

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

с приложением на CD-ROM

«Пожарная безопасность. Компании. Продукция. Услуги»

В НОМЕРЕ:

ОФИЦИАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах.
Постановление Правительства Российской Федерации
от 30 июня 2007 г. № 417

Об утверждении Правил организации и осуществления авиационных
работ по охране и защите лесов. Постановление Правительства
Российской Федерации от 19 июня 2007 г. № 385

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Оценка пожарного риска морских нефтегазодобывающих платформ
Пожарная безопасность нефтебазы при возникновении в условиях
городской застройки отступлений от требований пожарной безопас-
ности

Взрывоопасность на объектах водородной энергетики: модификация
двустадийной модели тепловыделения для моделирования детонации
и последствий взрывов

Построение систем обнаружения пожаров, основанных на регистра-
ции индикаторных газов

Моделирование динамики пожаров в спортивных сооружениях
Автоматизированная система анализа социально-психологического
климата в подразделениях федеральной противопожарной службы

ОБМЕН ОПЫТОМ, ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ

Методика отрыва пламени от устья фонтанирующей скважины

Методика прогнозирования лесной пожарной опасности как основа
нового государственного стандарта

Информационный комплекс для повышения уровня подготовки
личного состава федеральной противопожарной службы

СТАТИСТИКА ПОЖАРОВ

Обстановка с пожарами в Российской Федерации за 9 месяцев 2007 г.

ИНФОРМАЦИЯ

Бухгалтерский баланс Некоммерческой организации «Фонд пожарной
безопасности» за 2006 год

Обзор зарубежных изданий

Издания ФГУ ВНИИПО МЧС России

№ 4 2007

СОДЕРЖАНИЕ

ОФИЦИАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 июня 2007 г. № 417

3

Об утверждении Правил организации и осуществления авиационных работ по охране и защите лесов. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 июня 2007 г. № 385

9

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Болодьян И.А., Шебеко Ю.Н., Гордиенко Д.М., Дешевых Ю.И., Гилетич А.Н., Дроздов А.Е. Особенности оценки пожарного риска морских нефтегазодобывающих платформ

11

Шебеко Ю.Н., Болодьян И.А., Гордиенко Д.М., Дешевых Ю.И., Гилетич А.Н., Малкин В.Л., Кириллов Д.С. Оценка пожарной безопасности нефтебазы при возникновении в условиях городской застройки отступлений от требований пожарной безопасности

22

Заев И.А., Кириллов И.А. Взрывоопасность на объектах водородной энергетики: модификация двустадийной модели тепловыделения для моделирования детонации и последствий взрывов

29

Цариченко С.Г., Пастон С.А., Пастон А.Р., Жаров С.А., Куянов А.В. Расчет времени выхода огнетушащего вещества под давлением газа-вытеснителя для систем газового пожаротушения на основе сжиженных газов

38

Амельчугов С.П., Горностаев Р.В., Анисимов О.В., Севастьянов Е.В., Щеголь С.С., Максимова Н.К., Черников Е.В. Построение систем обнаружения пожаров, основанных на регистрации индикаторных газов

45

Дектерев А.А., Гаврилов А.А., Литвинцев К.Ю., Амельчугов С.П., Серегин С.Н. Моделирование динамики пожаров в спортивных сооружениях

49

Порошин А.А., Галкина Е.Ю. Автоматизированная система анализа социально-психологического климата в подразделениях федеральной противопожарной службы

59

Порошин А.А., Галкина Е.Ю., Бобринев Е.В. Метод анализа сочетаний пар сотрудников в подразделениях пожарной охраны как часть социометрических исследований

67

ОБМЕН ОПЫТОМ, ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ

Зозуля Г.П., Чабаев Л.У., Кустышев А.В., Сызранцев В.Н. Методика отрыва пламени от устья фонтанирующей скважины

73

Барановский Н.В. Методика прогнозирования лесной пожарной опасности как основа нового государственного стандарта

80

Поляков Е.А. Информационный комплекс для повышения уровня подготовки личного состава федеральной противопожарной службы: содержание и опыт применения

