

Научная статья
УДК 614.842
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.77.34.008

Анализ влияния интенсивного теплового потока, выделяемого в группе резервуаров в резервуарном парке

Павел Олегович Михайлин^{1,2}
Михаил Михайлович Данилов³

¹Главное управление пожарной охраны МЧС России, Москва, Россия

²МГУТУ им. К.Г. Разумовского, Москва, Россия

³Академия ГПС МЧС России, Москва, Россия

Автор ответственный за переписку: Павел Олегович Михайлин, mp9645606813@ya.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы пожарной безопасности при принятии управленческих решений на пожаре выражающиеся в виде опорных действий по тушению пожара. Дана количественная оценка основным показателям, влияющим на каскадное развитие пожаров, а также расчетным способом определена зависимость уровня разлива горючей жидкости в резервуаре на выделяемую теплоту от пожара и рассчитаны показатели определяющие сухую стенку резервуара как источника возникновения пожара. Также в статье приведен анализ условий влияющих на принятие опорных действий по тушению пожаров, руководителем тушения пожаров, при управлении силами и средствами подразделений пожарной охраны.

Ключевые слова: опорные действия при тушении пожаров, резервуар, тепловой поток, распространение пожара, управление силами и средствами

Для цитирования: Михайлин П.О., Данилов М.М. Анализ влияния интенсивного теплового потока, выделяемого в группе резервуаров в резервуарном парке // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 2 (29). С. 132-142. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.77.34.008>

Original article

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF INTENSE HEAT FLOW RELEASED IN A GROUP OF RESERVOIRS IN A TANK PARK

Pavel O. Mikhailin^{1,2}
Mikhail M. Danilov³

¹Fire department of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

²Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU), Moscow, Russia

³SFA of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

Corresponding author: Pavel O. Mikhailin, mp9645606813@ya.ru

Abstract. This article discusses the issues of fire safety when making managerial decisions on a fire, expressed in the form of supporting actions to extinguish a fire. A quantitative assessment is given

of the main indicators affecting the cascade development of fires, as well as by calculation, the dependence of the level of flammable liquid inflow in the tank on the heat released from the fire was determined and indicators were calculated that determine the dry wall of the tank as a source of fire. The article also provides an analysis of the conditions affecting the adoption of supporting actions to extinguish fires by the head of fire extinguishing, when managing the forces and means of fire departments.

Keywords: supporting actions in fire extinguishing, tank, heat flow, fire propagation, control of forces and means

For citation: Mikhailin P.O., Danilov M.M. Analysis of the influence of intense heat flow released in a group of reservoirs in a tank park information needed to address regulatory specialization issues // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2023;2(29): 132-142. (In Russ.). <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.77.34.008>.

Резервуарные парки являются основным местом хранения сырой нефти и нефтепродуктов на нефтеперерабатывающих заводах; перевалочных и распределительных станциях [1] нефтебаз; предприятиях автомобильного, железнодорожного, водного и воздушного транспорта. Скопление легковоспламеняющихся и горючих жидкостей на относительно небольшой площади резервуарного парка приводит к увеличению пожарной опасности этих объектов. Разлив и возгорание нефтепродуктов является одной из самых опасных чрезвычайных ситуаций, способных привести не только к значительным материальным потерям, но и к человеческим жертвам. Ситуация осложняется и экономически обусловленной тенденцией перехода к резервуарам большего объема, что приводит к увеличению объемов горючих жидкостей, приходящихся на единицу площади. Это, в свою очередь, повышает опасность распространения пожара на соседние резервуары при несвоевременной локализации и ликвидации очага горения [2].

Анализ описаний тушения пожаров показывает, что резервуары средних и больших объемов с нефтепродуктами при существующих автоматических системах тушения пожаров практически не тушатся вследствие того, что они выходят из строя при взрыве или деформации верхнего пояса резервуара еще до начала тушения [3].

Тушение пожаров в резервуарах, как правило, осуществляется в основном мобильными средствами пожаротушения от передвижной пожарной техники. Проанализированы статистические данные о пожарах на территориях резервуарного парка за 2017–2021 гг. Установлены причины и места возникновения пожаров [4].

