

Научная статья
УДК 614.841.3
doi: 10.34987/2712-9233.2022.46.88.005

Обеспечение пожарной безопасности нефтебазы путем разработки защитных мероприятий, направленных на минимизацию последствий пожаров

Сергей Александрович Иванов
Роман Геннадьевич Шубкин

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия
Автор ответственный за переписку: Шубкин Роман Геннадьевич, rshubkin@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается вопрос обеспечения пожарной безопасности нефтебазы путем разработки защитного мероприятия с обоснованием его эффективности величиной пожарного риска. Приведены результаты прогноза последствий пожароопасных ситуаций на различных технологических участках нефтебазы, выявлены места, где персонал находится в наибольшей опасности. Показано, каким образом реализация защитного мероприятия позволяет снизить пожарный риск до приемлемых значений.

Ключевые слова: пожарная безопасность, пожарный риск, защитные мероприятия, нефтебаза, газовая обвязка

Для цитирования: Иванов С.А., Шубкин Р.Г. Обеспечение пожарной безопасности нефтебазы путем разработки защитных мероприятий, направленных на минимизацию последствий пожаров // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. 2022. № 3 (7). С. 31-37. <https://doi.org/10.34987/2712-9233.2022.46.88.005>.

Ensuring the fire safety of the tank farm by developing protective measures aimed at minimizing the consequences of fires

Sergey A. Ivanov
Roman G. Shubkin

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia
Corresponding author: Roman G. Shubkin, rshubkin@yandex.ru

Abstract. The article deals with the issue of ensuring the fire safety of an oil depot by developing a protective measure with justification of its effectiveness by the magnitude of the fire risk. The results of the forecast of the consequences of fire hazardous situations at various technological sections of the oil depot are given, the places where the personnel are in the greatest danger are identified. It is shown how the implementation of protective measures can reduce the fire risk to acceptable values.

Key words: fire safety, fire risk, protective measures, tank farm, gas piping

For citation: Ivanov S.A., Shubkin R.G. Ensuring the fire safety of the tank farm by developing protective measures aimed at minimizing the consequences of fires // Actual problems of safety In the technosphere 2022. № 3 (7). С. 31-37. <https://doi.org/10.34987/2712-9233.2022.46.88.005>.

В настоящее время около 56 % пожаров на объектах нефтяной промышленности России приходится на нефтебазы [1]. Это связано с тем, что большинство нефтебаз построены в 1950–1990 гг., и применяемое на них оборудование, в том числе системы обеспечения безопасности, морально и физически устарели. Наиболее пожароопасными участками нефтебаз являются резервуарные парки (около 31 % пожаров), автоцистерны (около 6 %), железнодорожные цистерны (около 3 %), сливо-наливные эстакады (около 3 %) [2]. Основными причинами пожаров являются воспламенение паровоздушных смесей (77 %),

самовозгорание пиррофорных отложений (4 %), ремонтные, очистные, сварочные и др. работы (14 %) [3]. Снижение пожарной опасности нефтебаз возможно путем разработки защитных мероприятий. Для этого необходимо прогнозирование последствий пожароопасных ситуаций с целью выявления мест наибольшего пожарного риска.

Рассматриваемая условная нефтебаза расположена в г. Ангарске Иркутской области (рис. 1) и предназначена для приема, хранения и отпуска бензина и дизельного топлива. Нефтебаза расположена на удалении 1 км от жилой зоны, общественно-деловой зоны или зоны рекреационного назначения. Основное технологическое оборудование сосредоточено на железнодорожной эстакаде (3 шт. сливных поста), пунктах налива автоцистерн (3 шт.) и в резервуарном парке (33 шт. подземных резервуара).

Время нахождения персонала на участке железнодорожной эстакады составляет 2 ч в сутки, на пунктах налива автоцистерн – 4 ч в сутки; в резервуарном парке – 0,5 ч в неделю. В здании диспетчерской персонал присутствует круглосуточно. На остальной территории нефтебазы персонал может находиться до 0,5 ч в сутки.

Район расположения нефтебазы имеет резко континентальный климат. Абсолютная максимальная температура воздуха составляет 36 °С, вероятность возникновения штилей равна 0,2 [4].



