

УДК614.841.3

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ РЕЗЕРВУАРАМИ НА СКЛАДАХ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Сатюков Р.С., Хафизов И.Ф., Контобойцев Е.А.

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет

ФГБОУ ВПО Уральский институт ГПС МЧС России

e-mail: satyukovr@yandex.ru

Аннотация. Выполнение требований нормативных документов по пожарной безопасности в части размещения резервуаров на складах нефти и нефтепродуктов не всегда обеспечивают предотвращение распространения пожара с одного резервуара на другой. Нормативный подход к выбору безопасных расстояний между резервуарами в группе не учитывает весь спектр условий, оказывающих влияние на характер горения нефтепродукта и возможность распространения пожара с горящего резервуара на соседние с ним. На основе анализа влияния природно-климатических условий местности предложен метод определения расстояний между резервуарами в группе и продемонстрирована эффективность предлагаемого подхода.

Ключевые слова: склад нефтепродуктов, противопожарные расстояния, распространение пожара.

Растущая мировая потребность в углеводородном сырье, а так же социально-экономическая ситуация в нашей стране, заставляют нефтегазовую отрасль оставаться определяющей, в структуре экономики государства. Увеличение спроса на нефть и продукты её переработки, приводит к появлению новых и укрупнению существующих нефтебаз и складов нефтепродуктов. Благодаря совершенствованию систем противопожарной защиты и ужесточение требований пожарной безопасности, отмечается тенденция к снижению общего числа пожаров на данной категории объектов (рисунок 1). Вместе с тем, последствия от пожаров на них, остаются одними из самых тяжелых. Средний материальный ущерб от одного пожара на складе нефти и нефтепродуктов, равен материальному ущербу приблизительно 57 пожаров, происходящих в других отраслях, несвязанных с рассматриваемой категорией объектов. Ущерб только от четырех пожаров, произошедших за 2011 год на объектах ОАО "Газпром нефть" составил 106856 тысяч рублей [1].

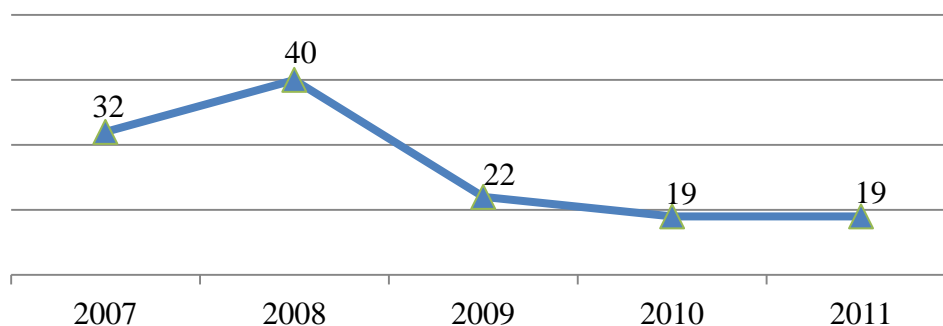


Рисунок 1. Статистические данные по распределению числа пожаров на объектах хранения нефтепродуктов

По степени развития, пожары на складах нефти и нефтепродуктов, подразделяются на три группы [2].

К первой, относятся пожары, возникновение и развитие которых протекает в пределах одного резервуара, что характерно для 78 % зарегистрированных пожаров.

Ко второй – пожары, при которых происходит распространение горения с одного резервуара на соседние, расположенные в пределах резервуарной группы. На долю таких пожаров приходится до 15 % от всего числа пожаров.

Развитие пожаров третьей группы сопряжено с разрушением смежных резервуаров, распространением огня на здания и сооружения, расположенные на территории предприятия и за его пределами, а также поражением опасными факторами пожара персонала предприятия и населения близлежащих районов. Развитие такого варианта пожара отмечено в 6% случаях.