85

Орлов С.А., Куликов В.В. Изучение основ компьютерной графики в высших образовательных учреждениях ГПС МЧС России

90

СТАТИСТИКА

Обстановка с пожарами в Российской Федерации за 9 месяцев 2007 года

94

ИНФОРМАЦИЯ

Бухгалтерский баланс Некоммерческой организации «Фонд пожарной безопасности» за 2006 год

98

Национальная академия наук пожарной безопасности

100

Обзор зарубежных изданий

102

Издания ФГУ ВНИИПО МЧС России

107

О подписке на журнал «Пожарная безопасность»

135

Требования к подготовке материалов для публикации в журнале «Пожарная безопасность»

138

Указатель материалов, опубликованных в журнале «Пожарная безопасность» в 2007 году

139

ПРИЛОЖЕНИЕ НА CD-ROM

Каталог-справочник

«Пожарная безопасность. Компании. Продукция. Услуги» – на последней странице журнала

УДК 621.22.01:532

С.Г. Цариченко, д-р техн. наук, зам. нач. НИЦ НТ и Р, нач. отд. (ФГУ ВНИИПО МЧС России),
С.А. Пастон, канд. физ.-мат. наук, доц. (СПбГУ), А.Р. Пастон, зам. дир. по науке (ООО ТАКТ),
С.А. Жаров, канд. техн. наук, доц., А.В. Куянов, адъюнкт (СПбУ ГПС МЧС России)

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ВЫХОДА ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА ПОД ДАВЛЕНИЕМ ГАЗА-ВЫТЕСНИТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМ ГАЗОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ОСНОВЕ СЖИЖЕННЫХ ГАЗОВ

Предложен метод расчета времени выхода в помещение необходимого количества газового огнетушащего вещества (ГОТВ) для систем газового пожаротушения, в которых огнетушащее вещество находится в баллонах в жидком состоянии под давлением газа-вытеснителя, обеспечивающего необходимую скорость выхода огнетушащего вещества из баллона.

В расчете учтен факт растворения газа-вытеснителя в жидком огнетушащем веществе, из-за которого это вещество нельзя считать несжимаемой жидкостью. В основе метода лежит физическая модель течения сжимаемой жидкости через трубопровод переменного сечения (с возможными разветвлениями). Проведение данного расчета позволяет подобрать оптимальные характеристики системы газового пожаротушения, обеспечивающие требуемое время выхода огнетушащего вещества.

Ил. 2, библиогр.: 11 назв.

Движение смеси по трубам

Описание движения двухфазной смеси в общем случае является чрезвычайно актуальной и сложной задачей, см., например, [1]–[5]. Ситуация несколько упрощается, если считать, что смесь является гомогенной, т. е. жидкая и газообразная фазы равномерно перемешаны, и описывать ее как сжимаемую жидкость с заданным уравнением состояния:

$$\rho(p),$$

где p – давление (здесь и далее под давлением понимается статическое абсолютное давление),
 ρ – плотность среды.

Уравнение состояния должно быть получено на основе рассмотрения процесса испарения газового огнетушащего вещества (ГОТВ) и выхода из него растворенного газа-вытеснителя (ГВ). Тогда задача сводится к изучению движения по трубе вязкой сжимаемой жидкости. Поскольку это движение происходит с достаточно большими скоростями, а трубы являются шероховатыми, ситуация соответствует так называемой квадратичной области течения жидкости, в которой потери давления на трение пропорциональны квадрату скорости (формула Вейсбаха-Дарси), см. [6, формула (1.59)]:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2} \rho, \quad (1)$$

где L – длина участка трубы; d – внутренний диаметр трубы; v – скорость течения жидкости; λ – коэффициент потерь на трение, определяемый по формуле Шифринсона, см. [6, формула (1.103)]:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\delta}{d} \right)^{1,4}, \quad (2)$$

где δ – абсолютный размер шероховатостей трубы. Эта величина должна определяться посредством сравнения расчетных данных с экспериментальными.

