

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЖИДКОЙ ДВУОКСИ УГЛЕРОДА ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

С.В. Шарапов, доктор технических наук профессор;

В.А. Боблак.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Описаны натурные огневые испытания по тушению пожара в вертикальном стальном резервуаре (РВС-2000) установкой газового пожаротушения на базе изотермического модуля для жидкой двуокиси углерода. По их результатам дана оценка эффективности подобных установок газового пожаротушения, и обоснованы основные параметры, необходимые для их проектирования.

Ключевые слова: газовое пожаротушение, двуокись углерода, горючая жидкость, резервуар вертикальный стальной, способ тушения пожара по объёму, общепереходный способ тушения

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE LIQUID CARBON DIOXIDE APPLICATION IN FIRE SUPPRESSION OF Oil TANK STORAGE

This research is devoted to experimental studies of efficiency of liquid carbon dioxide estimation for fire suppression of oil tanks and oil products. It describes the full-scale fire-fighting tests in the vertical steel tank (RVS-2000) gas fire extinguishing system based on the isothermal module for liquid carbon dioxide. Effectiveness of gas fire extinguishing system evaluated according to research results, the basic parameters needed for the redesign are substantiated.

Key words: gas fire suppression, carbon dioxide, flammable liquid, vertical steel tank, volume fire extinguishing, surface extinguishing

В настоящее время автоматические установки газового пожаротушения (АУГП) на базе изотермического модуля для жидкой двуокиси углерода (МИЖУ) получили достаточно широкое применение для противопожарной защиты различного назначения. Применение огнетушащих газов может обеспечить тушение всех видов нефти и нефтепродуктов и существенно повысить быстродействие автоматических установок пожаротушения [1]. Однако практический опыт применения установок пожаротушения на основе двуокиси углерода для противопожарной защиты резервуаров с нефтью и нефтепродуктами в настоящее время отсутствует. Отдельные опубликованные по данному вопросу работы [2, 3] позволяют сделать лишь общий вывод о принципиальной возможности применения указанных систем газового пожаротушения для защиты резервуарных парков.

Для проведения натурных огневых испытаний был использован РВС объёмом хранения 2000 м³, железнодорожная цистерна объёмом 60 м³, а также установка газового пожаротушения МИЖУ-16/2.2 в комплекте. Программой экспериментальных исследований предусматривалось:

- оценка эффективности АУГП на базе МИЖУ для тушения РВС по площади пожара, а также локально-объёмного тушения пожара на сливноналивной эстакаде (СНЭ);
- проверка рабочей гипотезы о возможности возникновения эффекта срыва (отрыва) пламени с горящего РВС при подаче CO₂ на тушение пожара, за счет резкого,

лавинообразного снижения температуры в зоне горения, уменьшения поступления паров испаряющейся горючей жидкости в эту зону и изоляцию ее от зоны горения;

- определение уровня влияния скорости ветра на перенос массы двуокиси углерода из РВС и его возможное отрицательное влияние на эффект тушения (экспериментальное обоснование коэффициентов K_2 и K_3);

- получение экспериментально обоснованных значений параметров, необходимых для проектирования АУГП на базе МИЖУ: нормативное время и интенсивность подачи двуокиси углерода.

Учитывая сложность и высокую стоимость проведения экспериментальных исследований на натуральных полномасштабных объектах, программой испытаний предусматривалось ограничиться проведением испытаний в два этапа, отличающимися начальными условиями возникновения пожара в РВС и СНЭ, а также характеристиками ветровой нагрузки. В рамках каждого этапа проводилось по три огневых испытания для РВС и СНЭ.

Для имитации частичного разрушения (отрыва) крыши резервуара вследствие взрыва паровоздушной смеси, в ней были вырезаны четыре сегмента, суммарная площадь которых составляет примерно 80 % от общей площади крыши резервуара.

Резервуар наполнялся водой в количестве, обеспечивающем образование свободного пространства от зеркала воды до верхней кромки резервуара. Его высота должна составлять 3,0–3,5 м. Затем в резервуаре на зеркале воды формируется слой горючей жидкости высотой до 0,5 м. Горючая жидкость представляла собой смесь дизельного топлива с бензином.

