

УДК 614.895.5:621.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА СПАСАТЕЛЕЙ ПРИ ТУШЕНИИ ГОРЯЩИХ РЕЗЕРВУАРОВ С НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Костенко Т.В., Костенко В.К.

Получено дальнейшее развитие механизма тепловой нагрузки на спасателя, который включает внешние пути нагрева от очага горения и от Солнца, и внутренние (тепловыделение организма, работа регенеративной дыхательной системы). Установлено, что для внешней тепловой нагрузки преобладающими являются лучевые потоки энергии, а остальные, как правило, производные от них. Геометрические размеры резервуаров для хранения нефтепродуктов определяют величину излучаемой энергии при пожаре. Для наиболее сложного вида пожара – горения нефтепродуктов в резервуарах, обоснована зависимость для оперативной оценки лучевого теплового потока, и выражение для расчета безопасных зон ведения аварийных работ вблизи горящих в резервуарах нефтепродуктов.

Ключевые слова: горение нефтепродуктов, резервуар, тепловая нагрузка на спасателя, лучевая энергия.

(Поступила в редакцию 13 октября 2016 г.)

Введение. Тушение крупных пожаров различных видов: на нефтехранилищах, в лесных массивах, транспортных средствах, таких как железнодорожные и автомобильные цистерны, конвейеры, на угольных разрезах и других, проводят на открытой местности. Среди видов травматизма личного состава при ликвидации масштабных пожаров, наиболее часты тепловые поражения, такие как ожоги, перегрев организма, потеря сознания, тепловые удары. Причиной, которая определяет наличие этого рода травм, является несовершенство нормативных документов по оперативной оценке внешней тепловой нагрузки на спасателей, и ограниченный, на наш взгляд, уровень защитного действия находящихся на оснащении спасательных подразделений противотепловых средств. Поэтому совершенствование нормативных документов в части быстрой выработки решения по применению средств индивидуальной и групповой защиты личного состава от действия тепла является актуальной задачей. Одним из путей для выбора средств и способов повышения защиты спасателей от тепловых травм, по мнению авторов, может быть методика оперативной оценки внешней тепловой нагрузки на спасателя при тушении масштабного пожара, в первую очередь, как показывает практика, для горящих резервуаров с нефтепродуктами.

В большинстве работ, посвященных исследованию внешней тепловой нагрузки на пожарных, учитывают только действие прямых тепловых лучей [1-6]. Это приводит к занижению результатов, недооценке влияния конвективного нагрева и отраженных лучей. Обобщая информацию, можно сделать вывод, что известные методики не учитывают в полной мере все виды теплового воздействия на спасателя в процессе тушения пожара на открытой местности. В этих условиях действуют параллельно три основных вида внешнего теплового воздействия, а именно: потоки тепловых лучей (радиация), обдувающие струи горячих газов (конвекция), теплопередача при прикосновении к нагретым твердым предметам (кондукция) [7]. Актуальным является оперативное определение величины действия внешних факторов, определяющих тепловое воздействие на пожарных при ведении спасательных работ.

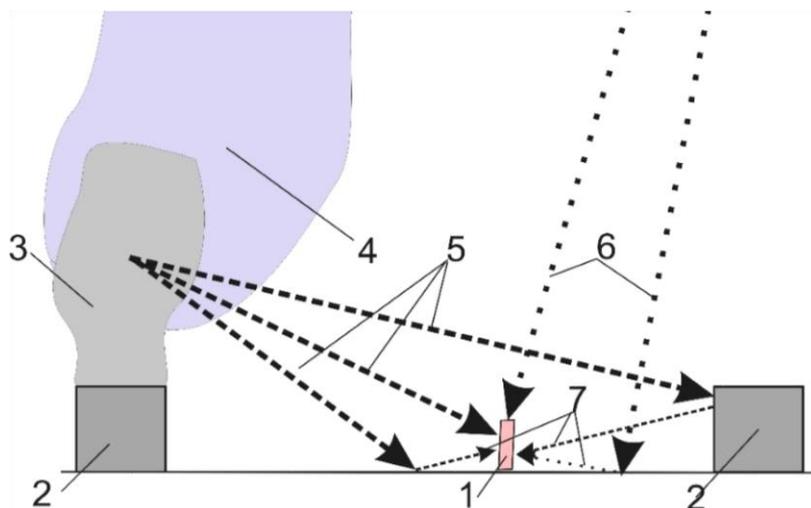
После прибытия на объект руководители тушения пожара располагают ограниченной информацией и временем. Как правило, им известны параметры пожара, такие как вид горящих материалов, размеры фронта горения; климатические условия, а именно, температура воздуха, его влажность, скорость ветра, облачность и другие. Исходя из этих сведений, с учетом располагаемых сил и средств, руководители должны оценить обстановку и выработать не только тактику воздействия на очаг горения, но и меры безопасности личного состава.