Динамика движения вязкой сжимаемой среды описывается уравнениями Навье-Стокса, см. [7, т. 2, гл. 2, формула (4.9)]. Их нужно переписать для рассматриваемого случая движения жидкости по трубе и изменить вклад силы трения, с тем чтобы он соответствовал квадратичной области течения жидкости, согласно (1). В результате получится уравнение

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -v \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{gh}{L} - \frac{\lambda}{2d} v^2, \quad (3)$$

где t – время; z – расстояние вдоль трубы; h – перепад высот (в направлении течения жидкости) участка трубы, движение по которому рассматривается; g – ускорение силы тяжести.

Должно также выполняться уравнение неразрывности, см. [7, т. 2, гл. 2, формула (4.10)], которое в случае движения жидкости по трубе можно записать в виде

$$S \frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\partial q}{\partial z}, \quad (4)$$

где S – площадь сечения трубы, которая может меняться вдоль трубы, т. е. зависит от z ; q – массовый расход жидкости, определяемый по формуле

$$q = \rho v S. \quad (5)$$

Из уравнения (4) следует, что при скачкообразном увеличении площади сечения трубы S расход q должен оставаться непрерывным, иначе правая часть этого уравнения обратится в бесконечность, а величины ρ и v могут резко возрасти. Кроме того, в случае разветвления трубопровода расход перед разветвлением должен быть равен сумме расходов в трубах после разветвления, поскольку поток в трубе до разветвления можно разделить на потоки, текущие каждый в свое ответвление.

Для того чтобы понять, какая еще величина, кроме q , остается непрерывной при скачкообразном увеличении площади и при разветвлении труб, введем величины:

$$f(p) = \int_{p^0}^p \frac{dp}{\rho(p)}, \quad (6)$$

где p^0 – некоторая константа;

$$w = \frac{v^2}{2} + f(p). \quad (7)$$

Тогда уравнение (3) можно переписать в виде

$$\frac{\partial v}{\partial t} = - \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{gh}{L} - \frac{\lambda}{2d} v^2. \quad (8)$$

Из формулы (8) следует, что при скачкообразном увеличении площади кроме q должна оставаться непрерывной величина w , являющаяся функцией скорости v и давления p . Эта же величина должна оставаться непрерывной и при разветвлении труб, поскольку, как уже отмечалось, поток в трубе до разветвления можно разделить на потоки, текущие каждый в свое ответвление.

В частном случае несжимаемой жидкости, когда $\rho(p) = \text{const}$, легко заметить, что

$$f(p) = \frac{p - p^0}{\rho} \quad \text{и} \quad w = \frac{1}{\rho} \left(p + \rho \frac{v^2}{2} \right) - \frac{p^0}{\rho}. \quad (9)$$

Видно, что в этом случае величина w , с точностью до вычитания константы p^0/ρ и деления на константу ρ , совпадает с используемой обычно для несжимаемой жидкости величиной

$$p + \rho \frac{v^2}{2}, \quad (10)$$

называемой полным давлением. Для сжимаемой же жидкости введение понятия полного давления смысла не имеет, вместо него нужно использовать получаемую по формуле (7) величину w , потому что именно она остается непрерывной при скачкообразном увеличении площади.

Таким образом, для того чтобы рассматривать скачкообразные изменения площади сечения трубы в системе, наиболее естественно в качестве независимых переменных брать величины q и w , а скорость v , давление p и плотность ρ выражать через них с помощью формул (5), (7) и уравнения состояния. При этом изменение со временем этих независимых переменных определяется уравнениями (4) и (8), в левых частях которых величины ρ и v должны быть выражены через q и w .

