

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТИ ИЗ РЕЗЕРВУАРА С ПОСЛЕДУЮЩИМ ВОСПЛАМЕНЕНИЕМ

А.П. Скворцов

apskvortsov@mail.ru
SPIN-код: 7786-2086

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Статья посвящена актуальной проблеме опасности эксплуатации объектов нефтяного сектора, в частности нефтебазы с расположенными на ее территории нефтяными резервуарами. Оценена возможность аварийного разлива нефти с последующим воспламенением, представляющим большую опасность для окружающей среды, материальных ценностей, живых существ и человека. Рассмотрены статистические данные по произошедшим авариям на объектах нефтяного сектора, в том числе на нефтебазах. Проанализированы основные причины, приводящие к авариям на объектах нефтяного сектора. Рассмотрено, что собой представляют резервуары с нефтью. Построены модели развития возможных аварийных ситуаций и выполнен их расчет. Проведен расчет и оценка индивидуального и социального риска. Построены поля распределения индивидуального риска.

Ключевые слова

Нефть, нефтепродукты, аварийный разлив, оценка опасности, воспламенение, индивидуальный и социальный риск, поле распределения риска

Поступила в редакцию 31.03.2021
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

Актуальность оценки опасности аварийных проливов нефти. Для объектов, которым присуще хранение или обращение нефти, разумеется, также присуща возможность аварийных проливов продукта. Об этом и свидетельствует официальная статистика, приведенная в следующем разделе. Нельзя недооценивать опасность, которую такие объекты несут в случае пролива для окружающей среды, людей и животных, материальных ценностей и, конечно же, ликвидаторов возникшей опасности. Оценка опасности необходима для понимания масштаба негативного влияния на окружающие объекты и среду, а также понимания того, какие факторы могут воздействовать на ликвидаторов, какие средства индивидуальной защиты следует применить.

Таким образом, в актуальности и необходимости оценки опасности аварийных разливов нефти не остается никаких сомнений.

Статистика аварий. Учесть количество разлитой и продолжающей разливаться нефти невозможно, несмотря на кажущийся доскональным контроль государственных органов. Такая ситуация складывается по различным причинам.

Данные, представленные в ежегодных отчетах о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, можно све-

сти в табл. 1 и сформировать статистику аварий в нефтяном секторе, связанных с выходом нефти и нефтепродуктов в окружающую среду [1].

Таблица 1

Статистика аварий в нефтяном секторе, связанных с выходом нефти и нефтепродуктов в окружающую среду

Объект	Число аварий в год				
	2016	2017	2018	2019	2020
Объекты нефтедобычи	6	13	8	12	9
Нефтеперерабатывающие, нефтепродуктообеспечивающие, нефтехимические объекты	7	4	1	3	1
Магистральные нефтепроводы	3	3	2	2	2

Анализ местоположения объекта. Для прогнозирования опасности выбрана нефтебаза, находящаяся в г. Астрахань. Местоположение нефтебазы, отмеченное голубым индикатором на карте (рис. 1), позволяет рассмотреть территорию, которая может подвергаться опасности в случае аварийного пролива нефти.

Воспламенение аварийного пролива нефти может представлять опасность для жилой застройки, зданий общественного и производственного назначения, транспортных сооружений и коммуникаций, растительности, сооружениям связи и т. д.

Чтобы оценить, насколько опасно воспламенение пролива нефти на рассматриваемом объекте для человека, в работе выполнены расчет, оценка и распределение риска, возникающего в связи с аварийным проливом нефти.



Рис. 1. Территориальное расположение нефтебазы

Прогнозирование риска чрезвычайных ситуаций на нефтебазе. При реализации события, инициирующего аварию, появляется опасность его развития по тому или иному пути или сценарию, которые могут привести к возникновению чрезвычайной ситуации. Возможность реализации аварийного сценария и вероятность поражения человека поражающими факторами, характерными для конкретного сценария, определяются значением риска [2, 3].