В результате развития технологий и деятельности, направленной на обеспечение пожарной безопасности [5], необходимым условием эффективной деятельности пожарно-спасательных подразделений остается анализ условий и опорных решений при пожаротушении:

1. В особенностях оперативного управления в принятии опорных решений и условиях опасности для личного состава определяющей необходимо соответствие содержания вырабатываемых решений в конкретно сложившейся или прогнозируемой обстановке [6];

2. В процедуре поиска альтернатив управленческого решения, на основе взвешенных граничных условий пожаротушения с учетом отклонений в тактике тушения пожаров [7] в задачах принятия опорных решений в зависимости граничных условий, при этом величина искажения функции эмпирического риска зависит от величин искажений в эмпирическом распределении потерь опорного решения пожаротушения.

3. В показателе оперативности принятия управленческих решений с учётом опыта пожаротушения в результативность деятельности должностных лиц, и оценки качества деятельности руководителя тушения пожара, исходя из ресурсообеспеченности, возможностей подразделений пожарной охраны и участников тушения пожара [8].

4. В применении руководителем тушения пожара программно-алгоритмического комплекса, на основе анализа управляющего (опорного) действия пожарно-спасательных подразделений и параметров подачи огнетушащих веществ [9-11].

Таким образом контроль в сфере пожарной безопасности значительно снижает отрицательные ситуации, что обеспечивает безопасность в целом. Но сведения о возникновении, развитии и тушении пожаров на объектах экономики связанных с хранением или транспортировкой нефтепродуктов, подтверждает гипотезу, что анализ влияния интенсивного теплового потока, выделяемого в группе резервуаров, является актуальной задачей, для достижения которой необходимо проводить комплексный анализ. Автор [12] утверждает, что на территории страны функционируют 4140 опасных производственных объектов (нефтехимических, нефтегазоперерабатывающих и объектов нефтепродуктообеспечения) при этом частота составляет 13 пожаров (в среднем), за 2017–2021 гг. на территории указанных предприятий произошел 481 пожар в том числе оказывающий влияние интенсивным тепловым потоком на окружающую среду.

Интенсивный тепловой поток, выделяемый в группе резервуаров от пожара, может оказывать значительное влияние на окружающую среду и на работу оборудования резервуарного парка. Рассмотрим основные аспекты данного влияния.

1. Влияние на окружающую среду

Интенсивный тепловой поток может приводить к нагреву окружающей среды, что может привести к изменению климатических условий и воздействовать на животный и растительный мир. Кроме того, выделение большого количества тепла может приводить к образованию тепловых островов в городских районах, что может ухудшать качество жизни людей.

2. Влияние на работу оборудования

Интенсивный тепловой поток может оказывать негативное влияние на работу оборудования, так как повышенная температура может привести к перегреву и выходу из строя различных устройств. Кроме того, выделение большого количества тепла может привести к прогреву стенок соседних обогреваемых пожаром резервуаров, а также других конструктивных элементов резерва, которые могут быть источниками возникновения новых очагов пожара.

3. Влияние на здоровье людей

Интенсивный тепловой поток может оказывать негативное влияние на здоровье людей, так как повышенная температура может привести к обезвоживанию и перегреву организма, ожогам. Кроме того, выделение большого количества тепла может привести к образованию вредных веществ, таких как оксиды азота и серы, которые могут негативно воздействовать на дыхательную систему.

В целом, интенсивный тепловой поток, выделяемый в группе резервуаров, может комплексно оказывать негативное влияние на различные системы. Поэтому в теории принятия решений при пожаротушении нефтяных резервуаров необходимо принимать меры для снижения выделения тепла и его негативного влияния.

Анализ работы [2], рассматривающей управления пожарно-спасательными подразделениями при ведении тактических действий в резервуарных парках хранения нефтепродуктов, показывает, что процесс принятия управленческих решений в пожаротушении как функция преобразования содержания информации формализуется в терминах теории принятия решений, через:

Ω – универсальное множество вариантов, альтернатив выбора (размещение позиций на тушение, защиту; типы приборов тушения);

X – множества альтернатив, предъявляемых для выбора ($X \subseteq \Omega$);

Y – выбранные альтернативы ($Y \in X$);

C – условия выбора $Y = C(X)$.

Так функция выбора управленческого решения задается поэлементно, как целостное множество, удовлетворяющее некоторым условиям: тактическим возможностям, задаче оптимального выбора (ЗОВ), задаче рационального выбора (ЗРВ) и общей задаче принятия решений (ОЗПР). При этом ЗОВ выступает множеством альтернатив $\{\Omega\}$, для решения которых используются аналитические методы, методы исследования операций, специальные методы оптимального выбора.