Важным частным случаем рассматриваемого процесса течения сжимаемой жидкости является стационарное течение, при котором все его параметры не меняются со временем. В этом случае уравнения (4) и (8) переходят в уравнения

$$\frac{\partial q}{\partial z} = 0, \quad (11)$$

$$\frac{\partial w}{\partial z} = - \frac{gh}{L} - \frac{\lambda}{2d} v^2, \quad (12)$$

первое из которых просто означает, что расход q не меняется вдоль трубы между точками ветвления. Второе уравнение для расчетов удобнее представить в виде уравнения на p . Для этого используем в нем определение (7) для w , а вместо скорости v подставим ее выражение из формулы (5). Получим

$$-\frac{q^2}{\rho^3 S^2} \frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{gh}{L} - \frac{\lambda}{2d} \frac{q^2}{\rho^2 S^2}, \quad (13)$$

откуда находим
$$\frac{\partial p}{\partial z} = - \left\{ \left[\rho \left(\frac{gh}{L} + \frac{\lambda}{2d} \frac{q^2}{\rho^2 S^2} \right) \right] / \left(1 - \frac{q^2}{\rho^2 S^2} \frac{\partial \rho}{\partial p} \right) \right\}. \quad (14)$$

Уравнения (11), (14) описывают процесс течения смеси, происходящий в трубопроводе, включая сифонные трубки и трубы баллонов.

Уравнение состояния среды

Уравнением состояния сжимаемой жидкости называется зависимость ее плотности от давления $\rho(p)$. В частном случае несжимаемой жидкости эта зависимость имеет вид $\rho(p) = \text{const}$.

При выводе уравнения состояния для рассматриваемого случая необходимо учитывать факт растворения в ГОТВ газа-вытеснителя, закачанного в баллон для получения необходимого давления. Количество растворенного ГВ определяется законом Генри:

$$p_a = k_T x, \quad (15)$$

где p_a – парциальное давление ГВ над раствором; k_T – постоянная Генри, имеющая размерность давления, см. [8, формула (VI.60)]; x – мольная доля растворенного ГВ. Постоянную Генри k_T удобно выражать через характеризующую растворимость газа безразмерную величину ω – отношение концентраций (масса в единице объема) ГВ в жидкости и в газе над раствором.

Поскольку смесь из баллона в гидравлическую систему поступает через сифонную трубку, присутствующая в верхней части баллона газообразная фаза попадает в систему только после полного освобождения баллона от жидкой фазы.

При расширении элемента среды в жидкости возникают пузырьки, через которые происходит, во-первых, испарение ГОТВ, а во-вторых, выход из раствора газообразного ГВ в соответствии с законом Генри (описание процесса вскипания газированной жидкости см. [9, гл. VII, § 2]). Таким образом, текущая по трубам среда становится двухфазной газожидкостной смесью. Закон, который связывает давление и плотность такой смеси, дает искомое уравнение состояния $\rho(p)$.

Полученный для случая, когда в качестве ГОТВ берется хладон 125, а в качестве ГВ – азот, график функции $\rho(p)$ при $p^0 = 4,1$ МПа приведен на рис. 1.

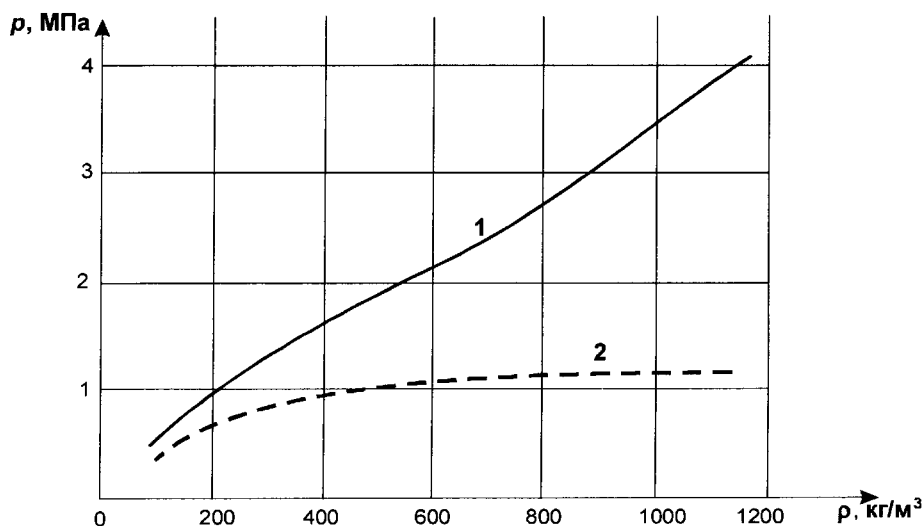


Рис. 1. Зависимость давления (кривая 1) и давления насыщенных паров ГОТВ (кривая 2) от плотности при начальном давлении $p^0 = 4,1$ МПа