В соответствии с «Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности», понятие «пожарная безопасность объекта защиты» подразумевает состояние объекта, характеризующее в первую очередь возможностью предотвращения возникновения и развития пожара[3].

Шестая статья технического регламента, в редакции Федерального Закона N 117-ФЗ от 10 июля 2012 года, гласит:

«Пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной при выполнении одного из следующих условий:

1) в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом "О техническом регулировании", и пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных настоящим Федеральным законом;

2) в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом "О техническом регулировании", и нормативными документами по пожарной безопасности».

В соответствии со статьей 4, того же Федерального Закона [3], к нормативным документам по пожарной безопасности относятся в том числе национальные стандарты и своды правил, содержащие требования пожарной безопасности. Выполнение полного комплекса мероприятий, изложенных в этих документах, подразумевает безусловное обеспечение требуемого уровня пожарной безопасности объекта защиты и не требует подтверждения путем определения расчетных величин пожарного риска.

Мероприятия, направленные на предупреждение распространения пожаров в резервуарном парке изложены в Своде правил СП 4.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» [4].

К числу технических решений, позволяющих снизить опасность распространения пожара с горящего резервуара на соседние с ним, относится обеспечение минимальных расстояний между стенками резервуаров, располагаемых в одной группе, которые следует принимать в соответствии с таблицей 1.

Представленные в СП[4] требования, не являются предлагаемыми вновь, и ранее были изложены в СНиП 2.11.03-93 «Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы» [5].

Таблица 1. Требования к минимальным расстояниям между резервуарами в группе

Резервуары	Единичный номинальный объем резервуаров, устанавливаемых в группе, м ³	Вид хранимых нефти и нефтепродуктов	Минимальное расстояние между резервуарами, располагаемыми в одной группе
1. С плавающей крышей	50 000 и более	Независимо от вида жидкости	30 метров
	Менее 50 000	То же	0,5Д, но не более 30 метров
2. С понтоном	50 000	То же	30м
	Менее 50 000	То же	0,65Д, но не более 30 метров
3. Со стационарной крышей	50 000 и менее	Нефть и нефтепродукты с температурой вспышки выше 45°С	0,75Д, но не более 30 метров
	50 000 и менее	То же, с температурой вспышки 45°С и ниже	0,75Д, но не более 30 метров

Как видно из таблицы 1, выбор расстояний осуществляется исходя из типа резервуара и его номинального объема. Вид хранимого нефтепродукта, его

показатели пожарной опасности не оказывают влияние на значение минимально допустимого расстояния.

Данный подход к предотвращению распространения пожаров в группе является достаточно спорным. Опыт пожаров показал, что соблюдение нормативных расстояний между резервуарами не исключает возможности каскадного развития пожара и в недостаточной степени обеспечивает пожарную безопасность объекта защиты.

Помимо геометрических характеристик резервуаров на характер горения оказывают влияние массовая скорость выгорания нефтепродукта $m_{\text{выг}}$ которая составляет для бензина $0,06 \text{ кг}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$, а для дизельного топлива $0,04 \text{ кг}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$. Для различных нефтепродуктов, с увеличением теплоты сгорания массовая скорость горения уменьшается.

Параметры факела пламени над поверхностью резервуара при горении различных нефтепродуктов значительно отличаются, для бензина она составляет около 1,5 диаметров резервуара d_p , а для дизельного топлива не превышает диаметра резервуара. [6].

Существенное влияние на процесс горения нефтепродуктов оказывает обдув свободной поверхности параллельным ей потоком воздуха. На основе теоретических исследований и результатов экспериментов было установлено, что увеличение скорости обдува приводит к уменьшению высоты факела и его отклонению от вертикали на угол θ , а скорость выгорания нефтепродукта в резервуаре увеличивается за счет интенсификации процесса смешивания горючего и окислителя, повышения температуры пламени и уменьшения расстояния от пламени до поверхности нефтепродукта [2, 8].

