

И.В. Макунин, генеральный директор ООО «ТЕХНОС-М+»
А.М. Шаравин, главный инженер ООО «ТЕХНОС-М+»

АСПЕКТЫ ТУШЕНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ СЖИЖЕННОЙ ДВУОКИСЬЮ УГЛЕРОДА

Предложено при проектировании автоматических установок газового пожаротушения для каждого объекта учитывать интенсивность подачи ГОТВ, расход, время тушения и время охлаждения стенок резервуара. Для охлаждения стенок резервуара требуется предусмотреть специальные распылители. В результате исследований получено, что при площади зеркала резервуара $1,1 - 176 \text{ м}^2$ и оптимальной интенсивности подачи CO_2 $J = 0,224 - 0,297 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ обеспечивается эффективное пожаротушение. При этом удельный расход ГОТВ $q_{\text{туш}}$ составил $6,04 - 7,722 \text{ кг}/\text{м}^2$. Время тушения $t_{\text{туш}}$ не превышало 39 с.

Ключевые слова: резервуар, горение, тушение, охлаждение, время, интенсивность

Статистика пожаров в России анализируется и приводится ежеквартально, за полугодие и за год в [1]. Основные принципы и перспективы тушения крупномасштабных пожаров в больших объемах сжиженной двуокиси углерода приведены в работе [2]. Статистика пожаров в нефтегазовой отрасли за 8 лет (2005-2013 гг) отражена в [3]. Там же приведены результаты 2-х испытаний по тушению резервуара РВС-2000 при помощи модуля изотермического МИЖУ-16/2.2. Авторы работы, при определении необходимого для тушения количества двуокиси углерода, ориентировались на данные, полученные для передвижных углекислотных огнетушителей. Принято, что удельный расход CO_2 $13 \text{ кг}/\text{м}^2$, достаточен для гарантированного подавления очага горения при времени подачи не более 60 с. Проведенные испытания [3] подтвердили обоснованность принятых параметров. В [4] приводится описание пожара нефтепродуктов на Украине, в результате которого 6 человек погибло, 15 пострадало. Пожар тушили с 08.06 по 15.06 2015. Проблема тушения крупных пожаров нефтепродуктов, в т. ч. резервуарного парка, продолжает оставаться актуальной. Требуют дальнейшего обоснования основные параметры тушения с учетом развития аварийных ситуаций и пожаров с привязкой к конкретным объектам.

Экспериментальные исследования моделирование тушения резервуаров на их разномасштабных моделях проводились в два этапа.

На первом этапе изучалось тушение модели резервуара РВС-5000 заполненного дизельным топливом. Макет резервуара выполнен в масштабе 1:10.

На втором этапе оценивались параметры тушения макета резервуара РВС-1000 на основе полномасштабной модели резервуара. В качестве горючего использовался мазут.

1-й этап.

Описание макета.

Резервуар РВС-5000 имеет внутренний диаметр 20,920 м., площадь 343,55 м². Макет выполнен в масштабе 1:10 с внутренним диаметром 2,092 м, площадь 3,435 м². Высота макета составляет 0,40 м. Макет заполнен водой на высоту 0,1 м. Поверх воды залит слой дизельного топлива высотой 0,1 м. На высоте 0,30 м на равном расстоянии друг от друга располагаются 8 отверстий под распылители.

Описание установки пожаротушения:

Установка выполнена на основе модулей МГП вместимостью 60 и 80 л. Масса газового огнетушащего вещества (двуокиси углерода) принята из условия 13 кг на 1 м² зеркала горючего, расчетное количество ГОТВ составляло 45 кг, время тушения - 90 секунд (п.п. Б4, Б5 СП 155.13130.2014). В экспериментах масса газа и давление ГОТВ в модулях изменялось для выявления оптимальных условий подачи ГОТВ. Установка состояла из 2-х модулей с ручным пуском (основной и резервный), подключенных в один коллектор, располагаемых на расстоянии 12 метров от макета резервуара. С внутренней стороны макета резервуара установлены 8 распылителей под углом 20° для обеспечения тушения и охлаждения стенок.