Факторы, определяющие вырабатываемую организмом спасателя внутреннюю теплогенерацию, являются управляемыми путем выбора видов и режимов работы, диспозицией подразделений, применением средств механизации и другими способами. Воздействие

же внешних факторов, являющихся преобладающим, объективно обусловлено и трудно регулируется.

Целью исследований является разработка основ методики оперативного прогноза влияния внешних факторов, определяющих тепловую нагрузку на спасателя, для выбора противотепловых средств, при тушении горящих резервуаров с нефтепродуктами.

Результаты. Как известно, основным источником внешнего излучения пожара является место, где происходят окислительные реакции – фронт горения. Тепловые лучи, попадая на твердую или жидкую поверхность и частично поглощаясь ею, передают молекулам вещества часть своей энергии, заставляя их интенсивно колебаться, нагреваясь при этом. Остальная энергия отражается от поверхностей, рассеиваясь в пространстве. На спасателя действуют как прямые, так и отраженные лучи, что следует учитывать при определении допустимого времени пребывания его в зоне теплового поражения (рис. 1).



1 – объект; 2 – резервуары с горючим; 3 – факел горения; 4 – шлейф продуктов горения; 5 – прямые тепловые потоки от пожара; 6 – прямые солнечные тепловые потоки; 7 – отраженные лучи

Рисунок 1 – Схема внешних лучевых потоков, действующих на расположенный вблизи пожара объект

Конвективные потоки возникают по двум причинам. Во-первых, это газообразные продукты пожара, которые выделяются при горении и термодеструкции горючих веществ. Учитывая, что большинство горючих твердых, газообразных и жидких веществ – органические соединения, основную часть продуктов составляют оксиды углерода, серы, водяные пары, газы органической природы, а также, при высоких (более 1500 °С) температурах горения, оксиды азота воздуха. Другая составляющая конвективных потоков – это воздух, нагревающийся при контакте с разогретыми поверхностями. Теплые газы имеют плотность меньшую, чем воздух, и движутся вверх под действием архимедовой силы. Вектор перемещения конвективных струй определяется суммой этой силы и ветра.

Контактный (кондуктивный) нагрев происходит при непосредственном соприкосновении пожарного с раскаленными поверхностями или жидкостями. Чаще всего такому тепловому воздействию подвержены ноги или только ступни пожарного. Кроме того, контактное тепло, при воздействии искр, головней или капель горящих жидкостей, влияет на кожные покровы спасателей и защитную одежду, вызывая ожоги или прогорание последней. Важно отметить, что отраженные и конвективные потоки являются вторичными, производными от внешних прямых лучей.

Таким образом, тепловая нагрузка на спасателя (Q_{wt}) складывается из следующих основных составляющих:

1. Внешняя тепловая нагрузка:

- прямые тепловые потоки от пожара (Q_{sd}) и Солнца (Q_{fd}), действие которых имеет векторную со стороны источника направленность;
- отраженные ($Q_{fr}+Q_{sr}$) от грунта и стенок потоки от первичных источников, отраженные лучи, как правило, имеют зеркальный и диффузный, рассеянный из-за шероховатости отражающих поверхностей, характер;
- конвективные потоки нагретых газов (Q_k), обусловленные нагревом поверхности или ветрового переноса продуктов горения;

- контактный (кондуктивный) (Q_c) нагрев частей костюма, соприкасающихся с нагретыми поверхностями или пламенем.

2. Внутренняя тепловая нагрузка спасателя обусловлена:

- тепловыделением при работе мышц человека (Q_{mb});

- функционированием регенеративной дыхательной системы (Q_{ar}).