В процессе проведения эксперимента измерялись следующие величины:

- температура стенок резервуара с нефтепродуктами, на котором проводятся огневые испытания. Для этого на наружной поверхности резервуара с нефтепродуктами на расстоянии 5–10 см от верхней его кромки на равных расстояниях друг от друга по периметру закрепляются четыре термопары;

- температура стенок соседних резервуаров, подверженных возможному воздействию моделируемого пожара. На них также устанавливаются термопары;

- избыточное давление внутри магистрального и распределительного трубопроводов. На магистральном трубопроводе устанавливается три датчика избыточного давления, один на выходе из МИЖУ, второй в средней части и третий в конце трубопровода. На распределительном трубопроводе устанавливаются два датчика перед насадками.

Контроль и регистрация процессов горения и тушения нефтепродуктов в резервуаре осуществляется посредством трёх устройств видео наблюдения. Места установки этих устройств определяются экспертно. Скорость ветра в приземном слое контролируется двумя анемометрами АТТ-1006.

Время горения нефтепродуктов в резервуаре, инерционность АУГП и время ликвидации горения определяется по показаниям секундомеров.

Воспламенение нефтепродуктов осуществляется специальным устройством, установленным внутри резервуара.

Количество CO_2 , которое подаётся при проведении испытаний по тушению пожара, контролируется системой управления МИЖУ и задаётся уставкой, регулятора подачи огнетушащего вещества. В МИЖУ за четыре дня до начала испытаний заправляется CO_2 в количестве 15000 кг.

По результатам каждого испытания оформляется протокол, в котором отражаются следующие параметры:

- график изменения температуры корпуса резервуара и соседнего с ним во время проведения испытаний;

- масса CO_2 , поданная во время испытаний;

- инерционность АУГП, то есть интервал времени от момента пуска установки до начала выхода CO_2 из первого насадка;

- давление в магистральном трубопроводе и перед насадками;

– скорость ветра, на высотах 12–15 м и 4–7 м.

Приложением к протоколу является видеозапись процессов возникновения и ликвидации пожара.

В соответствии с Программой и Методикой экспериментальных исследований по оценке возможности применения МИЖУ-16/2.2, для защиты РВС с нефтепродуктами было проведено 6 испытаний. Они проведены в два этапа, отличающиеся по условиям возникновения пожара и интенсивностью ветровой нагрузки.

В рамках первого этапа экспериментальных исследований были проведены три испытания по тушению пожара РВС с дизельным топливом с помощью МИЖУ-16/2.2. В одном из них углекислота подавалась как внутрь резервуара, так и снаружи, вдоль его стенок сверху вниз. Целью подачи углекислоты снаружи являлось определение возможности ликвидации пожара, как в резервуаре, так и внутри обвалования.

Пуск МИЖУ-16/2.2 осуществлялся дистанционно вручную, по истечении задаваемого времени свободного горения нефтепродукта (дизельного топлива) в резервуаре. В испытаниях первого этапа оно устанавливалось равным 126 сек.

По результатам визуального наблюдения и анализа видеосъемок было установлено, что пожар в резервуаре и обваловании был ликвидирован во всех трёх испытаниях. Видеосъёмкой был зафиксирован эффект срыва пламени с горящего РВС, за счет резкого, лавинообразного снижения температуры в зоне горения, после подачи CO₂ на тушение пожара (рис.).



Рис. Эффект срыва пламени с горящего РВС

Таблица 2. Результаты испытаний по тушению РВС (Этап 2, время свободного горения – 142 сек.)

№ Испытания	Масса выпуска (кг)	Объем трубопровода	Масса в трубопроводе (кг)	Рабочая масса (кг)	Длина магистрали (м)	Количество насадков (шт.)	Время открытого состояния ЗПУ (сек.)	Площадь отверстий насадка ()	Массовый расход (кг/сек.)	Инерционность АУГП (сек.)	Средняя скорость ветра за время тушения (м/сек.)
1	3620	1,52	1520	2100	82	16	45	450	9	6	4,8
2	3620	1,52	1520	2100	82	16	45	450	9	6	3,3
3	3620	1,52	1520	2100	82	16	45	450	9	6	7,4

Средняя скорость ветра, полученная инструментально за время ликвидации пожара, для всех трёх проводимых испытаний, изменялась от 0,8 м/с до 1,4 м/с. Во всех трёх

испытаниях установка газового пожаротушения на базе МИЖУ эффективно ликвидировала пожар в РВС.