Условия проведения экспериментов. Опыты проводились на открытом воздухе при температуре +15°С. Скорость ветра не превышала 3 м/с. Макет располагался на асфальтовом основании.

Эксперимент №1.

В установке использованы основной и резервный модули МГП вместимостью 60 л с количеством ГОТВ 42 кг (в каждом модуле). Давление в основном модуле составляло 2МПа (20 бар).

После «поджига» очага осуществлялось его разгорание в течение 70 секунд, затем производился пуск ГОТВ только из основного модуля. Время тушения составило 13 секунд. Время работы установки - 53 секунды. После окончания работы установки очаг был потушен, повторного воспламенения не произошло.

Вывод. Модель резервуара была надежно потушена установкой с количеством ГОТВ 42 кг. При этом средняя интенсивность подачи ГОТВ составила $0,2306 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, время тушения - 13с, охлаждения 40с, на тушение израсходовано 10,3 кг CO_2 .

Эксперимент №2.

Установка состоит из основного и резервного модулей МГП вместимостью 60 л с количеством ГОТВ 42

кг. Давление в основном модуле составляло 3МПа (30 бар).

После осуществления «поджига» очага осуществлялось его разгорание в течение 97 секунд, затем производился пуск ГОТВ только из резервного модуля. Время тушения составило 11 секунд. Время работы установки – 50 с, охлаждения - 39 секунд. Повторного воспламенения не произошло.

Вывод. Модель резервуара была надежно потушена установкой с количеством ГОТВ 42 кг. При этом средняя интенсивность подачи ГОТВ (за 50с) составила 0,2445 кг/(м².с), время тушения – 11с, охлаждения – 39с, на тушение израсходовано 9,24 кг СО₂.

Общий вывод по экспериментам №1 и №2. Модель резервуара была надежно потушена установкой с количеством ГОТВ 42 кг, что на 6,7% меньше расчетного. При увеличении давления с 2,0 МПа до 3,0 МПа срыв пламени происходит на 15,4% быстрее, а время работы установки сокращается на 5,7%.

На рис.1, 2 представлены фото горения модельного очага и результат тушения.

Эксперимент №3.

Установка состояла из основного и резервного модулей МПП вместимостью 80 л с количеством ГОТВ 56 кг в каждом модуле. Давление в основном модуле составляло 3МПа (30 бар). Тушение осуществлялось основным модулем.

После «поджига» осуществлялось разгорание очага в течении 148 секунд. Время тушения составило 14 секунд. Время работы установки - 54 с, охлаждения – 40 с. После окончания работы установки очаг был потушен, повторного воспламенения не произошло.

Вывод. При массе ГОТВ 56 кг (больше расчетного) и давлении в модуле 3МПа происходит уверенное пожаротушение очага пожара. Время работы установки из-за увеличения массы газа на 4 секунды больше (опыты №2 и №3). Увеличение времени разгорания с 97с (опыт №2) до 148с (опыт №3) приводит к увеличению времени тушения с 11с до 14с. При этом средняя интенсивность подачи ГОТВ составила 0,302 кг/(м².с), на тушение израсходовано 14,52 кг СО₂.



Рис. 1. Горение дизельного топлива в макете резервуара РВС-5000, выполненного в масштабе 1 : 10



Рис. 2. Результат тушения дизельного топлива в макете резервуара РВС-5000, выполненного в масштабе 1 : 10

II-й этап. Тушение мазута модулем пожаротушения изотермическим (МПИ) на макете РВС-1000.

Условия проведения испытаний

Испытания проводились на макете вертикального резервуара РВС -1000 диаметром 10,0 м. Горизонтальная площадь макета резервуара РВС-1000 составляет 78,5м². Расчетное количество ГОТВ 1021 кг.