На условия распространения пожара так же влияют температурные условия хранения нефтепродукта, а так же показатели его пожарной опасности, в частности температура самовоспламенения и концентрационные пределы распространения пламени.

Как было ранее установлено, опасность распространения пожара в группе в значительной степени обуславливается природно-климатическими условиями местности, к числу которых относятся температура окружающего воздуха, направление и скорость ветра. Исследования зависимости вероятности распространения пожара от вышеуказанных факторов показали, что опасность такого развития пожара зависит от повторяемости направлений ветра и неодинакова по различным направлениям (рисунок 2)

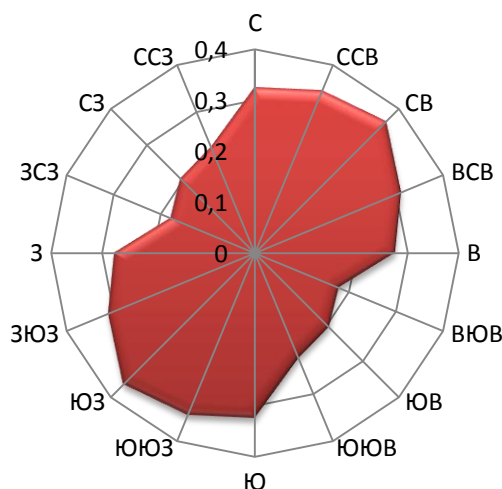


Рисунок 2. Пример зоны потенциальной опасности распространения пожара на смежный резервуар

Наиболее эффективным, является размещение резервуаров вдоль оси характеризующейся наименьшей вероятностью распространения пожара.

Однако, при большом количестве резервуаров в группе, однорядное их размещение зачастую не целесообразно. В связи с чем, актуальным является использование дифференцированного подхода к выбору расстояний между резервуарами в группе, при котором вероятность распространения пожара по любому из направлений будет одинаковой и составлять минимальную величину.

Зависимость безопасных расстояний между резервуарами $L_{без}$ от потенциальной опасности распространения, может быть представлена, как:

$$L_{без} = L_{min} \cdot \frac{Q_{распр} - Q_{распр}^{min}}{Q_{распр}^{max} - Q_{распр}^{min}} + L_{min} \quad (1)$$

где: L_{min} – минимальное нормативно допустимое расстояние между резервуарами, м;

$Q_{распр}$ – вероятность распространения пожара вдоль оси;

$Q_{распр}^{min}$ – минимальная вероятность распространения пожара вдоль по всем направлениям;

$Q_{распр}^{max}$ – максимальная вероятность распространения пожара вдоль по всем направлениям;

Для удобства размещения резервуаров на плане необходимо построить эпилуру (рисунок 3), центром которой является предполагаемый центр резервуара, а вдоль осей, соответствующих направлениям географических широт откладываются отрезки, длиной l равной:

$$l = L_{без} + \frac{d_{p-ра}}{2} \quad (2)$$

где: $d_{p-ра}$ – диаметр резервуара, м.

Для определения условий безопасного размещения резервуаров в группе, в качестве предпосылки принято, что абсолютная величина вероятности распространения пожара на соседний резервуар, при реализации любого из комплекса внешних условий (температура + скорость ветра) не превышает верхней допустимой границы для редких условий и удовлетворяет выражению (3).