Однако при изменении условий решение становится не до конца оптимальным. ЗРВ характеризуется выбором и зависит от того, кто и на какой основе его делает, получаемые решения не могут считаться оптимальными, но признаются рациональными. ОЗПР может дополняться и видоизменяться, в этом случае даже руководитель тушения пожара (и последующий руководитель тушения пожара) может изменять свое решение при обнаружении новой альтернативы. Формально модель ОЗПР представлена [2]. Возникает вопрос, учитывается ли ОЗПР в расчетном сценарии интенсивного теплового потока, выделяемого в группе резервуаров, при их пожаротушении на объектах топливно-энергетического комплекса. С точки зрения тактических приемов борьбы

с такими пожарами они всегда являлись одними из сложных пожаров с точки зрения планирования их пожаротушения.

Так, при проведении пожарно-тактических расчетов по определению требуемого количества ресурсов и требуемого минимального объема необходимого количества огнетушащего веществ ЗОВ, ЗРВ и ОЗПР может не совпадать с параметрами расчетного пожара в зависимости от горящей жидкости.

Зачастую влияние оказывает ветровая нагрузка и процесс горения нефтепродуктов в резервуаре сопровождающееся обильным выделением теплового потока, влияющего на объекты, расположенные в близи объекта пожара.

Процесс горения жидкости в РВС поддерживается за счет поступления достаточного количества воздуха в зону смешивания выделившихся паров жидкости, образовавшихся в процессе передачи тепла от факела пламени к жидкости. Скорость выделения паров нагретой жидкости определяется мощностью теплового потока от факела пламени к самой жидкости [13]. Данный показатель горения жидкости влияет на скорость выгорания жидкости в резервуаре и определяется по формулам, приведенным в работе [13].

$$q_{п} = \varepsilon \cdot C_0 \cdot \left[\frac{T_{ф}}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{ж}}{100} \right]^4 \cdot F_{ж} \cdot \varphi \quad (1)$$

$q_{п}$ – падающий тепловой поток тепла от пламени к поверхности жидкости;

ε – степень черноты (для нефтепродуктов – 0,87);

C_0 – коэффициент абсолютно черного тела;

$T_{ф}$ и $T_{ж}$ – температуры факела и жидкости соответственно;

$F_{ж}$ – площадь горения жидкости;

φ – коэффициент облученности.

$$\varphi = 1 + \frac{H}{2} - \left(\frac{H}{2} \right) \cdot \sqrt{h^2 + 4} \quad (2)$$

$H=hR^{-1}$ – относительная высота свободной стенки (сухой);

h – высота сухой стенки;

R – радиус резервуара. При полном взливе резервуара $\varphi=1$.

Стоит отметить, что формула (2) применяется для определения коэффициента облученности вне зависимости от режима горения и размеров пламени при наличии сухой стенки.

$$v = \frac{q_{п}}{F_{ж} \cdot \rho_{ж} \cdot [T_{ж} - C_{ж}(T_k - T_0)]} \quad (3)$$

$v_{п}$ – скорость выгорания жидкости; $\rho_{ж}$, $\gamma_{ж}$, $C_{ж}$ – плотность, теплота испарения, и теплоемкость горящей жидкости.

Существенное влияние на выделение паров горючей жидкости, высоту племени, а также на наклон пламени относительно геометрического центра очага пожара оказывает ветер. В случае с проливом горючей жидкости ветер также оказывает влияние на интенсивность теплового излучения при горении жидкости.

Высоту пламени можно определить по формуле (3), приведенной в работе [5].

$$L = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61} \quad (4)$$

Проведем анализ сведений, о количестве тепла выделяемого от факела пламени в зависимости от уровня разлива горючего вещества (на примере дизельного топлива) хранящегося в РВС. Данные представлены в табл. 1.

Табл. 1. Количество падающего теплового потока в зависимости от уровня разлива жидкости в резервуаре.