Результаты испытаний

Испытание №1 Выпуск основного расчетного количества ГОТВ. В качестве горючего применялась смесь мазута топочного 40 (99% от общей массы нефтепродукта) и бензина (1% от общей массы), находящаяся в верхнем уровне влива при толщине слоя 110,0 мм на расстоянии 1200 мм от верхней кромки резервуара и температуре 33°С.

Время свободного горения 95с, тушения 19с, охлаждения 28с.

Расчетное количество жидкой двуокиси углерода подавали через 8 насадков, направленных к центру резервуара и 8 специальных насадков, предназначенных для охлаждение стенок резервуара. Давление в МПИ - 3,2МПа перед началом испытания и 2,3МПа по завершении подачи ГОТВ. Температура самовоспламенения мазута топочного 380°С [5]. Максимальная температура стенок резервуара составляла 461°С.

На рис.3, 4 в качестве примера представлены графики изменения давления и температуры при работе МПИ.

Вывод: опыт подтвердил эффективность тушения пожара основным количеством ГОТВ и стабильность работы МПИ.

Испытание №2 Выпуск резервного запаса ГОТВ через 2 мин после испытания №1. Нефтепродукт находится в верхнем уровне влива при толщине слоя 105 мм. на расстоянии 1205 мм от верхней кромки резервуара и температуре 34°С. Время свободного горения в резервуаре 91с, время тушения 17с, охлаждения 33с.

Вывод: опыт подтвердил эффективность тушения по-

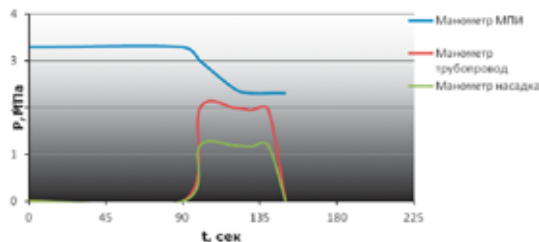


Рис. 3. Изменение давления опыт 1 этап II

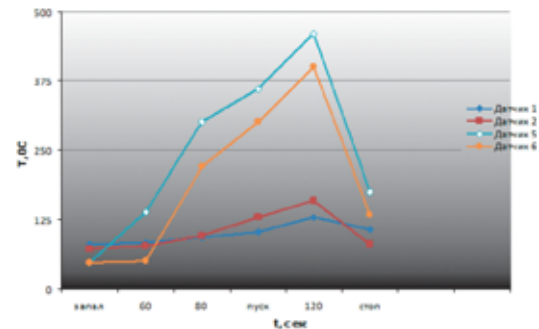


Рис. 4. Изменение температуры стенок резервуара опыт 1 этап II при работе МПИ (датчик 5 размещен внутри резервуара на расстоянии 50 мм от его верхней кромки; датчик 6 – 200 мм; датчики 1, 2 – 100 и 150 мм от поверхности горючего)

жара резервным запасом ГОТВ. Характерна стабильность и устойчивость работы системы по давлению.

Испытание № 3 Применение запаса ГОТВ после перезаправки от передвижной изотермической емкости. Выпуск ГОТВ через 20 мин после испытания №2. Время свободного горения 135с, тушение 27с, охлаждение 84с. Пуск осуществлялся при пониженном давлении в модуле-1,9 МПа.

Вывод: подтверждена эффективность применения МПИ после перезаправки от передвижной изотермической емкости при увеличении времени свободного горения до 135с. Время перезарядки и подготовки модуля к пуску составило 20 мин.

Обобщенные результаты испытаний отражены в таблице 1, они были проанализированы и сравнены с известными литературными данными.