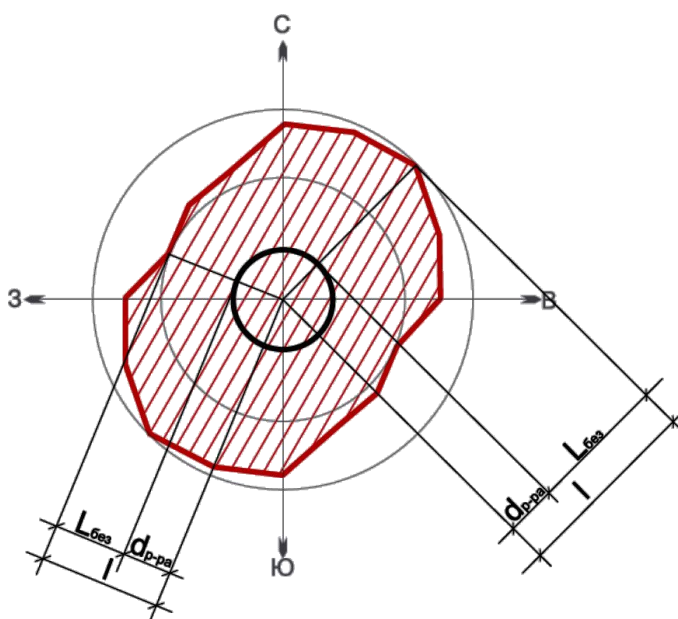


Рисунок 3. Эпюра границ безопасного расстояния между резервуарами

$$Q_u \cdot Q_{t_{кпу}} \cdot Q_{пожар} \leq 10^{-6} \quad (3)$$

где: Q_u – повторяемость значений скорости ветра, в направлениях возможного распространения пожара, входящих в секторе $\pm 45^\circ$.

$Q_{t_{кпу}}$ – условная вероятность соответствия значений температуры параметрам, при которых выполняется условие $q_{ф} \geq q_{кр}$.

$Q_{пожар}$ – частота возникновения пожара по всей поверхности резервуара (статистические данные), год⁻¹.

10^{-6} – верхняя допустимая граница для редких событий, год⁻¹;

Под значением $q_{ф}$ понимается интенсивность теплового излучения от факела пламени над поверхностью горящего резервуара при заданной скорости ветра на расстоянии l м, $q_{кр}$ – минимальная интенсивность падающего теплового

потока на негорящий резервуар, при которой возможен прогрев одного из элементов конструкции до температуры самовоспламенения паров нефтепродукта. При определении значения $q_{кр}$ используются интервалы значений температуры окружающего воздуха, при которых наблюдается реализация ветра заданной скорости, для чего используются данные о повторяемости сочетаний температуры воздуха и скорости ветра в районе расположения объекта. Поскольку значение вероятности $Q_{пожар}$ определяется по статистическим данным и равняется $9,0 \cdot 10^{-5}$, а значение Q_u зависит только от внешних условий и определяется путем обработки результатов климатических наблюдений, неизвестной величиной, характеризующей опасность распространения пожара является $Q_{t_{кпу}}$ при которой обеспечивается условие $q_{ф} \geq q_{кр}$. При этом должно обеспечиваться выполнение условия:

$$Q_{t_{кпу}} \leq \frac{10^{-6}}{Q_u \cdot Q_{пожар}} \leq \frac{10^{-6}}{Q_u \cdot 9,0 \cdot 10^{-5}} \leq \frac{0,011}{Q_u} \quad (4)$$

Общая зависимость вероятности распространения пожара на смежный резервуар при различных скоростях ветра n представлена в виде системы:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum Q_{u=n} \cdot Q_{t_{кпу}=n} \leq 0,011 \\ 0 \leq Q_{t_{кпу}=n} \leq 1 \\ Q_{t_{кпу}=n} \leq \frac{0,011}{Q_{u=n}} \\ Q_{t_{кпу}=n} \leq Q_{t_{кпу}=n+1} \end{array} \right. \quad (5)$$

Для решения данной системы уравнений необходимо определение зависимости $Q_{t_{кпу}} = f(u)$, которая в каждом случае будет уникальной, поскольку характеризует климатические условия конкретной местности.

Проведенные исследования показали, что основной величиной, определяющей безопасное расстояние между резервуарами в группе, является вероятность реализации ветра, с той или иной скоростью.

