,5 \cdot 10^{-6} \dots 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$. На остальной территории результирующий потенциальный пожарный риск принимает следующие значения: $0 \dots 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$.

Также видно, что в результате опасности, которую создает оборудование, в здании операторной возникает зона потенциальной опасности. Это связано с тем, что волны избыточного давления при взрывах на различных участках способны привести к разрушениям зданий и сооружений. А значит, взрывные волны могут привести и к поражению персонала, находящегося в здании операторной (осколками остекления, разрушенными конструкциями и т.д.). Значения потенциального пожарного риска в здании операторной составило: $P = 1,3 \cdot 10^{-7} \dots 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ в год}$.

Наиболее высокие значения результирующего потенциального пожарного риска отмечаются на железнодорожной эстакаде ($6,1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$), а также на обеих площадках для АЦ ($5,9 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$). На данных участках руководителю предприятия рекомендуется минимизировать продолжительность присутствия персонала.

Обсуждение результатов

В ходе проведенных исследований с помощью специализированной программы «PromRisk» [11] с учетом положений нормативной методики [9] были получены поля потенциального пожарного риска в виде графических интерпретаций для всего пожароопасного

оборудования, находящегося на рассматриваемом складе нефтепродуктов. В результате наложения полученных полей друг на друга было построено результирующее поле потенциального пожарного риска, которое характеризует опасность тех или иных участков территории предприятия. Наиболее высокие значения результирующего потенциального пожарного риска отмечаются на железнодорожной эстакаде (до $6,1 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹), а также на обеих площадках для АЦ (до $5,9 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹). На данных участках руководителю предприятия рекомендуется минимизировать продолжительность присутствия персонала.

Полученные значения риска для резервуарного парка согласуются с результатами [14], где отмечается повышенная опасность зон хранения легковоспламеняющихся жидкостей. Особенно показательно сравнение с результатами CFD-моделирования [15], где также выявлено влияние ветровой нагрузки на распределение опасных зон. Выявленные зоны повышенного риска требуют применения современных систем защиты, аналогичных описанным авторами работы [16]. Особый интерес в данном контексте представляет динамический подход к оценке рисков [17], позволяющий оперативно корректировать меры безопасности в зависимости от изменяющихся условий.

Полученные результаты обладают определенной научно-практической ценностью. В частности, научная ценность полученных результатов состоит в следующем:

- применен комплексный подход к расчету потенциального пожарного риска с учетом наложения зон влияния различных технологических аппаратов, что расширяет существующие методы анализа;
- использование специализированного программного обеспечения (программа «PromRisk») демонстрирует возможность автоматизации расчетов и визуализации данных, что повышает точность и наглядность оценки;
- проведенное исследование учитывает специфику климатических условий Забайкальского края (температура, ветровой режим), что делает результаты применимыми для других объектов в схожих условиях;
- проведен детальный анализ различных сценариев аварий (пожар пролива, взрыв, факельное горение) для разных типов оборудования, что способствует углубленному пониманию механизмов формирования зон опасности;
- полученные данные дополняют статистику и научные представления о распределении пожарных рисков на складах нефтепродуктов, что важно для дальнейших исследований в области промышленной безопасности;
- полученные результаты могут служить основой для разработки новых математических моделей, учитывающих динамику распространения опасных факторов при комбинированных авариях.

Практическая ценность полученных результатов заключается в следующем:

- описанный подход позволяет идентифицировать участки с максимальными значениями потенциального пожарного риска, что дает возможность руководству предприятий принимать обоснованные решения по минимизации времени пребывания персонала в опасных зонах;
- результаты исследования могут быть использованы для разработки и корректировки инструкций по охране труда, эвакуационных планов и мер противопожарной защиты;
- визуализация полей потенциального пожарного риска помогает определить наиболее опасные зоны (железнодорожная эстакада, площадки налива автоцистерн), где требуется усиленный контроль и ограничение доступа персонала;
- полученные данные позволяют обосновать необходимость дополнительных защитных мер, таких как установка огнепреградителей, систем автоматического пожаротушения и средств индивидуальной защиты;

- описанный подход может быть полезен органам государственного пожарного надзора при проведении проверок и выдаче рекомендаций по повышению уровня безопасности на подобных объектах;
- результаты исследования могут служить основой для актуализации нормативных документов, таких как СП 155.13130.2014, с учетом региональных особенностей (климат, роза ветров).

Выводы и предложения

Статья может представлять значительный интерес как для практиков (руководителей предприятий, специалистов по охране труда, пожарных инспекторов), так и для научного сообщества. Полученные результаты способствуют повышению уровня безопасности на объектах хранения нефтепродуктов и развитию методологии оценки пожарных рисков. Дальнейшие исследования могут быть направлены на учет человеческого фактора, моделирование сценариев с множественными авариями и интеграцию предложенного подхода в системы управления промышленной безопасностью. Перспективным направлением представляется внедрение цифровых двойников [18] и видеомониторинга [19] для комплексного контроля пожарной безопасности, что позволит реализовать превентивный подход к управлению рисками.