Ресурсы охлаждающей энергии, используемой в средствах противотепловой защиты, например, ледяных брикетов и т. п., в данной работе не рассматриваются.

Общее количество поступающей и генерируемой в системе «человек – теплозащитная одежда – внешняя среда» (СЧТС) теплоты можно выразить уравнением:

$$(Q_{wt}) = Q_{sd} + Q_{fd} + Q_{fr} + Q_{sr} + Q_c + Q_{mb} + Q_{ar} + Q_c. \quad (1)$$

Оценить составляющую выражения (1) (Q_{sd}) при тушении открытых пожаров на хранилищах нефтегазопродуктов попытаемся исходя из следующих допущений и предположений.

Параметры резервуаров для хранения нефти и продуктов ее переработки характеризуются большим разнообразием, что усложняет оценку тепловой нагрузки на спасателей. Величина прямого теплового потока (Q_{sd}) от пожара в резервуаре может быть определена исходя из вида и объема сгорающего вещества, расстояния до фронта горения, прозрачности воздуха. Исходя из принципа Сен-Венана, примем допущение, что на расстоянии более трех размеров фронта горения можно, в первом приближении, считать, что вся выделяемая пожаром энергия сосредоточена в центре фронта горения.

Природный газ и нефть в основном состоят из углеводородов, которые при горении выделяют большое количество тепла. Оно вызывает значительное повышение температуры воздуха и почвы возле очага горения. Удельное количество тепла, излучаемое пламенным факелом, которое приходится на единичную площадь поверхности, определяют, приняв допущение, что энергия сосредоточена в центре факела и распределяется равномерно в окружающее сферическое пространство [8]. При отсутствии ветра, его вычисляют по формуле:

$$q = \frac{f \cdot Q'_n}{4 \cdot \pi \cdot R^2}. \quad (2)$$

где q – количество тепла, приходящегося на единицу площади нагреваемой поверхности, $Дж/м^2 \cdot час$;

Q'_n – приведенная теплота пожара, $кДж/м^2 \cdot с$;

R – расстояние до центра факела, $м$;

f – коэффициент излучения факела, $f = 0,048 \cdot \sqrt{M}$, где: M – молекулярная масса горючего.

Для метана f принимают – 0,2, для пропана – 0,33 и т. д.

Для вычисления f сначала находят среднюю молекулярную массу данной смеси горящих углеводородов. Молекулярная масса для большинства видов нефти колеблется в пределах 220...300. Она возрастает, так же, как и плотность, для нефтяных фракций с повышением температуры кипения [8]. Усредненный показатель для нефтепродуктов можно принять $f=0,75$.

Приведенная теплота пожара Q'_n рассчитывается по формуле:

$$Q'_n = \beta_{nz} \cdot Q_n \cdot V_\partial, \quad (3)$$

где β_{nz} – коэффициент полноты сгорания. В тихую погоду при горении, например, метан-пропановой или иной низкомолекулярной смеси примерно составляет $\beta_{nz} = 0,8...0,9$. Для нефтепродуктов типа бензин, керосин, мазут принимают $\beta_{nz} = 0,85$;

Q_n – низшая теплота сгорания газов или их смесей, (например, метан – $35,83 МДж/м^3$, пропан – $91,27 МДж/м^3$), для жидких углеводородов (например, бензин – $41,87 МДж/кг$, керосин – $43,54 МДж/кг$);

V_∂ – объемный расход горючего, $м^3/час$.