Для определения безопасного варианта размещения резервуаров в группе, предлагается использование расчетной скорости ветра $u_{расч.}$, при которой обеспечивается минимальное значение $Q_{распр.} > 0$.

$$u_i = u_{расч.} \text{ если } Q_{u_i} \cdot (u_i^2 + 1) \cdot (u_i + 1) \cdot u_i = \max \quad (6)$$

где: Q_{u_i} – повторяемость значений скорости ветра в заданном направлении;
 u_i – скорость ветра, м/с

Изучение зависимости величины безопасного расстояния от резервуара от расчетной скорости ветра показало, что изменение значения l , пропорционально натуральному логарифму скорости ветра (рисунок 4).

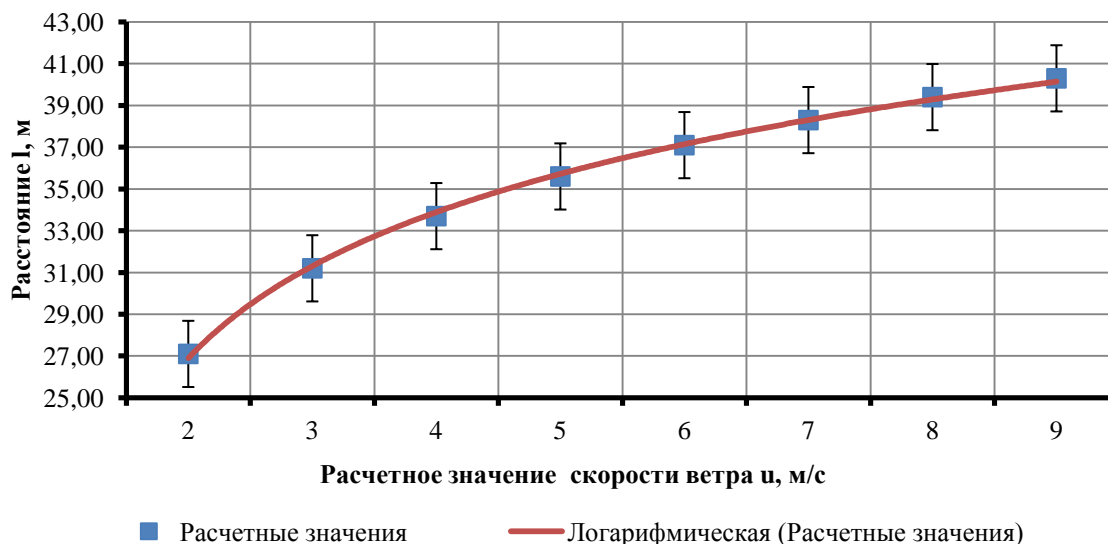


Рисунок 4. Зависимость расстояния l от расчетной скорости ветра

Из вышеизложенного следует, что для определения схемы размещения резервуаров в группе, достаточно расчетным путем определить наименьшие расстояния l по направлениям, характеризующимся минимальными и максимальными значениями $u_{расч.}$, на которых обеспечивается условия $q_{ф} \geq q_{кр}$ при наибольшем значении t_f характерном для заданной скорости ветра.

Значения l по иным направлениям могут быть определены пропорционально величине $u_{расч.}$ по выражению:

$$l_i = l_{min} + \frac{\ln\left(\frac{u_{расч.i}}{u_{расч.min}}\right)}{\ln\left(\frac{u_{расч.max}}{u_{расч.min}}\right)} \cdot (l_{max} - l_{min}) \quad (7)$$

где: l_{min} и l_{max} – расстояния, соответствующие минимальному и максимальному значениям $u_{расч.}$ соответственно, м.

Полученные расчетные значения l используются для построения эпюры границ безопасного расстояния между резервуарами (рисунок 5).

Результаты, оценки вероятности распространения пожара в группе резервуаров при использовании предложенного метода и выполнении требований нормативных документов по пожарной безопасности представлены на рисунке 6.