Чтобы рассмотреть всевозможные аварийные сценарии, следует идентифицировать опасности аварии, т. е. установить наиболее опасное головное событие и последовательность логически следующих за ним событий.

Для оценки риска необходимо определить вероятность реализации сценария и вычислить условную вероятность поражения человека соответствующими конкретному сценарию поражающими факторами. Оценка осуществляется с помощью расчета значений показателей риска для рассматриваемого объекта и сравнения их с нормативными значениями [4]. В работе рассматриваемым объектом является резервуар для хранения нефти, а к показателям риска относятся индивидуальный и социальный риск.

При сравнении значений показателей риска используется понятие концепции приемлемого (допустимого) риска [5]. Она заключается в том, что приемлемым считается риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических соображений. Риск при эксплуатации объекта является приемлемым, если ради выгоды, получаемой от эксплуатации объекта, общество готово пойти на этот риск. Для индивидуального и социального риска устанавливаются следующие нормативные значения [6]:

– индивидуальный риск считается приемлемым в диапазоне значений $10^{-8} \dots 10^{-6}$. При значениях ниже 10^{-8} безопасность считается безусловно выполненной, а при значениях выше 10^{-6} эксплуатация объекта — недопустимой;

– социальный риск считается приемлемым в диапазоне значений от $10^{-7} \dots 10^{-5}$. При значениях ниже 10^{-7} безопасность считается безусловно выполненной, а при значениях выше 10^{-5} эксплуатация объекта — недопустимой [4].

С помощью вычисления риска количественно оценивают опасность для человека, которую несет в себе объект, определяют необходимость принятия мер по снижению риска, улучшения мер по снижению последствий аварий или введения дополнительных, необходимость улучшения или разработки новых планов по локализации и ликвидации аварий.

Сценарии развития аварии на нефтебазе. Вероятность реализации сценария определяют с помощью модели «Дерево событий». Дерево событий — алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного иницирующего аварии события, — используется для анализа сценариев развития аварии, в том числе для расчета вероятности реализации сценариев с характерными им поражающими факторами [7, 8].

Значение вероятности реализации $Q(A_i)$ отдельного сценария A_i рассчитывают путем умножения частоты возникновения иницирующего аварии события $Q_{ав}$ на вероятности событий Q_c , входящих в сценарий:

$$Q(A_i) = Q_{ав} Q_c.$$

При отсутствии статистических данных для расчета вероятностей возникновения событий расчет вероятности реализации различных сценариев осуществляют

путем умножения частоты возникновения инициирующего аварии события $Q_{ав}$ на статистические вероятности различных сценариев развития аварии $Q_{ст}$ [6]:

$$Q(A_i) = Q_{ав} \cdot Q_{ст}. \quad (1)$$

С помощью анализа получившегося дерева событий можно определить пути развития аварии, которые вносят наибольший вклад в значение риска из-за их большей вероятности реализации или потенциально большей опасности для человека.

Эти пути развития будем использовать для дальнейшего расчета поражающих факторов и их условных вероятностей поражения, чтобы оценить индивидуальный и социальный риски.

Очевидно, наиболее опасным инициирующим аварию событием является разгерметизация сосуда и выход пожароопасного вещества наружу. Инициировать воспламенение могут:

- открытый огонь (зажженная спичка, лампа, окурок сигареты, брошенный у хранилищ или у заправочной станции; проведение ремонтных работ с источником открытого огня);
- искра (возникающая при выполнении работ стальным инструментом, из выхлопных труб машин, при эксплуатации неисправного электрооборудования и т. д.);
- разряды статического электричества (вследствие нарушения системы защиты от статического электричества, при возникновении грозových разрядов, молний (при неисправности конструкции молниезащиты)).

Для анализа возможных чрезвычайных ситуаций с точки зрения наибольшего риска в ходе работы приняты некоторые допущения. При расчете вероятности разгерметизации ресиверов статистические данные используют по авариям в целом, как наихудший вариант. Также считают, что на вероятности разгерметизации не отражается диаметр отверстия истечения, а принимают вероятность разгерметизации в общем случае. При расчете параметров поражающих факторов полагают, что происходит единовременная разгерметизация всех ресиверов. Для сценариев, в которых вещество выходит из резервуара, принимают, что вещество выходит мгновенно в полном объеме.