Объем резервуара, (м ³)	Диаметр резервуара, (м)	Высота пламени L, (м)	Скорость выгорания, (v, м/ч ⁻¹)	Количество падающего теплового потока тепла от пламени (q _g , кВт/м ²), при уровне разлива						
				2	4	6	8	10	12	14
5000	22.8	22	0,2	0,027	0,023	0,022	0,027	0,039	0,061	0,092
10000	34.2	29,5	0,2	0,066	0,057	0,051	0,049	0,052	0,061	0,077
20000	39.9	32,9	0,2	0,092	0,081	0,073	0,068	0,067	0,072	0,083
30000	45.6	36,1	0,2	0,122	0,11	0,099	0,091	0,087	0,088	0,095
50000	60.7	44,1	0,2	0,223	0,205	0,189	0,175	0,164	0,157	0,154

В работе [13] отмечается, что в резервуарах диаметром более 2 м, нефть и нефтепродукты выгорают с практически постоянной скоростью. Таким образом следует, что скорость выгорания жидкости для различных резервуаров принималась постоянной. Уделим внимание изменяющемуся параметру, такому как коэффициент облученности и представим его в табл. 2, график зависимости падающего теплового потока от факела пламени на Рис.1.

Табл. 2. Коэффициент облученности при различных уровнях разлива горючей жидкости (ДТ)

Объем резервуара, (м ³)	Коэффициент облученности (φ), для разных уровней разлива в резервуаре						
	2	4	6	8	10	12	14
5000	0,839	0,705	0,594	0,503	0,427	0,087	0,075
10000	0,89	0,792	0,705	0,629	0,562	0,503	0,45
20000	0,905	0,819	0,741	0,671	0,609	0,553	0,503
30000	0,916	0,839	0,769	0,705	0,647	0,594	0,546
50000	0,936	0,877	0,821	0,769	0,72	0,675	0,633

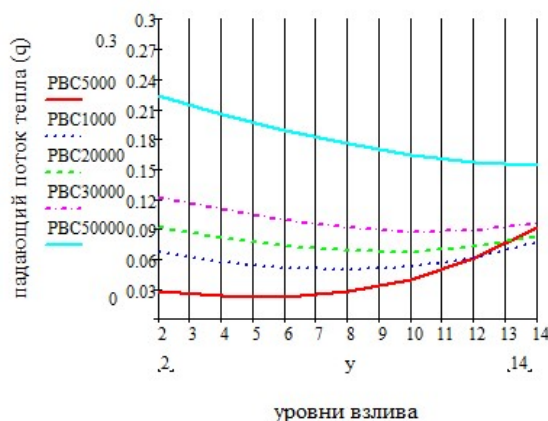


Рис.1 График зависимости падающего теплового потока от факела пламени к уровню разлива горючей жидкости в резервуаре

Как отмечается [13] непосредственное влияние на полноту сгорания, скорость выгорания горючего вещества, а также интенсивность развития и распространения пожара, влияет интенсивность газообмена. Чем выше интенсивность газообмена, тем быстрее происходит окисление горючего вещества и тем более интенсивно развивается пожар. Однако, при высокой интенсивности газообмена может возникнуть дефицит кислорода, что может привести к неполному сгоранию горючего вещества и образованию опасных продуктов горения. Поэтому важно контролировать интенсивность газообмена и поддерживать оптимальные условия для полного сгорания горючего вещества.

При условии участия ветровой нагрузки, тепловой поток выделяющийся от факела пламени к горючей жидкости будет увеличиваться. Ветровая нагрузка может оказывать влияние на факел пламени при горении резервуара, особенно если резервуар находится на открытой местности. Сильный ветер может вызвать смещение пламени, что может привести к возникновению опасных ситуаций, таких как пожар или взрыв. Для предотвращения таких ситуаций необходимо контролировать интенсивность ветра и принимать меры для защиты факела от воздействия ветра, например, устанавливать защитные экраны или использовать специальные устройства для стабилизации пламени. Кроме того, важно проводить регулярные проверки и техническое обслуживание оборудования для обеспечения его безопасной работы в любых условиях. Вопрос влияния интенсивности газообмена на тепловой поток выделяющийся от факела пламени к горючей жидкости, относительно уровня разлива горючей жидкости в РВС остается интересным к исследованию.