Рис. 1. Фотография нефтебазы и прилегающей территории

Наиболее пожароопасными ситуациями являются: выброс топлива на железнодорожной эстакаде при разрушении железнодорожной цистерны емкостью 60 м³; выброс топлива на пунктах налива автоцистерн при разрушении автоцистерны емкостью 35 м³; выход паров топлива через дыхательную арматуру в резервуарном парке при заполнении подземных резервуаров емкостью 60 м³ (большое дыхание).

Для проведения прогнозной оценки возможных последствий пожара (взрыва) и определения величины пожарного риска применялась нормативная методика [5]. Согласно данной методике величина индивидуального пожарного риска на территории объекта для m -го работника рассчитывается по формуле:

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} \cdot P(i),$$

где I – число областей (на территории объекта);

$P(i)$ – потенциальный риск в i -ой области, год⁻¹;

q_{im} – вероятность присутствия m -го работника в i -ой области.

Величина потенциального риска в определенной точке (a) на территории объекта или за его границами определяется по формуле:

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

где J – число сценариев развития пожароопасных ситуаций;

$Q_{dj}(a)$ – условная вероятность поражения человека в определенной точке (a) в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций;

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

Условные вероятности поражения человека $Q_{dj}(a)$ определяются по критериям поражения людей опасными факторами пожара (взрыва).

Вероятность q_{im} определяется, исходя из доли времени нахождения человека в определенной области в течение года:

$$q_{im} = \frac{t_{im}}{24},$$

где q_{im} – время присутствия m -го работника в i -ой области в течение суток, ч;
24 – продолжительность одних суток, ч.

Для анализа сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций применялся метод логического дерева событий. Расчеты проводились в программе MS Excel, при этом рассматривалась расчетная область 102×220 м² с размером ячеек 1×1 м². В каждой ячейке определялись значения опасных факторов пожара (взрыва), а также условной вероятности поражения человека, потенциального риска и индивидуального пожарного риска.

На территории нефтебазы согласно ч. 1 статьи 93 [6] нормативное значение индивидуального пожарного риска составляет 10^{-6} год⁻¹. Для жилой, общественно-деловой зоны и зоны рекреационного назначения, где возможно длительное присутствие населения, согласно ч. 4 и ч. 5 статьи 93 [6] нормативные значения индивидуального и социального пожарных рисков составляют соответственно 10^{-8} и 10^{-7} год⁻¹.

Частота пожароопасных ситуаций на железнодорожной эстакаде (разрушение железнодорожной цистерны) определена с учетом справочных данных [7] и составила 10^{-6} год⁻¹. Данная пожароопасная ситуация может развиваться по нескольким сценариям: пожар пролива возможен с частотой $5 \cdot 10^{-8}$ год⁻¹; взрыв паровоздушного облака – с частотой $1,9 \cdot 10^{-8}$ год⁻¹; пожар-вспышка – с частотой $1,2 \cdot 10^{-8}$ год⁻¹. При взрыве опасность поражения человека отсутствует, поскольку избыточное давление взрыва не превышает 28 кПа (человек может получить легкие ушибы [8]). При возникновении пожара-вспышки гибель человека гарантирована в зоне радиусом 75 м. При пожаре пролива смертельные поражения гарантированы при нахождении человека на краю пролива или внутри зоны горения (ближе 18 м от эпицентра).

Для каждой из трех железнодорожных цистерн были получены распределения потенциальных рисков, которые затем были объединены в общее распределение потенциального риска для всей железнодорожной эстакады. Полученная матрица численных данных импортировалась в программу SURF32 для графической визуализации результатов.

На рис. 2 приведено распределение потенциального риска, создаваемого железнодорожной эстакадой. Максимальное значение потенциального риска составляет $3,81 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹ и отмечается на участке расположения среднего сливного поста.

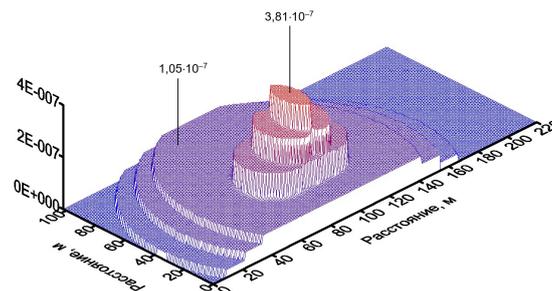


Рис. 2. Распределение потенциального риска, создаваемого железнодорожной эстакадой