Таким образом, определив головное событие и приняв некоторые допущения, для построения дерева событий и его расчета можно предложить события и сценарии аварии на нефтебазе.

Дерево событий, характерное для возможных сценариев аварий на резервуарах с нефтью, представлено на рис. 2.

Вероятности событий, составляющих сценарии развития аварии:

- $Q_{ав}$ — вероятность аварийной разгерметизации резервуаров;
- $Q_{мг}$ — вероятность мгновенного воспламенения истекающего продукта;
- $Q_{ф}$ — вероятность факельного горения струи истекающего продукта;

Q_c — вероятность сгорания облака паровоздушной смеси насыщенных паров, возможно, с развитием избыточного давления;

Q_3 — вероятность того, что мгновенного воспламенения не произойдет, авария локализована благодаря эффективным мерам по предотвращению пожара либо в связи с рассеянием парового облака (затухание);

Q_p — вероятность того, что произойдет воспламенение пролива, после того как мгновенного воспламенения не произошло (развитие).

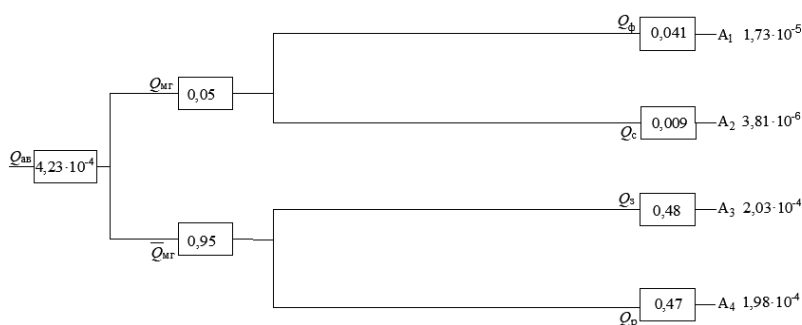


Рис. 2. Дерево событий для аварий на резервуарах с нефтью

Расчет вероятностей реализации сценариев осуществляется путем умножения частоты возникновения инициирующего аварию события $Q_{ав}$ на статистические вероятности различных сценариев развития аварии $Q_{ст}$ по формуле (1).

Расчет $Q_{ав}$ осуществляется с использованием статистических данных об авариях, произошедших за год:

$$Q_{ав} = \frac{N_{ав}}{N_{уст} \cdot T} = \frac{81}{24135 \cdot 5} = 4,23 \cdot 10^{-4},$$

где $N_{ав}$ — общее количество аварий, произошедших за расчетный период; $N_{уст}$ — общее количество опасных производственных объектов нефтяного сектора, в том числе нефтебазы; T — расчетный период, лет, $T = 5$ лет.

Значение $Q_{ст}$ определяется статистическими вероятностями, сведенными в табл. 2.

Таблица 2

Статистические вероятности различных сценариев развития аварии с выбросом метана

Сценарий аварии	Вероятность
Факел	0,041
Сгорание насыщенного облака, сгорание с развитием избыточного давления	0,009
Без горения	0,48
Горение пролива	0,47
<i>Итого</i>	1,00

По формуле (1) рассчитаны вероятности реализации сценариев $A_1 - A_4$, результаты расчета занесены в табл. 3.

Таблица 3

Вероятности реализации сценариев

Номер сценария	Обозначение	Наименование сценария	Вероятность реализации $Q(A_i)$, год ⁻¹
1	A1	Мгновенное воспламенение истекающего продукта с последующим факельным горением	$1,73 \cdot 10^{-5}$
2	A2	Сгорания облака паровоздушной смеси насыщенных паров, возможно, с развитием избыточного давления	$3,81 \cdot 10^{-6}$
3	A3	Мгновенного воспламенения не произошло, авария локализована благодаря эффективным мерам по предотвращению пожара либо в связи с рассеянием паровоздушного облака	$2,03 \cdot 10^{-4}$
4	A4	Воспламенение пролива	$1,98 \cdot 10^{-4}$

В рамках данной работы при аварийном проливе на нефтебазе интерес представляет опасность воспламенения пролива по сценарию A4.