Таблица 2. Результаты испытаний по тушению РВС (Этап 2, время свободного горения – 142 сек.)

№ Испытания	Масса выпуска (кг)	Объем трубопровода	Масса в трубопроводе (кг)	Рабочая масса (кг)	Длина магистрали (м)	Количество насадков (шт)	Время открытого состояния ЗПУ (сек.)	Площадь отверстий насадка (м ²)	Массовый расход (кг/сек.)	Инерционность АУГП (сек.)	Средняя скорость ветра за время тушения (м/сек.)
1	5600	1,52	1520	4080	82	16	45	450	9	6	3,3
2	3620	1,52	1520	2100	82	16	45	450	9	6	0,8
3	3620	1,52	1520	2100	82	16	45	450	9	6	4

В рамках проведения второго этапа экспериментальных исследований были существенно усложнены условия возникновения пожара в РВС: внутрь резервуара был введен постоянный источник воспламенения нефтепродуктов; блокирована подача углекислоты снаружи резервуара; – увеличено время свободного горения нефтепродуктов до 142 сек.

Анализ результатов визуального наблюдения и видеосъемок показал, что интервал времени от пуска МИЖУ до полной ликвидации горения нефтепродуктов в резервуаре составил не более 45 сек. Средняя скорость ветра, полученная инструментально за время ликвидации пожара, для всех трёх испытаний проведённых в рамках второго этапа, изменялась от 4,8 м/с до 7,4 м/с.

Большой, чем в испытаниях первого этапа, интервал времени, который потребовался для ликвидации пожара, вызван увеличением времени сводного горения нефтепродуктов и наличием постоянного источника воспламенения внутри резервуара.

В соответствии с Программой экспериментальных исследований было проведено три испытания по применению МИЖУ-16/2,2. для тушения пожара – тушение железнодорожной цистерны ($V = 60 \text{ м}^3$) с разлившимися нефтепродуктами.

Разлив нефтепродуктов имитировался установкой двух модельных очагов пожара в виде противней размером 800x800 мм и высотой 150 мм с дизельным топливом под цистерной. Время свободного горения модельных очагов пожара составило 3 минуты.

Интервал времени с момента начала выпуска углекислоты до полной ликвидации горения модельных очагов пожара составил 29 сек. Количество израсходованной углекислоты во всех испытаниях было равно 610 кг, удельный расход углекислоты на тушение не превысил значение $0,33 \text{ кг/м}^2\text{с}$ за время 35 с и $0,258 \text{ кг/м}^2\text{с}$ за время подачи CO_2 равном 45 сек.

Средняя скорость ветра, полученная инструментально для всех трёх испытаний по тушению СНЭ изменялась от 0,8 м/с до 2,4 м/с.

Проведённые испытания подтвердили, возможность реализации противопожарной защиты сливо-наливных эстакад посредством применения АУГП на базе МИЖУ.

Обработка данных проведения экспериментальных исследований по тушению РВС осуществлялась с учётом применения способа тушения по поверхности зеркала горючей жидкости и стенок резервуара. Так как в общем виде невозможно предвидеть точные условия возникновения горения и уровень горючей жидкости в резервуаре, то требуемая расчетная масса CO_2 будет определяться следующим выражением:

$$M_p = (F_{p1} \cdot I_{треб1} + F_{p2} \cdot I_{треб2}) \cdot K_2 \cdot \tau_{треб}, \quad (1)$$

где: F_{p1} – расчетная площадь тушения зеркала резервуара, м²; F_{p2} – расчетная площадь тушения отложений на стенках (бортов) резервуара, м²; K_2 – повышающий коэффициент, учитывающий потери CO₂, в том числе вследствие воздействия ветровой нагрузки; $I_{треб1}$ – интенсивность подачи CO₂ при тушении пожара на площади зеркала резервуара, кг/м² с; $I_{треб2}$ – интенсивность подачи CO₂ при тушении пожара на площади стенок (бортов) резервуара, кг/м² с; $\tau_{треб}$ – требуемое время тушения пожара, сек.