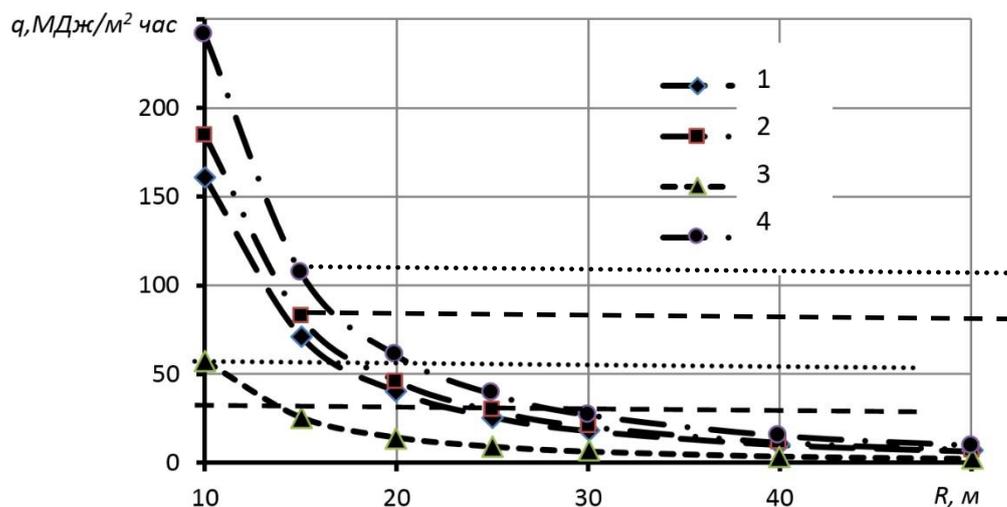
При горении бензина в резервуаре диаметром 10 м, экспериментально установлено [8], что линейная скорость выгорания составляет около 15 мм/мин, что соответствует объемной скорости выгорания, примерно, 15,7 м³/мин или 942 м³/час.

В авторитетном источнике [9] приведен обзор информации о горении жидкостей в резервуарах диаметрами от 1 до 23 м. Несмотря на ограниченные и недостаточно точные сведения составителями сделаны некоторые существенные заключения. Установлено, что скорость выгорания жидкостей практически неизменна для резервуаров, имеющих диаметры в указанных интервалах. Это позволяет принимать неизменной линейную скорость выгорания нефтепродуктов $v = 15 \text{ мм/мин} = 0,9 \text{ м/час}$ в резервуарах вместимостью до 5000 м^3 , и, учитывая отсутствие тенденции к увеличению или снижению, принять допущение о сохранении этого показателя в сосудах большей вместимости. В таком случае, объем сгорающей жидкости будет пропорционален площади поперечного сечения резервуара:

$$V = S \cdot v = \pi \cdot D^2 \cdot v / 4 = 0,765 D^2, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (4)$$

где D – диаметр резервуара, м.

Выполнен расчет удельной тепловой нагрузки при стабильном горении в резервуаре диаметром 10 м некоторых распространенных видов газообразного и жидкого горючего: бензина, керосина, метана и пропана (рис. 2), при одинаковом объемном расходе.



1 – бензин; 2 – керосин; 3 – метан; 4 – пропан; линии штриховая и пунктирная, соответствуют уровням тепловых потоков 5,6 и 40, МДж/м²·час

Рисунок 2 – Интенсивность тепловыделения (q , МДж/м²·час) на расстоянии (R , м) от центра факела горящих углеводородов

Результаты расчетов позволили установить, что с удалением от центра факела тепловая нагрузка убывает по гиперболической зависимости. На удалении более 15 м при горении углеводородов с относительно высокой молекулярной массой (бензин, керосин, пропан) близки и отличаются не более чем на 10...15 %. Горение метана, имеющего меньшую молекулярную массу и меньшую теплоту сгорания, определяет несколько пониженную тепловую нагрузку.

При расчетах безопасной для личного состава, то есть такой, которую можно неограниченное время выдерживать без специальной защиты, принимают интенсивность тепловыделения $q_{без} = 5,6 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{час}$ [3]. Для вышеприведенного пожара такая тепловая нагрузка существует на удалении более 40...50 м от факела (см. рис. 2). Следовательно, оперативные действия на меньшем удалении от факела необходимо выполнять с использованием средств защиты от тепла организмов спасателей.

Большинство состоящих на оснащении спасательных подразделений Украины противотепловых средств допускают защиту организма спасателя при интенсивности излучения до $40 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{час}$. В рассмотренном случае такие условия обеспечиваются на удалении не менее 18...21 м при горении жидких нефтепродуктов и более 15 м при горении метана. Ведение оперативных действий на меньших дистанциях угрожает тепловыми травмами.