Поражающим фактором при воспламенении аварийного пролива на нефтебазе служит тепловое излучение [4]. В расчете риска принимают участие данные поражающие факторы и сценарии, для которых они характерны. Выбор данных сценариев основан прежде всего на их выборе в нормативных методах, используемых при расчете рисков, и на необходимости реализации задачи проекта. Также ввиду определения наибольшего риска расчет поражающих факторов проводят для тех сценариев, вероятность реализации которых является наибольшей, и сценариев, которым свойственны наиболее масштабные и тяжелые последствия.

Таким образом, для оценки индивидуального и социального риска при возникновении аварийного пролива на нефтебазе рассчитывают условную вероятность поражения человека тепловым излучением при пожаре пролива.

Оценка воздействия поражающих факторов аварийного пролива на нефтебазе. Для расчета поражающих факторов и дальнейшего определения условной вероятности поражения необходимо знать, какое опасное вещество обращается в технологическом процессе, в каком количестве оно находится в емкостном оборудовании (емкостях, резервуарах), а также какое количество вещества участвует в аварии. Помимо того необходимо задать расстояния от места возникновения аварии, для которых будут проводиться расчеты.

Ранее было отмечено, что наиболее опасным поражающим фактором аварийного пролива является тепловое излучение, образующееся в результате горения пролива. Таким образом, расчет параметров поражающих факторов и последующий расчет рисков будут осуществляться для данного фактора.

Исходные данные для расчета:

$n = 2$ шт. — количество резервуаров; $v = 5000 \text{ м}^3$ — объем одного резервуара; $V = 10000 \text{ м}^3$ — полный объем; $r = 9$ м — шаг задаваемых расстояний от эпицентра возникновения поражающего фактора (резервуаров) до расчетной точки.

Расчет площади пролитой нефти:

$$S = V \beta = 10000 \cdot 5 = 50000 \text{ м}^2,$$

где β — поправочный коэффициент разлива, для неизвестной поверхности принимают $\beta = 5$ [2].

Расчет значений пробит-функции и соответствующие им значения условных вероятностей поражения. Расчет условных вероятностей поражения Q_n^i с помощью пробит-функции Pr осуществляется по формулам, предназначенным для соответствующего поражающего фактора [9].

Вычисленные значения пробит-функции и соответствующие им значения условных вероятностей поражения представлены ниже:

$r, \text{ м}$	126	135	144	153	162	171	180
Pr	7,2	5,73	4,9	4,2	3,6	3,07	2,61
$Q_n^p, \%$	100	77	47	22	9	3	0

Изменение условной вероятности поражения человека Q_n^i с расстоянием r от эпицентра возникновения поражающего фактора удобно наглядно выражать графической зависимостью $Q_n^i = f(r)$. Изменение условной вероятности поражения при образовании горения пролива нефти Q_n^p представлено на рис. 3.

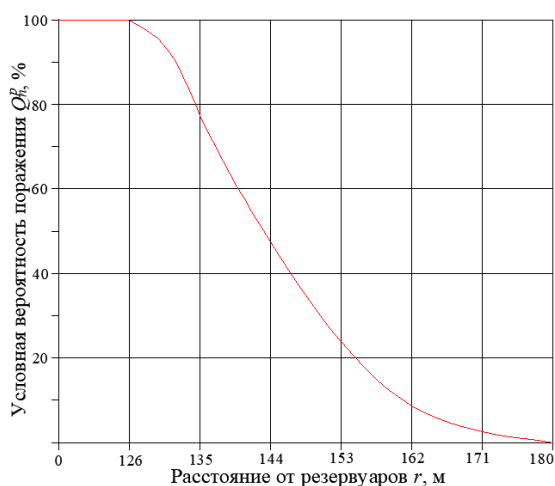


Рис. 3. Зависимость условной вероятности поражения от расстояния от пролива

Расчет индивидуального и социального риска при горении пролива нефти. Для расчета риска поражения человека тепловым излучением пролива нефти необходимо знать рассчитанные вероятности реализации сценариев и рассчитанные условные вероятности поражения, соответствующие им. Также для расчета социального риска необходимы следующие данные:

– число сотрудников из рабочего штата на нефтебазе 15 чел., режим работы трехсменный (т. е. за смену постоянно пребывает 5 чел.), территория нефтебазы ограничена радиусом 50 м, геометрический центр пролива нефти из резервуаров — точка между резервуарами с нефтью;

– плотность населения в зоне, ограниченной радиусом 200 м, равна 200 чел/км².

Индивидуальный риск R , г⁻¹, определяют следующим образом. На карте местности вокруг резервуаров строят зоны поражения с шагом радиуса 9 м и для каждой зоны определяют средние по зонам условные вероятности поражения человека $Q_n^{i,j}$ (i – номер сценария, j — номер зоны). Количество рассматриваемых зон поражения (k) выбирают из тех соображений, что крайней является та зона j , в которой поражающий фактор не представляет опасности, т. е. условная вероятность поражения $Q_n^{i,j} = 0.10^{-2}$ год⁻¹.

Вычисляют индивидуальный риск R_j в j -й зоне для n сценариев.

$$R_j = \sum_{i=1}^n Q_n^{i,j} Q(A_i), \quad (2)$$

где $Q_n^{i,j}$ — условная вероятность поражения человека при реализации i -го сценария в j -й зоне; $Q(A_i)$ — вероятность реализации в течение года i -го сценария, год⁻¹; n — количество сценариев.

Социальный риск находят следующим образом. На карте местности вокруг резервуара строятся зоны поражения с шагом радиуса 9 м и для каждой зоны определяют:

– средние по зонам условные вероятности поражения человека $Q_n^{i,j}$ (i — номер сценария, j — номер зоны);

– среднее число людей n_j , постоянно находящихся в j -й зоне.

Количество рассматриваемых зон поражения k выбирают из тех соображений, что крайней является та зона j , в которой поражающий фактор не представляет опасности, т. е. условная вероятность поражения $Q_n^{i,j} = 0.10^{-2}$ год⁻¹.

Вычисляют ожидаемое число N_i людей, погибших при реализации i -го сценария:

$$N_i = \sum_{j=1}^k Q_n^{i,j} \cdot n_j. \quad (3)$$

Рассчитывают социальный риск:

$$S = \sum_{i=1}^m Q(A_i), \quad (4)$$

где m — число сценариев $Q(A_i)$, для которых $N_i \geq 10$.

Расчет индивидуального риска осуществляется с помощью данных, сведенных в табл. 5 и приведенных для расчета индивидуального риска методику и формулу (2). Посчитанные значения индивидуального риска на нефтебазе также заносят в табл. 5.

Таблица 4

Индивидуальный риск при воспламенении пролива

Номер зоны	Расстояние от резервуаров, м	Вероятность реализации сценария	Условная вероятность поражения человека	Индивидуальный риск R_j , год ⁻¹
		$Q(A_i)$, год ⁻¹	$Q_n^{p..j}$, %	
1	100	$1,98 \cdot 10^{-4}$	100	$1,98 \cdot 10^{-4}$
2	126		100	$1,98 \cdot 10^{-4}$
3	135		77	$1,52 \cdot 10^{-4}$
4	144		47	$9,31 \cdot 10^{-5}$
5	153		22	$4,36 \cdot 10^{-5}$
6	162		9	$1,78 \cdot 10^{-5}$
7	171		3	$5,94 \cdot 10^{-6}$
8	180		0	0

Изменение значений индивидуального риска R_j по зонам удобно наглядно представить графически в виде полей распределения индивидуального риска на карте местности, представляющей территорию нефтебазы и прилегающую к ней территорию. Поля распределения индивидуального риска показаны на рис. 4.