Список источников

1. Коржубаев А.Г., Филимонова И.В., Эдер Л.В. Современное состояние и прогноз развития нефтегазового комплекса России на ближайшие десятилетия XXI века с учётом международных тенденций // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2007. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-prognoz-razvitiya-neftegazovogo-kompleksa-rossii-na-blizhayshie-desyatiletia-xxi-veka-s-uchyotom>.
2. Дупляков Г.С., Елфимова М.В. Проблемы обеспечения пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов // Техносферная безопасность. — 2019. — № 3(24). — С. 50-62. — EDN JHKCFL.
3. Петрова Н.В., Чешко И.Д., Галишев М.А. Анализ практики экспертного исследования пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. — 2016. — №3. — С. 40–46. — EDN XBVVZN.
4. Дупляков Г.С., Горбунов А.С., Елфимова М.В. Пожарная безопасность складов нефти и нефтепродуктов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. — 2019. — № 4 (15). — С. 8–17. — EDN FFGFXR.
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 14.07.2022). Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Российская газета. — 01.08.2008. — № 163.
6. О промышленной безопасности опасных производственных объектов (с изменениями на 11 июня 2021 года) (редакция, действующая с 1 июля 2021 года). Федеральный закон 21 июля 1997 116-ФЗ // Российская газета. — 30.07.1997. — № 145.
7. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Приказ МЧС России от 26 июня 2024 г. № 533 // Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 03.09.2024, № 0001202409030008.
8. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология». Утвержден Приказом Минстроя России от 28 ноября 2018 г. № 763/пр. Опубликовано. Официальное издание. — М.: Стандартинформ, 2019.
9. Профессиональное программное обеспечение для расчета пожарного риска // FireCat. — URL: <http://pyrosim.ru/index.php?route=common/home>.
10. Азаров В.В. Анализ причин аварийных ситуаций на объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Проблемы техносферной безопасности: Сб. статей междунар. научно-практ. конференции. — Воронеж: филиал РГУПС в г. Воронеж, 2019. — С. 38–41. — EDN LZOGIP.
11. Kang, J., Liang, W., Zhang, L., Lu, Z., Liu, D., Yin, W., & Zhang, G. A new risk evaluation method for oil storage tank zones based on the theory of two types of hazards // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2014. — № 29. — Pp. 267–276. — DOI:10.1016/j.jlp.2014.03.007.

12. Беловежец О.А., Калач Е.В. Совершенствование методики расчета пожарного риска // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – Т. 1. – № 9. – С. 63-65.
13. Chen, J., Ji, J., Guo, X. et al. An Improved Approach for Spatial and Temporal Individual Risk Assessment Considering Synergistic Effects of Multiple Fires Occurred Sequentially // Fire Technol. – 2022. – № 58. – Pp. 2093–2121. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10694-022-01236-z>
14. Николаев Д.В., Легенький Д.Ю., Сальников А.В., Борисова М.Ю. Пожарная опасность резервуарных парков нефтепродуктов // International scientific review. – 2020. – № LXXV. – С. 5–8. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pozharnaya-opasnost-rezervuarnyh-parkov-nefteproduktov>.
15. Wang Y, Wang T, Wang C, Khan F. Modeling and risk analysis of large-scale crude oil pool fire on an offshore facility // Process Saf Prog. – 2023. – № 42(3). – Pp. 448-460. – DOI:10.1002/prs.12474.
16. Здравская Н.Н. Цифровые технологии в системе обеспечения промышленной безопасности нефтеперерабатывающих предприятий, и их экономическая эффективность // Вестник науки. – 2023. – Том 5. – №1 (58). – С. 14–19. – EDN VMDGZA.
17. Feng, Jian Rui & Yu, Guanghui & Zhao, Mengke & Zhang, Jiaqing & Lu, ShouXiang. Dynamic risk assessment framework for industrial systems based on accidents chain theory: The case study of fire and explosion risk of UHV converter transformer // Reliability Engineering & System Safety. – 2022. – № 228. – Pp. 108760. – DOI:10.1016/j.res.2022.108760.
18. Khan, Faisal & Rathnayaka, Samith & Ahmed, Salim. Methods and models in process safety and risk management: Past, present and future // Process Safety and Environmental Protection. – 2015. – № 98. – Pp. 116–147. – DOI:10.1016/j.psep.2015.07.005
19. Апарин, А.А. Видеомониторинг: мировая практика использования и перспективы применения в обеспечении пожарной безопасности / А.А. Апарин // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – № 1(91). – С. 67-84. – DOI 10.25257/TTS.2021.1.91.67-84. – EDN IQCASF.