На рис. 1 (кривая 2) показаны значения давления насыщенных паров p_n ГОТВ при соответствующей температуре. Видно, что всегда выполняется условие $p > p_n$, т. е. ГОТВ постоянно находится

ниже своей точки кипения (тем не менее, из-за выхода ГВ из раствора оказывается возможным возникновение в жидкости пузырьков газа). На рис. 2 приведены соответствующие зависимости массового содержания жидкого ГОТВ α и температуры T от плотности ρ . При падении абсолютного давления до 0,5 МПа успевают испариться около 30 % жидкого ГОТВ, а температура при этом опускается примерно до -20°C .

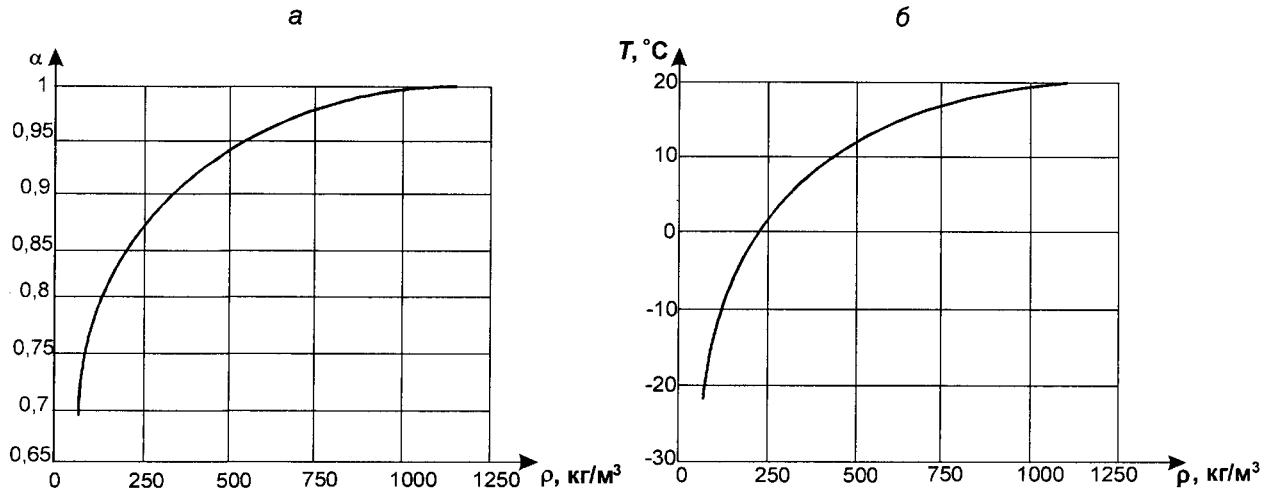


Рис. 2. Зависимости массового содержания жидкого ГОТВ (а) и температуры (б) от плотности при начальном давлении $p^0 = 4,1$ МПа

Расширение газа в баллоне

Рассмотрим процесс расширения газа в верхней части баллона в процессе подачи ГОТВ в защищаемое помещение. Этот газ состоит из ГВ и паров ГОТВ. Поскольку процесс происходит достаточно быстро, теплообменом с окружающей средой можно пренебречь и считать, что расширение газа в баллоне происходит адиабатически. В начальный момент пары ГОТВ находятся под давлением насыщения, но при расширении температура падает, как и давление насыщения. Будем пренебрегать обменом вещества между частями баллона, содержащими газ и жидкость, а также возможным процессом конденсации газообразного ГОТВ (если такой процесс и происходит, то в незначительной степени). В результате давление в баллоне p оказывается связанным с объемом занятой газом части баллона V_r законом адиабатического процесса