Авторами [14] предлагается в качестве определения общей зоны теплового воздействия применять лучистый тепловой поток. Лучистый тепловой поток является одним из основных параметров, используемых при расчете теплового воздействия на объекты в окружающей среде. Он определяется как количество тепла, передаваемого через единицу площади поверхности объекта за единицу времени. Лучистый тепловой поток учитывает, как тепловое излучение от источника, так и отраженное от окружающих поверхностей. При определении общей зоны теплового воздействия необходимо учитывать множество факторов, таких как интенсивность пламени, расстояние до источника тепла, характеристики окружающей среды и другие. Однако использование лучистого теплового потока позволяет более точно определить зону, в которой возможно повреждение или разрушение объекта под воздействием тепла. Важно отметить, что при расчете теплового воздействия необходимо учитывать не только лучистый тепловой поток, но и другие факторы, такие как конвективный поток и теплопроводность материалов.

Общий лучистый тепловой поток, выделяемый в процессе горения паров горючей жидкости можно представить в виде суммы тепловых потоков, тепло от которых выделяется на прогрев сухой стенки резервуара (не полный взлив). Обладая условием по тепловому режиму пожара можно определяется время образования гомотермического слоя (следовательно, ориентировочное время выброса нефтепродукта), а также предварительное время распространения пожара на соседние группы резервуаров. Эти показатели влияют на определение боевых позиций ствольщиков и необходимую оценку подачи первых водяных стволов на охлаждение не горящих резервуаров.

Пренебрегая теплом выделяющимся на прогрев жидкости и сухой стенки горящего РВС определим среднеповерхностную интенсивность теплового излучения, падающего на резервуар, обогреваемый пожаром. Представим значение значение факторов облученности для вертикальной (F_v) и горизонтальной площадок (F_H), при скорости ветра 10 м/с и угле наклона пламени 60° и горении дизельного топлива в табл. 3. Угловой коэффициент облученности при горении дизельного топлива, для разных РВС представлен в табл. 4.

Табл. 3 Значения факторов облученности и среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени при горении дизельного топлива

Объем резервуара, (м ³)	Диаметр резервуара, (м)	Высота пламени L, (м)	Фактор облученности при расстоянии до не горящего РВС, F_v			Фактор облученности при расстоянии до не горящего РВС, F_H			Среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, E_r
			40	60	80	40	60	80	
5000	22.8	22,2	0,203	0,131	0,097	0,055	-0,049	-0,08	27,924
10000	34.2	29,5	0,319	0,201	0,15	0,211	0,013	-0,052	22,036
20000	39.9	32,9	0,374	0,236	0,176	0,293	0,052	-0,033	21,032
30000	45.6	36,1	0,423	0,271	0,201	0,37	0,095	-0,012	20,523
50000	60.7	43,9	0,507	0,364	0,266	0,529	0,218	0,057	20,087

Табл. 4 Угловой коэффициент облученности при горении дизельного топлива, для разных РВС

Объем резервуара, (м ³)	Диаметр резервуара, (м)	Высота пламени L, (м)	Угловой коэффициент облученности (при угле наклона пламени 60°) и расстоянии до него горящего РВС, F _q		
			40	60	80
5000	22.8	22	0,21	0,14	0,126
10000	34.2	29,5	0,382	0,202	0,159
20000	39.9	32,9	0,475	0,242	0,179
30000	45.6	36,1	0,562	0,287	0,201
50000	60.7	44,1	0,723	0,424	0,272

Но в предварительном расчетном сценарии, для определения интенсивности теплового потока и анализа влияния интенсивного теплового потока, выделяемого в группе резервуаров необходимо рассчитывать коэффициент пропускной способности атмосферы, по формуле (4). Коэффициент пропускной способности атмосферы позволит определить, какую долю излучения достигает поверхность. Чем выше этот коэффициент, тем больше энергии достигает поверхности. Однако, этот коэффициент может изменяться в зависимости от времени года, времени суток, состояния атмосферы (например, наличия облачности или загрязнения воздуха) и других факторов. Также, коэффициент отражения поверхности может влиять на факторы облученности. Например, такие условия пожаротушения как время года (снег имеет более высокий коэффициент отражения, чем зеленая трава, что означает, что снежная поверхность будет получать меньше энергии, отдавая излучение ϵ на рядом стоящие объекты). Стоит обратить внимание на то, что данный коэффициент зависит от расстояния преодолеваемым тепловым потоком и диаметром резервуара. Расчет коэффициентов пропускной способности атмосферы представлен в табл. 5.

$$\tau = \exp [-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)] \quad (4)$$