Частота возникновения пожароопасных ситуаций на пункте налива автоцистерн (разрушение автоцистерны) определена с учетом справочных данных [7] и составила 10^{-5} год⁻¹. Анализ сценариев развития пожароопасной ситуации показал, что пожар пролива в момент разрушения автоцистерны может произойти с частотой $5 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹; взрыв паровоздушного облака – с частотой $1,9 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹; пожар-вспышка – с частотой $1,2 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹. В случае взрыва опасность гибели отсутствует, поскольку максимальное давление взрыва не превышает 28 кПа (человек может получить легкие ушибы [8]). При пожаре-вспышке радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания равен 61 м, и внутри данной зоны человек гарантированно погибает. При пожаре пролива смертельные поражения гарантированы при нахождении на краю пролива или внутри зоны горения (ближе 14 м от эпицентра).

На рис. 3 представлено распределение потенциального риска от всех пунктов налива автоцистерн вместе взятых. Максимальное значение потенциального риска составило $1,89 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹ и отмечается вокруг среднего пункта налива.

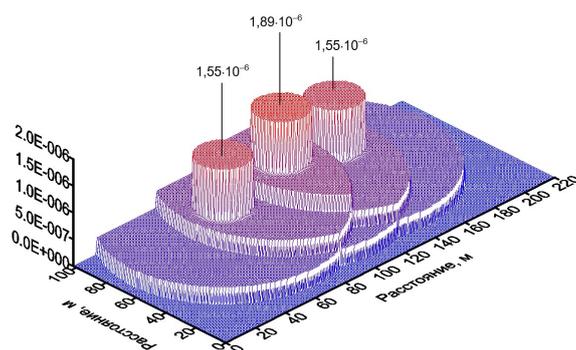


Рис. 3. Распределение потенциального риска, создаваемого пунктами налива автоцистерн

Частота возникновения большого дыхания в резервуарном парке определена с учетом информации о периодичности заполнения подземных резервуаров. Заполнение одного резервуара производится 1 раз в 10 дней, при этом продолжительность операции составляет около 0,5 ч. Таким образом, большое дыхание происходит в течение 0,5 ч в каждые 240 ч работы, а значит, частота возникновения большого дыхания составит: $0,5/240 = 2,1 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹. Анализ сценариев развития пожароопасной ситуации в резервуарном парке показал, что взрыв паровоздушного облака возможен с частотой $3,34 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹; пожар-вспышка возможен с частотой $2,09 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹. В случае взрыва максимальное давление в воздушной волне не превысит 28 кПа, то есть человек получит легкие ушибы [8]. При возникновении пожара-вспышки радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания составит 12 м, и внутри данной зоны условная вероятность поражения человека будет равна 1.

На рис. 4 представлено распределение потенциального риска, возникающего от всех подземных резервуаров вместе взятых. Максимальное значение потенциального риска составило $2,48 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹ и отмечается в точках, расположенных вдоль оси резервуарного парка.

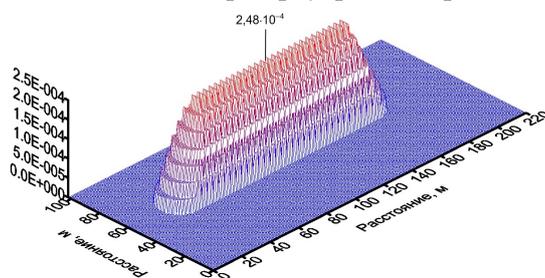


Рис. 4. Распределение потенциального риска, создаваемого резервуарным парком

Результаты прогнозирования последствий сценариев развития пожароопасных ситуаций приведены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты прогнозирования последствий пожароопасных ситуаций на территории нефтебазы для людей

Технологический участок	Частота Q реализации сценария пожароопасных ситуаций и условная вероятность Q_d поражения человека на расстоянии r и менее									Максимальный потенциальный пожарный риск P , год ⁻¹
	взрыв			пожар пролива			пожар-вспышка			
	Q , год ⁻¹	Q_d	r , м	Q , год ⁻¹	Q_d	r , м	Q , год ⁻¹	Q_d	r , м	
Железнодорожная эстакада	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-62}$	10	$5 \cdot 10^{-8}$	1	18	$1,2 \cdot 10^{-8}$	1	75	$3,81 \cdot 10^{-7}$
Пункт налива автоцистерн	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$7,1 \cdot 10^{-63}$	8	$5 \cdot 10^{-7}$	1	14	$1,2 \cdot 10^{-7}$	1	61	$1,89 \cdot 10^{-6}$
Резервуарный парк	$3,34 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-71}$	4	–	–	–	$2,09 \cdot 10^{-6}$	1	12	$2,48 \cdot 10^{-4}$