$$pV_r^\gamma = p^0(V_r^0)^\gamma, \quad (16)$$

где p^0 – начальное давление в баллоне; V_r^0 – начальный объем газа; γ – показатель адиабаты, определяемый удельной (на один моль) теплоемкостью газа c при постоянном объеме:

$$\gamma = 1 + \frac{R}{c}, \quad (17)$$

где R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31$ Дж/(моль · К); c – теплоемкость, определяемая по формуле

$$c = n_x c_V^x + n_a c_V^a, \quad (18)$$

где c_V^x и c_V^a – удельные (на один моль) теплоемкости газообразного ГОТВ и ГВ постоянном объеме, а n_x и n_a – их мольные доли в газе. В соответствии со сделанными допущениями величины n_x и n_a не изменяются со временем. Используя закон Дальтона, из которого следует, что парциальные давления газа в смеси пропорциональны его мольной доле, легко найти эти величины:

$$n_x = \frac{p_n^0}{p^0}; n_a = 1 - n_x = \frac{p^0 - p_n^0}{p^0}, \quad (19)$$

где p_n^0 – значение давления насыщенных паров ГОТВ в начальный момент, т. е. при нормальной температуре. В результате для показателя адиабаты получаем формулу

$$\gamma = 1 + \left\{ R / \left[c_V^a + (c_V^x - c_V^a) \frac{p_u^0}{p^0} \right] \right\}. \quad (20)$$

При изменении начального давления p^0 в диапазоне, например от 3 до 6 МПа, рассчитанная по этой формуле величина γ принимает значения от 1,16 до 1,23. Отметим, что в конкретном расчете величина p^0 , а значит, и γ , является константой.

Обозначим через m массу находящейся в нижней части баллона смеси (без учета сифонной трубки). В еще остающейся в баллоне смеси происходят те же процессы испарения ГОТВ и выхода из раствора ГВ (по всему объему жидкости), что и в трубах, поэтому, если считать, что гомогенность смеси не успевает заметно нарушаться, для смеси в баллоне работает то же уравнение состояния $p(p)$, которое используется для смеси в трубах. Как уже отмечалось, будем пренебрегать обменом вещества между частями баллона, содержащими газ и смесь, поскольку процесс испарения с поверхности жидкости происходит гораздо медленнее по сравнению с испарением в пузырьки по всему объему.

Для массы m можно написать:

$$m = \rho(V_6 - V_r), \quad (21)$$

где V_6 – объем баллона без сифонной трубки, ρ – плотность смеси в баллоне.

Взяв приращение обеих частей этого уравнения, получаем:

$$\Delta m = (V_6 - V_r) \frac{\partial \rho}{\partial p} \Delta p + \frac{\rho V_r \Delta p}{\gamma p}, \quad (22)$$

где использовано следующее из соотношения (16) уравнение

$$\frac{\Delta p}{p} + \frac{\gamma \Delta V_z}{V_z} = 0. \quad (23)$$

Отсюда, опять используя формулу (21), находим

$$\Delta p = \Delta m / \left(\frac{\rho V_6 - m}{\gamma p} + \frac{m}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial p} \right). \quad (24)$$

Это уравнение позволяет выявить связь между изменениями параметров баллона m и p , происходящими за время, в течение которого в баллоне (без сифонной трубки) остается смесь, т. е. пока $m > 0$. За это время основная часть смеси (95 %) обычно успевает пройти через насадки.

В случае когда смесь в баллоне (без сифонной трубки) заканчивается раньше, чем через насадки пройдет 95 % требуемого для тушения пожара ГОТВ, необходимо продолжать вычисления. Но, поскольку время, требуемое для выхода ГОТВ, мало, при его вычислении можно использовать достаточно грубую модель.