Табл. 5 Расчет коэффициентов пропускной способности атмосферы

Объем резервуара, (м ³)	Диаметр резервуара, (м)	Коэффициент пропускной способности атмосферы, τ		
		40	60	80
5000	22.8	0.972	0.959	0.946
10000	34.2	0.972	0.959	0.946
20000	39.9	0.972	0.959	0.946
30000	45.6	0.972	0.959	0.946
50000	60.7	0.972	0.959	0.946

Таким образом данный комплексный анализ позволяет руководителю тушения пожара, при выполнении основной боевой задачи, руководствоваться условиями выбора решающего направления исходя из наибольшей эффективности боевых действий при тушении пожара. Таким образом зная режим пожара и направление ветра, в дополнение к виду хранящегося в соседних РВС нефтепродукта определяется время прогрева сухой стенки, что акцентирует показатель необходимости подачи водяных стволов на охлаждение стенок РВС обогреваемого пожаром. Расчет показателя максимальной температуры сухой стенки обогреваемого пожаром РВС, предлагается производить по формуле (5) при влиянии тепловых нагрузок пожара в резервуаре с нефтепродуктами на расположенные рядом аналогичные резервуары [15], при наличии сведений.

$$t_c = \sqrt{4900 + 6,8 \cdot q} - 70 + t_b \quad (5)$$

где, q - интенсивность выделения теплового излучения от горящего РВС, до обогреваемого пожаром, в зависимости от расстояния (Вт/м²); t_b – температура окружающего воздуха (°С).

Зависимость достижения максимальной температуры прогретой стенки от времени, расположенного на расстоянии 40 м от горящего РВС, до температуры самовоспламенения хранящейся жидкости (дизельное топливо), приведена в Табл. 6, график нагревания сухой стенки

обогреваемого пожаром РВС от пожара, возникшего в различных резервуарах, в зависимости от времени с начала пожара на Рис.2. Значения, приведены исходя из расчетной зависимости по формулам (6, 7).

$$\alpha = \frac{0,95q}{2(t_{w-\max} - t)} \quad (6)$$

α – коэффициент теплообмена; t - температура окружающей среды, °С.

$$t_c = \frac{0,95q}{2\alpha} \left[1 - \exp\left(-\frac{1,28\alpha\tau}{c_w\rho_w\delta_w}\right) \right] + t \quad (7)$$

C_w - теплоемкость материала конструкции, Дж·кг⁻¹·К⁻¹ (для стали, $C_w = 500$ Дж·кг⁻¹·К⁻¹); ρ_w - плотность материала конструкции, кг·м⁻³ (для стали, $\rho_w = 7800$ кг·м⁻³); δ_w - толщина стенки резервуара, м.

Табл. 6 Время прогрева сухой стенки не горящего РВС

Объем горящего РВС, (м ³)	Время от начала пожара, (мин)								
	10	15	20	25	30	35	40	45	55
20000	84	109	130	149	165	178	190	200	214
30000	94	123	148	169	187	203	216	227	245
50000	114	151	183	210	233	253	270	284	307

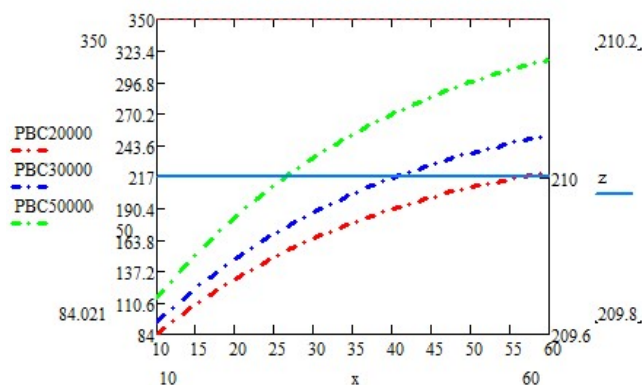


Рис.2 График нагрева сухой стенки обогреваемого пожаром РВС

Рассматривая полученные данные Рис.2 можно сделать вывод о том, что уже на начальных стадиях развития пожара наибольшую угрозу распространения пожара на соседние резервуары, расположенные в группе резервуаров оказывают граничные условия и интенсивный тепловой поток от горящего резервуара, который несет условия распространения пожара. В связи с чем является актуальным рассматривать в расчетных сценариях предварительного планирования достижение условий обогрева от пожара и достижение критических значений, соответствующих температуре самовоспламенения хранящейся нефтесодержащей жидкости. Учитывая в сценариях привлечения ресурсного потенциала требуемого количества сил и средств в совокупности ОЗПР.