Большинство средств противотепловой защиты спасателей испытывают при интенсивности нормально направленной лучевой нагрузки $40 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{час}$, которая чаще всего фигурирует в нормативных документах [4-5]. При этом допустимая продолжительность пре-

бывания в зоне теплового воздействия с использованием состоящих на оснащении средств противотепловой защиты исчисляется 120 с на расстоянии менее 25...30 м, как это следует из рис. 2, что определяет недостаточную эффективность подавления пламени при помощи современных средств тушения пожаров.

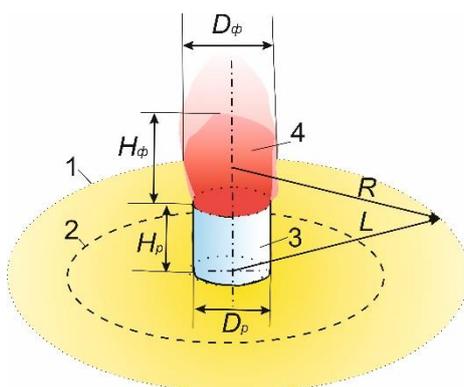
Ликвидация чрезвычайных ситуаций всегда проходит в условиях дефицита времени и информации. Даже использование вычислительной техники не позволяет быстро оценить тепловую обстановку из-за отсутствия необходимых исходных данных. Например, выработка решения о выборе безопасного рубежа тушения или применении противотепловых средств защиты личного состава должно основываться на каких-то первичных прогнозах обстановки. В качестве альтернативы следует применять упрощенные зависимости, диаграммы, таблицы, с помощью которых можно быстро оценить ожидаемый уровень тепловых потоков. Предлагается следующий вариант предварительного экспресс-расчета для горящих резервуаров с нефтепродуктами.

Если рассматривать прямое излучение горящих нефтяных продуктов, то можно использовать следующие известные исходные сведения [8]. Высота факела над горящим резервуаром диаметром D , согласно экспериментальным данным, составляет $H_{\phi} = (1 \dots 1,5)D$.

Схематично распределение тепловых потоков при горении нефтепродуктов в резервуаре можно представить следующим образом (рис. 3). Факел горящих паров поднимается над срезом резервуара на высоту $H_{\phi} = (1 \dots 1,5)D$. Обозначив высоту резервуара как H_p , центр факела находится примерно на высоте $H_{\psi} = (0,5 \dots 0,75)D + H_p$. Соотношение между диаметром резервуара и его высотой есть величина постоянная для конкретного сооружения, обозначим: $D/H_p = k_p$.

Тогда

$$H_{\psi} = (0,5 \dots 0,75) H_p k_p + H_p = [(0,5 \dots 0,75) k_p + 1] H_p. \quad (5)$$



1, 2 – соответственно границы зон безопасной работы в спецодежде и с применением противотепловых средств; 3 – резервуар; 4 – факел пожара; H_p , H_{ϕ} , D_p , D_{ϕ} – высоты и диаметры резервуара и факела горения; R – расстояние до центра факела; L – расстояние до центра резервуара

Рисунок 3 – Параметры обстановки при горении нефтепродуктов в резервуаре

Анализ геометрических размеров типоряда резервуаров для хранения нефти и продуктов ее переработки показал, что отношение высоты к диаметру для вместимостей до 3000 м³ составляет в среднем $k_p = 1,2$, для резервуаров большего размера ее средняя величина составляет $k_p = 2,48$.

Величина высоты расположения центра факела, исходя из выражения (5), составит:
– для резервуаров вместимостью до 3000 м³

$$H_{\psi} = [(0,5 \dots 0,75)/1,2 + 1] H_p = (1,4 \dots 1,6) H_p; \quad (6)$$

– при вместимости более 3000 м³

$$H_{\psi} = [(0,5 \dots 0,75)/2,48 + 1] H_p = (1,2 \dots 1,3) H_p. \quad (7)$$

Расстояние R от центра факела до спасателя определяется из геометрических выкладок

$$R^2 = L^2 + H_{\psi}^2,$$

где L – расстояние по горизонтали от центра резервуара до пожарного, м.