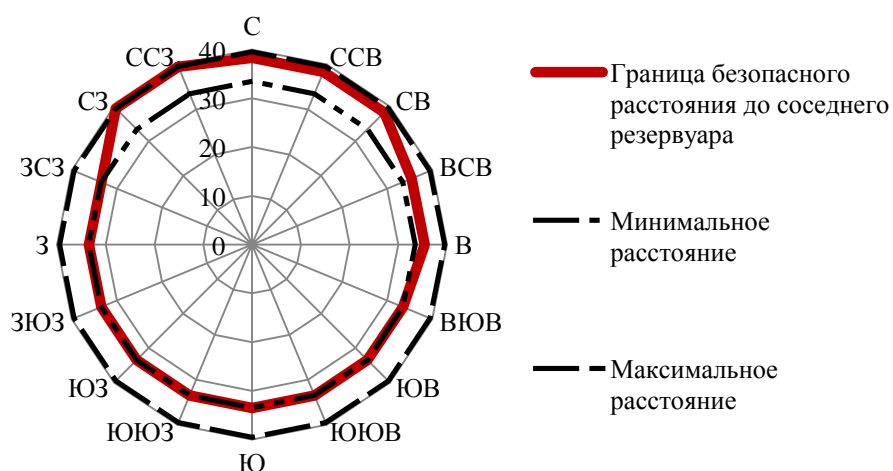


Рисунок 5. Границы безопасного расстояния от центра резервуара до стенки соседнего

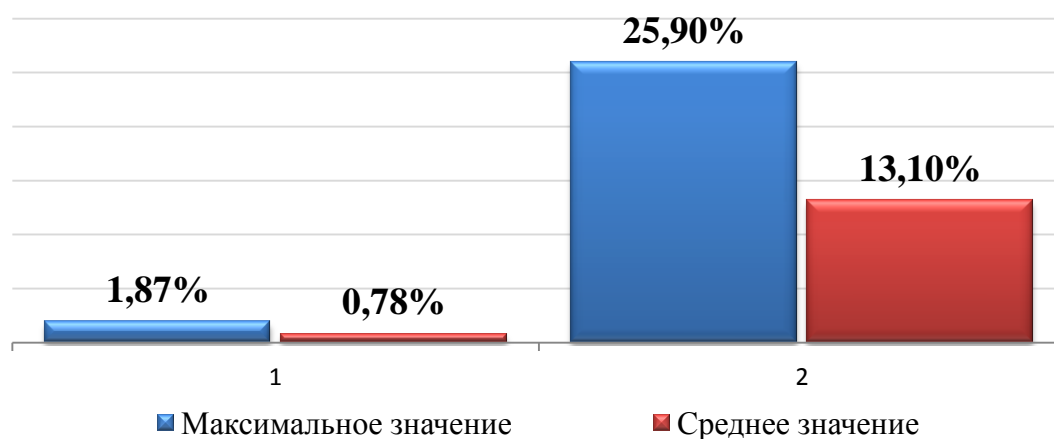


Рисунок 6. Сравнительная диаграмма оценки вероятности распространения пожара в группе резервуаров

1 – предполагаемый вариант размещения

2 – фактическое размещение, соответствующее нормативным требованиям

Вывод

Предлагаемый подход к выбору расстояний между резервуарами в группе, позволяет более полно учесть совокупность факторов, влияющих на характер опасность распространения пожара между резервуарами в группе. Сравнительная оценка эффективности его реализации показывает, что использование дифференцированных расстояний между резервуарами в группе, позволяет значительно снизить вероятность каскадного развития пожара при сохранении оптимальной площади размещения.