В дальнейшей публикации будет определен расчет интенсивностей приходящего теплового излучения на обогреваемый пожаром резервуар при горении нефтепродуктов, на различных видах резервуаров и расстояниях до них от геометрического центра горящего резервуара, позволяющая идентифицировать температуру прогрева сухой стенки резервуара, что покажет зависимость расстояний в отношении подачи огнетушащих веществ и выбора средств защиты личного состава участвующего в организации действий по тушению пожара на месте пожара соответствующим ансамблем.

Список источников

1. Афанасьев В.А., Бобрицкий Н.В. Сооружение резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. - М.: Недра, 1981. - 192 с.
2. Данилов, М.М. Некоторые аспекты управления пожарными подразделениями при ведении оперативно-тактических действий в резервуарных парках хранения нефтепродуктов. Модель общей задачи принятия управленческого решения / М.М. Данилов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 11. – С. 14-17. – EDN PRYSHN.
3. Швырков, С.А. Анализ последствий чрезвычайных ситуаций при разрушениях резервуаров на объектах топливно-энергетического комплекса / С.А. Швырков, С.В. Батманов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 4. – С. 2-8. – EDN IJWULT.
4. Зайцева, А.Д. Анализ статистики пожаров на территориях резервуарных парков / А.Д. Зайцева // Будущее машиностроения России. 2022: сборник докладов. XV Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием), Москва, 21–24 сентября 2022 года. Том 2. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. – С. 109-111. – EDN FYOBSL.
5. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. N 69-ФЗ «О пожарной безопасности» (с изменениями и дополнениями).
6. Данилов, М. М. Особенности оперативного управления в принятии опорных решений в условиях опасности для личного состава / М. М. Данилов, Е. Н. Косьянова, К. П. Щетнев // Угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах в условиях проведения специальной военной операции: Материалы межвузовского семинара, Санкт-Петербург, 06 октября 2022 года. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациями ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева», 2022. – С. 11-14. – EDN MGSTIJ.
7. Аникин, С. Н. Управление альтернативами выбора принятия опорных решений в тактике тушения пожаров / С. Н. Аникин, М. М. Данилов, А. Н. Денисов // Computational Nanotechnology. – 2020. – Т. 7, № 4. – С. 39-47. – DOI 10.33693/2313-223X-2020-7-4-39-47. – EDN TEEGJR.
8. Модель оперативного управления в принятии опорных решений с учётом оптимальности / М. А. Данилова, М. М. Данилов, А. Н. Денисов [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2018. – № 3. – С. 94-101. – DOI 10.25257/FE.2018.3.94-101. – EDN YKWDID.
9. Модель опорного действия в практике применения программного обеспечения руководителем тушения пожара / М. М. Данилов, А. Н. Денисов, С. В. Гундар [и др.] // Техносферная безопасность. – 2018. – № 2(19). – С. 76-86. – EDN UWUNXY.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661086 Российская Федерация. Расчёт NRS: № 2016618431: заявл. 02.08.2016: опублик. 29.09.2016 / В.Б. Захаревский, А.Н. Денисов, М.М. Данилов. – EDN IZZBHB.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017615760 Российская Федерация. Расчет NRS(L): № 2017611809: заявл. 21.02.2017: опублик. 23.05.2017 / В.Б. Захаревский, А.А. Локтюхина, А.Н. Денисов, М.М. Данилов. – EDN ZWRUXY.
12. Зайцева, А.Д. Анализ статистики пожаров на территориях резервуарных парков / А.Д. Зайцева // Будущее машиностроения России. 2022: сборник докладов. XV Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием), Москва, 21–24 сентября 2022 года. Том 2. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. – С. 109-111. – EDN FYOBSL.

13. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами – М.: Недра, 1984. – 151 с.
14. Абдурагимов И.М., Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учебное пособие / И.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 256 с.
15. Шалымов, М.С. Влияние тепловых нагрузок пожара в нефтяном резервуаре на соседние резервуары / М. С. Шалымов // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 2(60). – С. 103-110. – EDN UJEOPR.