Для анализа и дальнейшего прогнозирования эффективности тушения оценены следующие параметры, полученные в экспериментах: средняя интенсивность подачи ГОТВ J , кг/(м².с); удельный расход ГОТВ q , кг/м²; удельный расход ГОТВ при тушении $q_{туш}$, кг/м²; масса ГОТВ, затраченная на тушение $M_{туш}$, кг; полная масса ГОТВ выпущенная из установки $M_{вып}$, кг. А также временные характеристики: время полного выпуска ГОТВ $t_{вып}$, с; время тушения $t_{туш}$, с; время охлаждения $t_{охл}$, с. S – площадь зеркала резервуара, м²; $q = M_{вып} / S$, кг/м²; $J = q / t_{вып}$, кг/(м².с); $q_{туш} = J \cdot t_{туш}$, кг/м²; $M_{туш} = q_{туш} \cdot S$, кг.



Рис. 5. Опыт №1, этап 2, горение в максимальной фазе, температуры показаны на рис. 4



Рис. 6. Опыт №1, этап 2. Результат тушения

Таблица 1

№ п/п	Основные параметры	№ испытания		
		1	2	3
1	Уровень ГЖ перед началом испытания, мм (от верхней кромки)	1200	1205	1210
2	Температура стенок резервуара перед испытанием, °С	48	50	51
3	Длина магистрали, м	58	58	58
4	Внутренний диаметр магистрали, мм	76	76	76
5	Длина распред. трубопровода, м	33	33	33
6	Внутренний диаметр распред. трубопровода, мм	53,5	53,5	53,5
7	Общий объем трубопровода, м ³	0,337	0,337	0,337
8	Давление в МПИ в начале испытания, МПа	3,2	2,3	1,9
9	Масса СО ₂ в МПИ перед испытанием, кг	2850	1450	2850
10	Время горения перед тушением, с	95	91	136
11	Время тушения, с	19	17	27
12	Время охлаждения стенки резервуара после тушения, с	28	33	84
13	Время открытого состояния ЗПУ, с	47	50	111
14	Общая инерционность МПИ, не более, с	2	2	2
15	Масса выпущенного ГОТВ, кг	1400	1400	1950
16	Максимальная температура стенки резервуара, °С, термопара 5	438	439	461
17	Температура стенки резервуара после охлаждения (окончания подачи ГОТВ), °С, термопара 5	175	177	130
18	Давление в МПИ в конце испытания, МПа	2,3	1,6	1,4
19	Время готовности к повторному пуску, мин		2	
20	Время полной перезаправки модуля, мин			20

Результаты расчетов сведены в таблицы 2 – 5. В таблице 2 представлены экспериментальные и расчетные данные 1-го этапа настоящего исследования (площадь зеркала ГЖ в резервуаре 3,435 м²).

Таблица 2

№ п/п	$t_{вып}$, с	$t_{туш}$, с	$t_{охл}$, с	$M_{вып}$, кг	$M_{туш}$, кг	J , кг/(м ² .с)	$q_{туш}$, кг/м ²
1	53	13	40	42	10,3	0,2306	2,998
2	50	11	39	42	9,24	0,2445	2,69
3	54	14	40	56	14,52	0,3019	4,23

В таблице 3 представлены экспериментальные и расчетные данные 2-го этапа настоящего исследования (площадь зеркала ГЖ в резервуаре 78,5 м²).

Таблица 3

№ п/п	$t_{\text{вып}}, \text{C}$	$t_{\text{туш}}, \text{C}$	$t_{\text{охл}}, \text{C}$	$M_{\text{вып}}, \text{КГ}$	$M_{\text{туш}}, \text{КГ}$	$J, \text{КГ}/(\text{M}^2 \cdot \text{C})$	$q_{\text{туш}}, \text{КГ}/\text{M}^2$
1	47	19	28	1400	565,28	0,379	7,2
2	50	17	33	1400	475,88	0,357	6,06
3	111	27	84	1950	474,32	0,224	6,04

В таблице 4 представлены экспериментальные данные работы [3] и результаты их обработки проведенные авторами настоящего исследования (площадь зеркала ГЖ в резервуаре РВС-2000 - 176 м²).