Литература

1. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году: стат.сб./ ВНИИПО; Под общей ред. В.И. Климкина. М., 2012. 137 с.
2. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. М.: ВНИИПО, 1999. 45 с.
3. Сучков В.П. Пособие по применению методов оценки пожарной опасности технологических систем, используемых при анализе пожарных рисков. М.: Академия ГПС, 2009. 156 с.
4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Новосибирск: изд-во Сиб. ун-та, 2008. 144 с.
5. СП 4.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям». М.: ВНИИПО, 2009. 84 с.
6. СНиП 2.11.03-93«Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы». М.: Госстрой, 1993. 32 с.
7. Абдурагимов И.М. Критериальное выражение условий, необходимых и достаточных для прекращения процесса диффузионного горения газообразных, жидких и твердых углеводородных горючих// Всесоюз. симпоз. по горению и взрыву: докл. АН СССР. Алма-Ата: КазГУ, 1980.-15 с.
8. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Влияние пожара на резервуар с нефтепродуктом // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. Харьков, 2005. Вып. 29. С. 131-133.

DIFFERENTIATED APPROACH TO THE DETERMINATION OF DISTANCES BETWEEN THE TANK IN STOCK OIL

R.S. Satyukov, I.F. Khafizov, E.A. Kontoboytsev
FSBEI Ufa state petroleum technical university
FSBEI Ural Institute of State Fire Service of Russian Emergencies Ministry
e-mail: satyukovr@yandex.ru

Abstract. Meet regulations on fire safety of placing in storage tanks of petroleum and petroleum products do not always ensure the prevention of the spread of fire from one tank to another. Regulatory approach to the selection of safe distances between tanks in the group does not include the full range of conditions that affect the burning behavior of the oil and the possibility of the spread of fire from the burning vessel to its adjacent. Based on the analysis of the influence of climatic conditions of the area proposed method of determining the distance between the tanks in the group and demonstrated the effectiveness of the proposed approach.

Keywords: storage of petroleum products, fire-distance spread of the fire.

References

1. Fires and fire safety in 2011: Statistical Yearbook. Under the general editorship of VI Klimkina. M.: Fire Prevention, 2012. 137 p.
2. Guide to extinguish oil and oil tanks and tank farms. M.: Fire Prevention, 1999. 45 p.
3. VP knots Manual for the use of methods to assess fire risk technological systems used in the analysis of fire risks. Moscow: Academy of GPS, 2009. 156 p.
4. Technical regulations for fire safety requirements. Novosibirsk: Sib. Univ. Publishers, 2008. 144 p.
5. SP 4.13130.2009 "Fire protection systems. Limit the spread of fire protection facilities. Requirements for space planning and design solutions". M.: Fire Prevention, 2009. 84 p.
6. SNIP 2.11.03-93 "Warehouses of oil and petroleum fire norms." Moscow: Ministry of Construction, 1993. 32 p.
7. Abduragimov I.M. Dimensionless expression of the conditions necessary and sufficient to halt the diffusion combustion of gaseous, liquid and solid hydrocarbon fuels. Dokl. VI at Union Symposium on Combustion and Explosion of the USSR. - Alma-Ata: Kazakh State University, 1980.15.p.

8. Abramov Y.A., Basmanov A.E. The influence of fire on the tanks with oil // Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University. Sat scientific papers. Kharkov, 2005. Issue. 29. P. 131-133.

Сведения об авторах

Сатюков Р.С., аспирант ФГБОУ ВПО УГНТУ, старший преподаватель кафедры ПБТП Уральского института ГПС МЧС России

R. S. Satyukov, postgraduate student of the Ufa state petroleum technical university, senior lecturer of the PBTP department of the Ural Institute of Russian Ministry for Emergency Situations

Хафизов И. Ф., кандидат техн. наук, доцент кафедры ППБ ФГБОУ ВПО УГНТУ
I. F. Khafizov, cand. tech. sci., lecturer of PPB Department of the Ufa state petroleum technical university

Контобойцев Е.А., канд. пед. наук, доцент, начальник кафедры ПБТП Уральского института ГПС МЧС России

E.A. Kontoboytsev, cand. ped. sci., Associate Professor, Head of the PBTP Department of the Ural Institute of Russian Ministry for Emergency Situations