References

1. Afanasiev V. A., Bobritsky N. V. Construction of reservoirs for storing oil and oil products. - M.: Nedra, 1981. - 192 p.
2. Danilov, M. M. Some aspects of managing fire departments in the conduct of operational and tactical actions in tank farms for storing petroleum products. Model of the general task of making a managerial decision / M. M. Danilov // Fire and Explosion Safety. - 2012. - V. 21, No. 11. - S. 14-17. – EDN PRYSHN.
3. Shvyrkov, S. A., Batmanov S. V. Analysis of the consequences of emergency situations in case of destruction of tanks at the facilities of the fuel and energy complex. Environmental protection in the oil and gas complex. - 2008. - No. 4. - S. 2-8. – EDN IJWULT.
4. Zaitseva, A.D. Analysis of fire statistics in the territories of tank farms / A.D. Zaitseva // Future of mechanical engineering in Russia. 2022: collection of reports. XV All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists (with international participation), Moscow, September 21–24, 2022. Volume 2. - Moscow: Publishing house of MSTU im. N. E. Bauman, 2023. - S. 109-111. -EDN FYOBSL.
5. Federal Law of December 21, 1994 N 69-FZ "On Fire Safety" (as amended).
6. Danilov, M. M., Kosyanova E. N., Shchetnev K. P. Features of operational management in making support decisions in conditions of danger for personnel // Threats of emergencies at potentially hazardous facilities in conditions for conducting a special military operation: Materials of the interuniversity seminar, St. Petersburg, October 06, 2022. - Saint Petersburg: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergency Disaster Management named after the Hero of the Russian Federation, General of the Army E.N. Zinicheva, 2022. - S. 11-14. – EDN MGSTIJ.
7. Anikin, S. N., Danilov M. M., Denisov A. N. Control of alternatives for choosing support decisions in fire extinguishing tactics // Computational Nanotechnology. - 2020. - V. 7, No. 4. - S. 39-47. – DOI 10.33693/2313-223X-2020-7-4-39-47. – EDN TEEGJR.
8. Danilova M.A., Danilov M.M., Denisov A.N. [et al.] Operational management model in making basic decisions taking into account optimality // Fires and emergency situations: prevention, liquidation. - 2018. - No. 3. - P. 94-101. – DOI 10.25257/FE.2018.3.94-101. -EDN YKWDID.
9. Danilov M. M., Denisov A. N., Gundar S. V. [et al.] Model of support action in the practice of using software by a fire extinguishing manager // Tekhnosfernaya bezopasnost. - 2018. - No. 2(19). - S. 76-86. – EDN UWUHXY.
10. Certificate of state registration of the computer program No. 2016661086 Russian Federation. NRS Calculation: No. 2016618431: Appl. 08/02/2016: publ. 29.09.2016 / V.B. Zakharevsky, A.N. Denisov, M. M. Danilov. – EDN IZZBHB.
11. Certificate of state registration of the computer program No. 2017615760 Russian Federation. Calculation NRS(L) : No. 2017611809 : Appl. 02/21/2017 : publ. 05.23.2017 / V. B. Zakharevsky, A. A. Loktyukhina, A. N. Denisov, M. M. Danilov. – EDN ZWRUXY.
12. Zaitseva, A. D. Analysis of fire statistics in the territories of tank farms / A. D. Zaitseva // Future of mechanical engineering in Russia. 2022: collection of reports. XV All-Russian Conference of

Young Scientists and Specialists (with international participation), Moscow, September 21–24, 2022. Volume 2. - Moscow: Publishing house of MSTU im. N. E. Bauman, 2023. - S. 109-111. -EDN FYOBSL.

13. Volkov O.M. Fire safety of tanks with oil products - M.: Nedra, 1984. - 151 p.

14. Abduragimov I.M., Physical and chemical bases of fire development and extinguishing: textbook / I.M. Abduragimov, V.Yu. Govorov, V.E. Makarov. - M.: VIPTSh MVD USSR, 1980. - 256p.

15. Shalymov, M. S. Influence of heat loads of a fire in an oil reservoir on neighboring reservoirs / M. S. Shalymov // Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti. - 2015. - No. 2 (60). - S. 103-110. – EDN UJEOPR.

Статья поступила в редакция 16.05.2023; одобрена после рецензирования 14.06.2023; принята к публикации 26.06.2023.

The article was submitted 16.05.2023, approved after reviewing 14.06.2023, accepted for publication 26.06.2023.