Для приближенной оценки влияния прямых тепловых лучей при горении светлых нефтепродуктов можно выражение (2) можно упростить:

$$q = \frac{f \cdot Q_n}{4 \cdot \pi \cdot (L^2 + H_u^2)} = \frac{0,75 \cdot Q_n}{12,56 \cdot (L^2 + H_u^2)} = \frac{0,06 \cdot Q_n}{(L^2 + H_u^2)}. \quad (8)$$

Для нефтепродуктов типа бензин, керосин, мазут принимают $\beta_{nz} = 0,85$. Q_n – низшая теплота сгорания наиболее распространенных жидких углеводородов (например, бензин – 41,87, керосин – 43,54, МДж/кг) в среднем составляет 42,7 МДж/кг, молекулярная масса в среднем $M = 260$.

Для оперативных расчетов внешней тепловой нагрузки на спасателя от горящих в резервуарах нефтепродуктов, на основе выражения (8), рекомендована следующая приближенная формула:

$$q \approx \frac{750 \cdot V}{(L^2 + H_u^2)}. \quad (9)$$

Минимальное расстояние, на котором можно производить оперативные действия без применения средств противотепловой защиты, и где интенсивность тепловыделения не превышает $q_{без} = 5,6$ МДж/м² час, подставляя в (9) имеем

$$5,6 \approx \frac{750 \cdot \pi \cdot D^2}{(L^2 + H_u^2)},$$

откуда

$$L = \sqrt{102,45 D^2 - H_u^2}. \quad (10)$$

Из выражения (10) следует, что радиус безопасной зоны L величина постоянная, предопределенная геометрическими параметрами резервуаров с продуктами переработки нефти. Эта зона может быть заблаговременно нанесена на планы нефтехранилищ, обозначена в оперативных документах. Целесообразно заранее обозначить ее на местности, что существенно обезопасит работу младшего командного и рядового состава частей службы чрезвычайных ситуаций, особенно прибывающих согласно диспозиции.

При инженерном оборудовании резервуарных парков, кроме обвалования следует возвести экранирующие сооружения в местах расположения внутриобъектной пожарной арматуры: задвижек, гидрантов, пожарных гаек и т. п. При этом следует основываться на расчетных значениях интенсивности и векторе теплового излучения очага горения.

Заключение. В ходе исследований дальнейшее развитие получил механизм тепловой нагрузки на спасателя, включающий внешние пути нагрева от очага горения и от Солнца (лучевые, конвективные и кондуктивные), и внутренние (тепловыделение организма, работа регенеративной дыхательной системы). Было установлено, что для внешней тепловой нагрузки преобладающими являются лучевые потоки энергии, а остальные, как правило, производные от них.

В результате выполненной работы обоснована зависимость для оперативной оценки лучевого теплового потока при горении нефтепродуктов в резервуарах и выражение для расчета безопасных зон ведения аварийных работ вблизи горящих в резервуарах нефтепродуктов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лин, А.С. Аналіз проблем створення та випробування термозахисних властивостей одягу пожежників / А.С. Лин // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Л.: ЛПІБ, 2004. – № 5. – С. 139-143.
2. Болибрух, Б.В., Хмель, М. Разработка и верификация расчетной модели теплового состояния теплозащитной одежды пожарного при различных видах испытаний / TECHNIQUE AND TECHNOLOGY, - ВіТР, Vol. 38 Issue 2, 2015, pp. 53-61.
3. Боевая одежда и снаряжение пожарного / Д.В. Поповский, В.Ю. Охломенко / Метод. пособие под общей ред. В.А. Грачева/ Академия ГПС МЧС России – М.: 2004. – 86 с.
4. ГОСТ Р 53264-2009 Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний.

5. ГОСТ ISO 11612-2014 Система стандартов безопасности труда. Одежда для защиты от тепла и пламени. Общие требования и эксплуатационные характеристики.
6. Textiles for protection. Edited by Richard A. Scott, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 2005.
7. Костенко, В.К. Шляхи удосконалення засобів протитеплого захисту рятувальників / Вісті Донецького гірничого інституту. – Донецьк, 2015. – № 2. – С. 50-57.
8. Основи теорії розвитку та припинення горіння / Г.І. Елагін, М.Г. Шкарабура, М.А. Кришталь, О.М. Тіщенко. – Підручник / Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля. Черкаси: 2013. – 460 с.
9. Блинов, В.И., Худяков, Г.Н. Диффузионное горение жидкостей. М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 207 с.