После обработки экспериментальных данных для РВС получаем следующие значения неизвестных параметров входящих в выражение (1): $K_2=1,1$; $I_{треб1}=0,258$ кг/м² с; $I_{треб2} = 0,007$ кг/м² с; $\tau_{треб} = 45$ сек.

Обработка данных проведения экспериментальных исследований по тушению цистерн на сливноналивной эстакаде осуществлялась исходя из требования, что расчетная масса двуокиси углерода M_p , определяется как максимальное из двух значений, соответствующих различным способам тушения локально по объему или по защищаемой площади эстакады.

При локально объемном тушении СНЭ – M_p определяется по формуле:

$$M_p = K_3 \cdot V_p \cdot I^V_{треб} \cdot \tau_{треб}, \quad (2)$$

где: $I^V_{треб}$ – интенсивность подачи CO₂ при локально-объемном тушении, кг/м³с; $\tau_{треб}$ – нормативное время тушения, определяемое из эксперимента, с; K_3 – коэффициент, учитывающий потери газового огнетушащего вещества в пространстве гарантированной зоны тушения цистерн на СНЭ. V_p – объем пространства гарантированной зоны тушения цистерн на СНЭ.

При поверхностном тушении по защищаемой площади СНЭ M_p определяется по формуле:

$$M_p = F_p \cdot I^F_{треб} \cdot K_3 \cdot \tau_{треб}, \quad (3)$$

где: F_p – расчетная площадь тушения, для сливноналивных железнодорожных эстакад, определяется площадью аварийного разлива нефтепродукта, м²; K_3 – коэффициент, учитывающий потери газового огнетушащего вещества; $I^F_{треб}$ – интенсивность подачи CO₂ при тушении пожара на площади F_p , кг/м²с; $\tau_{треб}$ – требуемое время тушения пожара (подачи CO₂), определяемое из эксперимента, сек.

После обработки экспериментальных данных для СНЭ получаем следующие значения неизвестных параметров входящих в выражения (2)–(3):

$$I^F_{треб} = 0,365 \text{ кг/м}^2\text{с}; I^V_{треб} = 0,106 \text{ кг/м}^3\text{с}; \tau_{треб} = 20 \text{ с}; K_3 = 1,2$$

Таким образом, по результатам проведения натурных огневых испытаний, подтверждена возможность эффективного применения установок газового пожаротушения на базе МИЖУ для ликвидации пожаров РВС в начальной стадии его возникновения. При этом:

- время свободного горения нефтепродукта (дизельного топлива) в резервуаре изменялось от 126 сек. до 146 сек.;
- скорость ветра в приземном слое до 7 м/с.

Выявлено незначительное влияние ветровой нагрузки на эффективность тушения пожара в РВС установками газового пожаротушения на базе МИЖУ. Количество и

интенсивность подачи углекислоты в зону горения, время ликвидации пожара являлись практически постоянными величинами, при изменении скорости ветра в приземном слое от 0,8 м/с до 7 м/с.

По результатам проведения натуральных огневых испытаний, подтверждена принципиальная возможность применения установок газового пожаротушения на базе МИЖУ для ликвидации пожаров СНЭ.

Экспериментально обоснованы основные параметры необходимые для проектирования установок газового пожаротушения на базе МИЖУ для защиты РВС и СНЭ.

Литература

1. Меркулов В.А. Газовое пожаротушение. Состояние и перспективы развития // Пожаровывобезопасность. 2003. № 2. С. 62–63.

2. Бабуров В.П., Бабурин В.В., Фомин В.И. [и др.]. Производственная и пожарная автоматика. Ч. 2. Автоматические установки пожаротушения: учебник. М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. 298 с.

3. Старков Н.Н. Тушение пожаров нефтепродуктов и полярных жидкостей диоксидом углерода твердым гранулированным: дис. ... канд. техн. наук. М., 2009. 191 с.