После того как смесь в баллоне (без сифонной трубки) закончится, газ начинает поступать в сифонную трубку и объем газа V_r становится больше объема баллона V_6 . Приращение величины V_r можно выразить в формуле

$$\Delta V_r = -\frac{\Delta m}{\rho}, \quad (25)$$

где ρ – плотность смеси на границе раздела газ – смесь, которая соответствует давлению в баллоне p . Поскольку граница раздела газ – смесь перемещается по трубе, со временем смесь испытывает сопротивление со стороны все меньшей (хотя уменьшающейся незначительно) части трубопровода. Будем при вычислениях считать, что этого не происходит, т. е. хотя мы и учитываем увеличение объема газа за счет его проникновения в трубопровод, но при этом предполагаем, что смесь течет по всему трубопроводу.

В результате, подставляя формулу (25) в уравнение (23) и используя выражение (16), находим:

$$\Delta p = \Delta m \frac{\gamma p}{\rho V_r^0} \left(\frac{p}{p^0} \right)^{\frac{1}{\gamma}}. \quad (26)$$

Это уравнение, как и формула (24), позволяет выявить связь между изменениями параметров баллона m и p , но происходящими после того, как в баллоне (без сифонной трубки) закончится смесь.

Истечение смеси через насадок

Выбор способа описания процесса истечения рассматриваемой смеси через насадок является сложной задачей (обсуждение процесса истечения вскипающей жидкости из насадков см. [10, § 8.5]). Прежде всего, возникает идея рассматривать такое истечение как протекание через насадок сжимаемой жидкости с уравнением состояния $\rho(p)$, которое используется в процессе описания движения смеси по трубам, т. е. считать, что при прохождении среды через насадок с ней происходят те же процессы, что при движении по трубам. При таком подходе существенную роль начинает играть конечность скорости звука $c_{зв}$ в смеси, которая дается формулой

$$c_{зв} = \sqrt{\frac{\partial p}{\partial \rho}}. \quad (27)$$

Расчет по уравнению состояния дает значение $c_{зв}$, которое примерно равно 50 м/с, и эта скорость сравнима с рассматриваемыми в нашей задаче скоростями движения смеси.

Известно (см. [11, § 33]), что при истечении через отверстие газа, если скорость движения в отверстии достигает скорости звука, происходит эффект запираания. Такую ситуацию называют критическим расходом через отверстие. При этом расход через отверстие перестает зависеть от давления снаружи и оказывается заметно меньше, чем в случае истечения несжимаемой жидкости, когда скорость звука чрезвычайно велика и критического расхода не может быть.

При истечении через насадок рассматриваемой газожидкостной смеси возможен критический расход, поскольку смесь является сжимаемой. Однако проведенные на основе этого предположения расчеты времени выхода ГОТВ из системы дают слишком большие значения, которые значительно отличаются от данных, полученных из независимых источников¹. Поэтому необходимо пересмотреть модель истечения газожидкостной смеси через насадок.

При получении уравнения состояния предполагалось, что все время происходят процессы испарения ГОТВ и выхода из раствора ГВ через имеющиеся в жидкости газовые пузырьки. Однако эти процессы не могут происходить мгновенно, а время, за которое элемент смеси проходит через насадок, чрезвычайно мало. Поэтому можно считать, что указанные процессы в насадке не успевают происходить. Это приводит к изменению уравнения состояния по сравнению с использованным уравнением, описывающим движение смеси по трубам. Кроме того, из-за небольшого размера отверстий насадка уже нельзя считать смесь полностью гомогенной, поскольку размер газовых пузырьков в жидкости или, наоборот, капель жидкости в газе (в зависимости от соотношения объемов жидкой и газовой фаз) может оказаться сравнимым с размером отверстий насадка.

Можно попытаться учесть эти факторы, используя модель, в которой в процессе истечения смеси через насадок средняя плотность смеси не изменяется, т. е. смесь ведет себя как несжимаемая жидкость, имеющая такую же плотность, какую она имела перед насадком. Проведенные в рамках такой модели расчеты времени выхода ГОТВ из системы удовлетворительно согласуются с полученными из независимых источников данными. Заметим, однако, что будет учитываться возможность возникновения критического расхода при движении смеси по трубам.