Рис. 4. Поля распределения индивидуального риска для нефтебазы

Расчет ожидаемого количества погибших людей также осуществляется на основе данных, сведенных в табл. 5, методики для расчета ожидаемого количества погибших и формулы (3). Рассчитанное для каждой зоне количество также заносят в табл. 5.

Таблица 5

Ожидаемое количество людей, погибших при воспламенении пролива

Номер зоны	Расстояние от блока ресиверов, м	Условная вероятность поражения человека	Число человек в зоне	Ожидаемое количество погибших людей
		$Q_n^{4,j}$, %		$N_{4,j}$
1	50	100	5	5
2	100	100	5	5
3	126	100	4	4
4	135	77	2	2
5	144	47	2	1
6	153	22	2	1
7	162	9	2	1
8	171	3	2	1
9	180	0	2	0

Используя результаты расчета ожидаемого количества погибших людей, занесенные в табл. 5, рассчитывают суммарное ожидаемое количество погибших:

$$N_p = \sum_{j=1}^k N_{p,j} = 5 + 5 + 4 + 2 + 1 + 1 + 1 + 1 + 0 = 20 > 10.$$

Ожидаемое количество погибших людей превышает 10 человек, поэтому, используя формулу (4), рассчитываем социальный риск:

$$S = \sum_{i=1}^m Q(A_i) = Q(A_p) = 1,98 \cdot 10^{-4}.$$

Оценка риска. Для рассматриваемой нефтебазы *индивидуальный риск* считается недопустимым в зоне, ограниченной радиусом 171 м, и имеет значение $5,94 \cdot 10^{-6}$. Далее до зоны, ограниченной радиусом 180 м, риск приемлемый и снижается до значения нулевого риска. При дальнейшем удалении от объекта любое значение риска, представляемого возможным воспламенением аварийного разлива, допустимо для человека. Эксплуатация нефтебазы является безопасной для людей, находящихся на таком удалении от объекта.

Значение *социального риска* составляет $1,98 \cdot 10^{-4}$, что превышает нормативное значение допустимого социального риска 10^{-5} . Это свидетельствует о необходимости проведения мероприятий по снижению риска для возможности эксплуатации объекта.

Закключение. Оценена опасность эксплуатации нефтебазы с возможным случаем аварийного разлива нефти из резервуаров с последующим воспламене-

нием. Рассмотрено понятие аварийных разливов нефти, какие опасность в себе несут такие разливы. Также в общем представлении рассмотрено, что собой представляют резервуары с нефтью.

На основе анализа ежегодных статистических данных, необходимых для расчета риска, по произошедшим авариям на объектах нефтяного сектора, в том числе нефтебаз, рассмотрены основные причины, приводящие к возникновению аварий и чрезвычайных ситуаций.

Построена модель развития возможных аварийных ситуаций с последующим ее расчетом, а также выполнены расчет и оценка индивидуального и социального риска. Построены поля распределения индивидуального риска.

Литература

- [1] Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. *gosnadzor.ru: веб-сайт*. URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports (дата обращения: 15.02.2021).
- [2] Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
- [3] ГОСТ 31385-2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. М., Стандартинформ, 2016.
- [4] Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 N 404 (ред. от 14.12.2010) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
- [5] Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела. Уфа, Дизайн Полиграф Сервис, 2002.
- [6] Галеев А.Д., Поникаров С.И. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах. Казань, Изд-во КНИТУ, 2017.
- [7] Корчагин А.Б., Сердюк В.С., Бокарев А.И. Надежность технических систем и техногенный риск. Ч. 2. Практикум. Омск, Изд-во ОмГТУ, 2011.
- [8] ГОСТ Р 12.3.047-2012. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. М., Стандартинформ, 2014.
- [9] Приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 N 144 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».