Таблица 4

№ п/п	$t_{\text{вып}}, \text{C}$	$t_{\text{туш}}, \text{C}$	$M_{\text{вып}}, \text{КГ}$	$M_{\text{туш}}, \text{КГ}$	$J, \text{КГ}/(\text{M}^2 \cdot \text{C})$	$q_{\text{туш}}, \text{КГ}/\text{M}^2$
1	40	26	2090	1358,5	0,297	7,722
2	52,5	39	2480	1839,5	0,268	10,452

В таблице 5 представлены данные [6, таб. 3 и таб. 6 для углекислотных огнетушителей] и результаты их обработки проведенные авторами настоящего исследования (площадь модельного очага ГЖ 1,75 – 2,25 м²).

Таблица 5

№ п/п	$t_{\text{вып}}, \text{C}$	$t_{\text{туш}}, \text{C}$	Площадь очага, м ²	$M_{\text{туш}}, \text{КГ}$	$J, \text{КГ}/(\text{M}^2 \cdot \text{C})$	$q_{\text{туш}}, \text{КГ}/\text{M}^2$
1	8	8	1,75	5	0,357	2,857
2	10	10	2,25	6	0,270	2,697

Авторы [3] сообщают, что по полученным ими результатам масштабный фактор не выявлен при оценке влияния площади резервуара на принятую огнетушащую концентрацию. Вместе с тем это может быть также в случае, когда концентрация (удельный расход) завышена для данного диапазона площадей резервуаров.

Как следует из анализа таблиц 2-5 интенсивность подачи ГОТВ $J = 0,224 - 0,379$, кг/(м²·с) обеспечивает эффективное пожаротушение резервуара при площади зеркала резервуара 1,1 – 176 м².

По результатам проведенных испытаний и анализа литературных данных можно сделать следующие выводы:

1. При площади зеркала резервуара 1,1 – 176 м² и оптимальной интенсивности подачи СО₂, $J = 0,224 - 0,297$ кг/(м²·с) обеспечивается эффективное пожаротушение. При этом удельный максимальный расход ГОТВ $q_{\text{туш}}$ составил 6,04 – 7,722 кг/м². Время тушения $t_{\text{туш}}$ не превышало 39 с.
2. Одновременно с тушением установки на базе МПП и МПИ позволяли охлаждать стенки резервуара за счет специальных распылителей, что повышало эффективность тушения и предотвращало повторное воспламенение. Охлаждение стенок резервуара происходило с момента начала тушения (максимальная температура 461°С, испытание №3) и продолжалось до температуры 130°С.
3. С учетом полученных результатов предлагается в АУГП предусматривать дополнительные распылители для охлаждения стенок резервуара.
4. Время ликвидации пожара происходило менее чем за 40 с во всех опытах.
Время готовности модуля МПИ ко второму пуску (резерв) составляло 2 мин. Время восстановления (перезаправка) модуля составляет 20 мин.

Литература

1. ISSN 2411-3778. Пожарная безопасность. Научно-технический журнал. ФГБУ ВНИИПО МЧС России.
2. Копылов Н.П., Кулаков В.Г., Николаев В.М. Применение автоматических углекислотных установок низкого давления – перспективное направление в противопожарной защите больших объемов производственных помещений// «Пожарная автоматика 2009». WWW.SECURPRESS.RU.
3. Меркулов В.А., Кузьменко К.П., Кирсанов А.И. Тушение диоксидом углерода пожаров в вертикальных стальных резервуарах с нефтью и нефтепродуктами// Пожаровзрывобезопасность. 2013. № 3. FIRE-SMI. RU/ARHIVPVB2013/.
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Пожар_на_нефтебазе_под_Киевом.
5. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 книгах; кн. 1/А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М., Химия, 1990. с. 449.
6. ГОСТ Р 51057 – 2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. ИПК Издательство стандартов.2002.



ООО «ТЕХНОС-М+»

603126, г. Нижний Новгород
ул. Родионова, 169-к
тел./факс: (831) 434-83-84, 434-94-76
e-mail: info@technos-m.ru
www.technos-m.ru