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что значение потенциального риска, который создается резервуарным парком, примерно в 650 раз превышает значения потенциального риска, создаваемого железнодорожной эстакадой, и примерно в 130 раз превышает значения потенциального риска, создаваемого пунктами налива автоцистерн. Это обусловлено значительным количеством подземных резервуаров, их близким расположением друг к другу, а также сравнительно частым возникновением больших дыханий.

Далее было получено распределение потенциального риска от всего оборудования нефтебазы (железнодорожных цистерн, автоцистерн, подземных резервуаров), и данное распределение оказалось практически идентичным распределению потенциального риска, создаваемого резервуарным парком (см. рис. 4), поскольку опасность других участков нефтебазы визуально не заметна на фоне опасности резервуарного парка. Максимальное значение суммарного потенциального риска на территории нефтебазы составляет $2,48 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$.

Для расчета индивидуального пожарного риска необходимо учесть вероятность присутствия людей на тех или иных участках нефтебазы. Было получено, что на участке железнодорожной эстакады вероятность присутствия людей равна 0,08, на участках пунктов налива автоцистерн – 0,17, на участке резервуарного парка – 0,003, в здании диспетчерской – 1, на остальной территории нефтебазы – 0,02.

Полученное распределение индивидуального пожарного риска на территории нефтебазы представлено на рис. 5. Максимальное значение риска отмечается на пунктах налива автоцистерн и составляет $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$. Данное значение превышает нормативное (10^{-6} год^{-1}). Что касается индивидуального и социального пожарных рисков в зонах присутствия населения, то необходимо учесть, что данные зоны расположены на значительном удалении (1 км) от нефтебазы, где условные вероятности поражения человека равны нулю. В связи с этим в указанных зонах величина индивидуального и социального пожарных рисков также будет равна нулю. Поэтому нефтебаза не обуславливает превышение для данных зон нормативных значений индивидуального и социального пожарных рисков (10^{-8} и 10^{-7} год^{-1} соответственно).

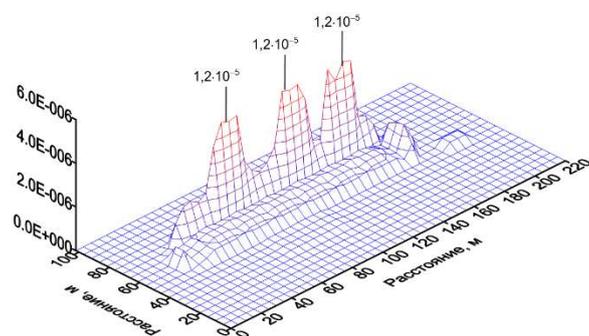


Рис. 5. Распределение индивидуального пожарного риска на территории нефтебазы

Таким образом, было выявлено превышение величины индивидуального пожарного риска только на территории нефтебазы, в связи с чем необходимо предусмотреть защитное мероприятие для минимизации последствий пожаров.

Поскольку наибольший вклад в величину потенциального риска вносят подземные резервуары, то эффективной мерой будет являться их оборудование газовой обвязкой. Благодаря газовой обвязке пары топлива при заполнении резервуаров не смогут выходить в атмосферу, а будут вынуждены перемещаться из одного резервуара в другой (излишки паров будут конденсироваться). Кроме того, газовая обвязка предотвратит потери топлива, что позволит уменьшить ущерб, в том числе экологический. Газовая обвязка должна устанавливаться на подземные резервуары, в которых хранится топливо одного сорта. При этом она должна обеспечивать прохождение паровоздушной смеси при максимальной выкачке или закачке топлива и устранение вакуума при понижении температуры. Для этого в газовую обвязку предлагается включить газокомпенсаторы в виде эластичных резервуаров. Данные газокомпенсаторы могут быть размещены в существующих границах резервуарного парка, непосредственно над подземными резервуарами (рис. 6).