Скворцов Андрей Павлович — студент кафедры «Экология и промышленная безопасность», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Таранов Роман Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Скворцов А.П. Оценка опасности аварийного разлива нефти из резервуара с последующим воспламенением. *Политехнический молодежный журнал*, 2021, № 04(57). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-04-690>

HAZARD ASSESSMENT OF AN ACCIDENTAL OIL SPILL FROM A TANK WITH SUBSEQUENT IGNITION

A.P. Skvortsov

apskvortsov@mail.ru
SPIN-code: 7786-2086

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article is devoted to the urgent problem of the operation hazard of oil sector facilities, in particular, a tank farm with oil reservoirs located on its territory. The authors assessed the possibility of an accidental oil spill with subsequent ignition, which poses a great danger to the environment, material values, living beings and humans. The statistical data on the accidents that occurred at the oil sector facilities, including at oil depots, are considered. The main reasons leading to accidents at the oil sector facilities are analyzed. The paper provides a description of oil reservoirs. Models of the development of possible emergency situations have been built and their calculation has been performed. The calculation and assessment of individual and social risk was carried out. Fields of individual risk distribution are constructed.

Keywords

Oil, oil products, accidental spill, hazard assessment, ignition, individual and social risk, risk distribution field

Received 31.03.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

References

- [1] Ezhegodnye otchety o deyatel'nosti Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru [Annual reports on activity of Federal Environmental Industrial and Nuclear Supervision service of Russia]. *gosnadzor.ru: website* (in Russ.). URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports (accessed: 15.02.2021).
- [2] Federal'nyy zakon ot 22.07.2008 N 123-FZ (red. ot 29.07.2017) "Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti" [Federal law of 22.07.2008 N 123-FZ (ed. of 29.07.2017) "Technical regulation "General requirements to fire safety""] (in Russ.).
- [3] GOST 31385-2016. Rezervuary vertikal'nye tsilindricheskie stal'nye dlya nefi i nefteproduktov [State standard 31385-2016. Vertical cylindrical steel tanks for oil and oil-products. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2016 (in Russ.).
- [4] Prikaz MChS RF ot 10.07.2009 N 404 (red. ot 14.12.2010) "Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob"ektakh" [Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation decree of 10.07.2009 N 404 (ed. of 14.12.2010) "Procedure for determination of fire risk design values at production facilities"] (in Russ.).
- [5] Korshak A.A., Shammazov A.M. Osnovy neftegazovogo dela [Fundamentals of oil and gas recovery]. Ufa, Dizayn Poligraf Servis Publ., 2002 (in Russ.).
- [6] Galeev A.D., Ponikarov S.I. Analiz riska avariyy na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh [Analysis of system accident risk at hazardous facilities]. Kazan', Izd-vo KNI-TU Publ., 2017 (in Russ.).

- [7] Korchagin A.B, Serdyuk V.S., Bokarev A.I. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyy risk. Ch. 2. Praktikum [Reliability of technical systems and technology-related risk. P. 2. Case study]. Omsk, Izd-vo OmGTU Publ., 2011 (in Russ.).
- [8] GOST R 12.3.047-2012. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh protsessov. Obshchie trebovaniya. Metody kontrolya [State standard R 12.3.047-2012. Occupational safety standards system. Fire safety of technological processes. General requirements. Methods of control]. Moscow, Standartinform Publ., 2014 (in Russ.).
- [9] Prikaz Rostekhnadzora ot 11.04.2016 N 144 "Ob utverzhdenii Rukovodstva po bezopasnosti "Metodicheskie osnovy po provedeniyu analiza opasnostey i otsenki riska avariyn na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh" [Rostekhnadzor decree of 11.04.2016 N 144 "On approval of safety guides "Basic procedures for hazard analysis and risk assessment at hazardous facilities"] (in Russ.).

Skvortsov A.P. — Student, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Taranov R.A., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Skvortsov A.P. Hazard assessment of an accidental oil spill from a tank with subsequent ignition. *Politekhnichestkiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2021, no. 04(57). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-04-690.html> (in Russ.).