DEVELOPMENT OF METHODS FOR OPERATIONAL FORECASTS HEAT LOAD ON RESCUERS IN FIRE FIGHTING OF BURNING RESEVOIRS WITH OIL PRODUCTS

Tetyana Kostenko, Candidate of Technical Sciences

Cherkassy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chornobyl of National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkassy, Ukraine

Viktor Kostenko, Doctor of Technical Sciences, Professor

Donetsk National Technical University, Donetsk region, Pokrovs'k, Ukraine

Purpose. The purpose of research is to develop the foundations of methods of operational forecasting the influence of external factors that determine the thermal load on the rescuers, for selecting anti thermal means to extinguish the burning tanks with oil.

Methods. Theoretical substantiation of dependence for operative estimation the radiant heat flow, and the expression for calculation of safe zones of conducting emergency works near the burning of oil products reservoirs.

Findings. It is received further development of the mechanism of heat load on the rescuer, including outside heat path from the source of burning and from the Sun, and inside (the heat dissipation of the body, regenerative work of respiratory system). It is established, that for external heat load are prevalent ray energy flows, and the other, as a rule, derivative of them. Geometrical dimensions of reservoirs for the storage of oil products predetermine the amount of energy radiated by fire. The dependence for operative estimation of the radiant heat flow, and the formula for calculation of safe zones of conducting emergency works near the burning of oil products reservoirs is substantiated.

Application field of research. Safe zone of conducting emergency works can be applied previously on the oil storage tanks plans, indicated in the operational documents. It is advisable to pre-label it in the terrain that essentially will protect personnel of the working parts of emergency services, especially arriving in accordance with the disposition.

Keywords: burning of oil products, reservoir, heat load on rescuer, ray energy.

(The date of submitting: October 13, 2016)

REFERENCES

1. Lyn A.S. Analiz problem stvorennja ta vyprovuvannja termozahysnyh vlastyvostej odjagu pozhezhnykiv [Analysis of problems creating and testing antitermal properties clothing firefighters]. *Pozhezhna bezpeka: Zb. nauk. pr. Lviv*, 2004. No 5. Pp. 139-143. (ukr)
2. Bolybruh B.V., Hmel' M. Development and Verification of a Mathematical Model Dealing with Thermal Protective Garments for Different Types of Tests. *TECHNIQUE AND TECHNOLOGY*, BiTP, Vol. 38 Issue 2, 2015, Pp. 53-61. (rus)
3. Popovskij D.V., Ohlomenko V.Ju. *Boevaja odezhda i snarjazhenie pozharnogo* [Fighting clothing and equipment firefighter]. Metod. posobie pod obshhej red. V.A. Gracheva. Akademija GPS MChS Rossii, Moscow: 2004. 86 p. (rus)
4. *Interstate Standard 53264-2009* Special'naja zashhitnaja odezhda pozharnogo. Obshhie tehicheskie trebovanija. Metody ispytanij [Special protective clothing firefighter. General technical requirements. Methods of testing]. (rus)
5. *Interstate Standard ISO 11612-2014* Sistema standartov bezopasnosti truda. Odezhda dlja zashhity ot tepla i plameni. Obshhie trebovanija i jekspluacionnye harakteristiki [Occupational safety standards system. Clothes for protection against heat and flame. General requirements and characteristics]. (rus)
6. *Textiles for protection*. Edited by Richard A. Scott, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 2005. (eng)
7. Kostenko V.K. Shljahy udoskonalennja zasobiv protyteplovogo zahystu rjatuval'nykiv [Ways to improve thermal protection means for rescuers] *Visti Donec'kogo girnychogo instytutu*. Pokrovs'k, 2015. No 2. Pp. 50-57. (ukr)
8. Elagin G.I., Shkarabura M.G., Kryshchal' M.A., Tishhenko O.M. *Osnovy teorii' rozvytku ta prypynennja gorinnja* [Basic theory of progress and stopping of burning]. Akademija pozhezhnoi' bezpeky im. Gerioi'v Chornobylja. Cherkasy: 2013. 460 p. (ukr)
9. Blinov V.I., Hudyakov G.N. *Diffuzionnoe gorenje zhidkostey* [Diffusion combustion of liquids] Moscow: Publishing house Academy of Sciences of the USSR, 1961, 207p. (rus)