References

1. Korzhubaev A.G., Filimonova I.V., Eder L.V. The current state and forecast of the development of the Russian oil and gas complex for the coming decades of the 21st century, taking into account international trends. Theory and practice. — 2007. — No. 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-prognoz-razvitiya-neftegazovogo-kompleksa-rossii-na-blizhayshie-desyatiletie-xxi-veka-s-uchyotom>.
2. Duplyakov G.S., Elfimova M.V. Problems of ensuring fire safety of oil and petroleum products warehouses // Technosphere safety. – 2019. – № 3(24). – Pp. 50-62. – EDN JHKCFL.
3. Petrova N.V., Cheshko I.D., Galishev M.A. Analysis of the practice of expert investigation of fires at oil and petroleum products storage facilities // Bulletin of the Saint Petersburg University of the Ministry of Emergency Situations of Russia. — 2016. — No. 3. — pp. 40-46. – EDN XBVVZN.
4. Duplyakov G.S., Gorbunov A.S., Elfimova M.V. Fire safety of oil and petroleum products warehouses // Siberian Fire and Rescue Bulletin. — 2019. — № 4 (15). — Pp. 8-17. – EDN FFGFXR.
5. Technical Regulations on fire safety requirements (as amended on 07/14/2022). Federal Law No. 123-FZ of July 22, 2008 // Rossiyskaya gazeta. — 01.08.2008. — No. 163.
6. On Industrial Safety of hazardous Production facilities (as amended on June 11, 2021) (revision effective from July 1, 2021). Federal Law 116-FZ of July 21, 1997 // Rossiyskaya gazeta. — 30.07.1997. — № 145.
7. Approval of the methodology for determining calculated fire risk values at production facilities. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated June 26, 2024 No. 533 // Official Internet portal of legal information www.pravo.gov.ru , 03.09.2024, No. 0001202409030008.
8. SP 131.13330.2018 "SNiP 23-01-99* Building climatology". Approved by the Order of the Ministry of Construction of Russia dated November 28, 2018 No. 763/ave. Published. The official edition. Moscow: Standartinform, 2019.
9. Professional software for calculating fire risk // FireCat. — URL: <http://pyrosim.ru/index.php?route=common/home>.
10. Azarov V.V. Analysis of the causes of emergency situations at oil and petroleum products storage facilities // Problems of technosphere safety: Collection of articles of the international scientific and practical conference. – Voronezh: branch of RGUPS in Voronezh, 2019. – pp. 38-41. – EDN LZOGIP.

11. Kang, J., Liang, W., Zhang, L., Lu, Z., Liu, D., Yin, W., & Zhang, G. A new risk evaluation method for oil storage tank zones based on the theory of two types of hazards // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2014. – No. 29. – Pp. 267-276. – DOI:10.1016/j.jlp.2014.03.007.
12. Belovezhets O.A., Kalach E.V. Improving the methodology for calculating fire risk // Fire safety: problems and prospects. – 2018. – Vol. 1. – No. 9. – pp. 63-65.
13. Chen, J., Ji, J., Guo, X. et al. An Improved Approach for Spatial and Temporal Individual Risk Assessment Considering Synergistic Effects of Multiple Fires Occurred Sequentially // Fire Technol. – 2022. – № 58. – Pp. 2093–2121. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10694-022-01236-z>
14. Nikolaev D.V., Legenky D.Yu., Salnikov A.V., Borisova M.Y. Fire danger of tank farms of petroleum products // International scientific review. – 2020. – № LXXV. – pp. 5-8. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pozharnaya-opasnost-rezervuarnyh-parkov-nefteproduktov>.
15. Wang Y, Wang T, Wang C, Khan F. Modeling and risk analysis of large-scale crude oil pool fire on an offshore facility // Process Saf Prog. – 2023. – № 42(3). – Pp. 448-460. – DOI:10.1002/prs.12474.
16. Zdarskaya N.N. Digital technologies in the system of ensuring industrial safety of oil refineries, and their economic efficiency // Bulletin of Science. – 2023. – Tom 5. – №1 (58). – Pp. 14-19. – EDN VMDGZA.
17. Feng, Jian Rui & Yu, Guanghui & Zhao, Mengke & Zhang, Jiaqing & Lu, ShouXiang. Dynamic risk assessment framework for industrial systems based on accidents chain theory: The case study of fire and explosion risk of UHV converter transformer // Reliability Engineering & System Safety. – 2022. – № 228. – Pp. 108760. – DOI:10.1016/j.res.2022.108760.
18. Khan, Faisal & Rathnayaka, Samith & Ahmed, Salim. Methods and models in process safety and risk management: Past, present and future // Process Safety and Environmental Protection. – 2015. – No. 98. – Pp. 116-147. – DOI:10.1016/j.psep.2015.07.005
19. Aparin, A.A. Video monitoring: world practice of use and prospects of application in ensuring fire safety / A.A. Aparin // Technosphere safety technologies. – 2021. – № 1(91). – Pp. 67-84. – DOI 10.25257/TTS.2021.1.91.67-84. – EDN IQCASF.

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 редакцию 01.06.2025, одобрена после рецензирования 10.08.2025, принята к публикации 11.08.2025.

The article was submitted 01.06.2025, approved after reviewing 10.08.2025, accepted for publication 11.08.2025.