Рис. 6. Эластичные газокompенсаторы, подключенные к газовой обвязке подземных резервуаров

При использовании газовой обвязки подземных резервуаров потенциальный риск для нефтебазы будет формироваться только за счет функционирования железнодорожной эстакады и пунктов налива автоцистерн. Расчеты потенциального риска с учетом защитного мероприятия показали, что его максимальное значение составляет $1,98 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹ и отмечается в районе центрального пункта налива автоцистерн (рис. 7).

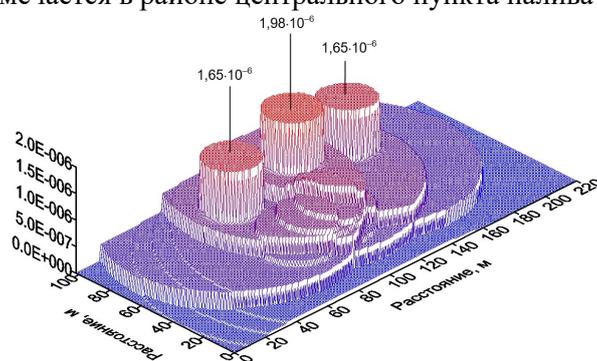


Рис. 7. Распределение потенциального риска с учетом газовой обвязки подземных резервуаров

Расчеты индивидуального пожарного риска с учетом защитного мероприятия показали, что его величина в зоне пунктов налива автоцистерн уменьшилась в 36 раз и составила $3,3 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹ (рис. 8). Максимальное значение индивидуального пожарного риска отмечается в здании диспетчерской и составляет $3,5 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹. Это обусловлено с тем, что в диспетчерской существует опасность поражения взрывной волной, и в ней при этом круглосуточно находятся люди. Как видно, с учетом защитного мероприятия значение индивидуального пожарного риска на территории нефтебазы не превышает нормативное (10^{-6} год⁻¹). Следовательно, на основании ч. 1 статьи 6 [6] пожарная безопасность нефтебазы может считаться обеспеченной.

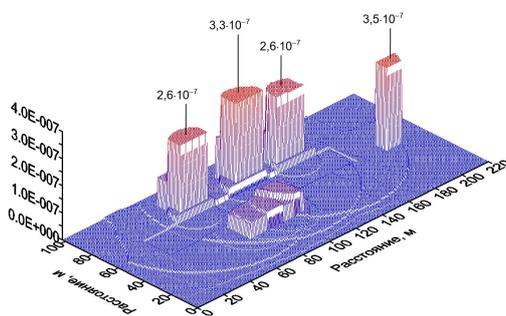


Рис. 8. Распределение индивидуального пожарного риска на территории нефтебазы с учетом газовой обвязки подземных резервуаров

Таким образом, при первоначальной оценке индивидуального пожарного риска на территории нефтебазы было установлено превышение нормативного значения ($1,2 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹). При реализации защитного мероприятия (газовой обвязки подземных резервуаров с применением эластичных газокompенсаторов) величина индивидуального пожарного риска многократно уменьшилась (до $3,5 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹) и не входит

в интервал приемлемых значений (менее 10^{-6} год⁻¹). Иными словами, при реализации защитного мероприятия пожарная безопасность нефтебазы может считаться обеспеченной.

Список источников

1. Дупляков Г.С., Елфимова М.В. Проблемы обеспечения пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов // Техносферная безопасность. – 2019. – № 3 (24). – С. 50-62.
2. 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.
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.
4. СП 131.13330.2020 Строительная климатология СНиП 23-01-99*. Принят Минстроем России 24 декабря 2020. Официальное издание. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2021.
5. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями на 14.12.2010). Приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 // Пожарная безопасность, № 3, 2009.
6. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 30 апреля 2021 года). Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Российская газета, № 163, 01.08.2008.
7. РД 03-357-00 Методические рекомендации по составлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта. Принят Федеральным горным и промышленным надзором России 26 апреля 2000. Официальное издание. – М.: ПИО ОБТ, 2000.
8. Таубкин С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы / С. И. Таубкин. – М., 1999. – 600 с.

Информация об авторах

Р.Г. Шубкин - кандидат технических наук

Information about the author

R.G. Shubkin - Ph.D. of Engineering Sciences

Статья поступила в редакцию 08.09.2022; одобрена после рецензирования 28.09.2022; принята к публикации 29.09.2022.

The article was submitted 08.09.2022, approved after reviewing 28.09.2022, accepted for publication 29.09.2022.