При истечении через насадок несжимаемой жидкости расход q определяется по формуле, см. [6, формула (1.129)]:

$$q = \mu S_n \sqrt{2\Delta p \rho}, \quad (28)$$

где μ – коэффициент расхода насадка, учитывающий местные потери (указывается в документации насадка, обычно имеет значения 0,6–0,65); S_n – суммарная площадь сечения отверстий насадка; Δp – разность полного давления, см. формулу (10), перед насадком и давления снаружи, т. е.

$$\Delta p = p + \rho \frac{v^2}{2} - p_{атм}, \quad (29)$$

где $p_{атм}$ – атмосферное давление; v – скорость среды в трубе перед насадком.

Считая, что расход через насадок совпадает с расходом в трубе перед насадком, и выражая скорость v с помощью формулы (5), получаем из формул (28), (29) окончательную формулу для расхода через насадок

$$q = \mu S_n \sqrt{\frac{2(p - p_{атм})\rho}{1 - (\mu S_n / S)^2}}. \quad (30)$$

¹ По утверждению разработчиков программы ZALP (ЗАО «Артсок»), результаты проводимых с помощью этой программы расчетов с точностью до 15 % совпадают с экспериментальными данными.

Будем предполагать, что для насадков всегда выполняется условие

$$S > \mu S_{\mu}, \quad (31)$$

поскольку в противном случае давление перед насадком оказывается меньше либо равно атмосферному.

Таким образом, расход q через насадок будем вычислять по формуле (30), предполагая выполненным условие (31).

Кратко описанная в данной статье методика лежит в основе компьютерной программы «ТАКТ-Газ», позволяющей проводить проверочные расчеты времени выхода в помещение необходимого количества ГОТВ для произвольных конфигураций системы. Результаты расчетов, проведенных в рамках изложенного в данной работе метода, сравнивались с результатами, полученными для хладонов 125 и 227ea с помощью программы расчета систем газового пожаротушения ZALP, разработанной ЗАО «Артсок», а также с результатами вычислений для хладона 13B1 по методике ФГУ ВНИИПО МЧС России [3]. В обоих случаях относительное отличие результатов составило не более 15 %.

Библиографические ссылки

1. Гидродинамические параметры течения двухфазных сред в трубопроводах установок газового пожаротушения / В.М. Николаев, Н.В. Смирнов, Е.В. Никонова и др. // Пожарная безопасность. – 2006. – № 2. – С. 91–100.
2. Measured and predicted thermodynamic properties of selected halon alternative/nitrogen mixtures / J.C. Yang, I. Vazquez, C.I. Boyer et al. // International Journal of Refrigeration. – 1997. – Vol. 20, № 2. – P. 96–105.
3. Установки пожаротушения на основе регенерированных озоноразрушающих газовых огнетушащих веществ: Руководство для проектирования. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004. – 32 с.
4. Меркулов А.В., Меркулов В.А. Газовое пожаротушение. Подход к выбору и расчету установок газового пожаротушения // Противопожарные и аварийно-спасательные средства. – 2004. – № 1. – С. 30–35.
5. Лабунцов Д.А., Ягов В.В. Механика двухфазных систем. – М.: МЭИ, 2000. – 374 с.
6. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1982. – 424 с.
7. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. В 2 т. – М.: Физматгиз, 1963.
8. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. – М.: Высшая школа, 2001. – 527 с.
9. Несис Е.И. Кипение жидкостей. – М.: Наука, 1973. – 280 с.
10. Теплофизические свойства жидкостей в метастабильном состоянии / В.П. Скрипов, Е.Н. Синицин, П.А. Павлов и др. – М.: Атомиздат, 1980. – 208 с.
11. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – Л.: Гостехиздат, 1950. – 676 с.

Материал поступил в редакцию 22.06.2007 г.



Пожарная безопасность

Научно-технический журнал

2007 г.

№ 4

Редактор Н.В. Бородина
Технический редактор М.Г. Завидская

Ответственный за выпуск В.А. Иванов

**Подписано в печать 21.11.2007 г. Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 16,74. Уч.-изд. л. 16,34. Тираж 4500 экз.**
