

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ СТРУЙ ЖИДКОСТИ ВЫСОКОЙ СКОРОСТИ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ГАЗОВЫХ ФАКЕЛОВ

А. Н. Семко, С. А. Виноградов*, И. Н. Грицына*

*Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков

Проведены экспериментальные исследования тушения газового факела при помощи импульсных струй жидкости высокой скорости, которые генерируются пороховым импульсным водометом. Скорость импульсной струи в зависимости от энергии заряда в экспериментах достигала 300 - 600 м/с. При помощи лазерного бесконтактного измерителя скорости измерялась скорость головы струи непосредственно перед факелом, проводилось фотографирование струи. Показано, что вокруг импульсной струи жидкости высокой скорости в воздухе образуется высокоскоростное облако брызг большого поперечного сечения, которое эффективно сбивает пламя газового факела на расстояниях 5 – 20 м от установки.

Ключевые слова: тушение газового факела, импульсная струя жидкости высокой скорости, импульсный водомет, измерение скорости струи

Введение. Открытые фонтаны, представляющие собой неуправляемый выброс пластовых флюидов, наносят большой экономический и экологический ущерб окружающей среде, принимая иногда характер стихийных бедствий. На разных расстояниях от фонтанирующей скважины могут возникнуть грифоны, появиться скопления газа в понижениях местности, что реально угрожает взрывами и пожарами.

Пожар газового фонтана является сложной чрезвычайной ситуацией техногенного характера, ликвидация которой связана со значительными финансовыми затратами и необходимости привлечения большого количества пожарной техники и личного состава.

Открытые газовые фонтаны подразделяются по мощности на [1]:

- небольшие с дебитом менее 0,5 млн. м³/сут. газа и менее 100 т нефти;
- средние с дебитом 0,5...1,0 млн. м³/сут. газа и 100...300 т нефти;
- мощные с дебитом 1,0...10,0 млн. м³/сут. газа и 300...1000 т нефти;
- большой мощности с дебитом более 10 млн. м³/сут. газа и более 1000 т нефти.

Под газопроявлениями понимается неконтролируемое поступление газа, нефти и воды на поверхность через негерметичные резьбовые соединения и дефекты, возникающие в результате нарушения герметичности стволов скважин при бурении и эксплуатации.

Практика показывает, что частота возникновения аварий, газопроявлений и открытых фонтанов составляет в среднем 0,12 случая на 100 скважин [2]. Например, на месторождениях, расположенных в штате Техас, число выбросов при разведочном бурении составляет порядка 244, при эксплуатационном бурении – 180, при заканчивании скважин – 64, при капитальном ремонте скважин – 197, при эксплуатации скважин – 85. На месторождениях, расположенных на американском континентальном шельфе, число выбросов меньше и составляет соответственно 45, 49, 25, 23 и 12. Это объясняется меньшим количеством скважин и применением более надежных конструкций скважин и внутрискважинного и устьевого оборудования.

Современные способы тушения газовых фонтанов. Для тушения пожаров нефтегазовых фонтанов разработано не менее десятка различных методов, что обусловлено, с одной стороны, исключительной сложностью технической проблемы, многофакторностью и разнообразием конкретных ситуаций на таких пожарах, а с другой – ограниченной эффективностью каждого из этих способов. В работе [3] приведены основные методы тушения пожаров газовых фонтанов в зависимости от их типа:

- закачкой воды в скважину или закрытием задвижек превентора и противовыбросового оборудования;
- струями автомобилей газовой тушения;
- импульсной подачей порошка специальными установками;
- водяными струями из лафетных стволов;
- взрывом заряда ВВ;
- вихрепорошковым способом;
- огнетушащим порошком с помощью пожарных автомобилей;
- комбинированным способом;
- бурением наклонной скважины и закачка в нее специального раствора.

На Украине и в странах СНГ при тушении пожаров открытых фонтанов чаще всего применяются лафетные стволы (гидромониторы), автомобили газовой тушения АГВТ-100 и АГВТ-150, пневматические порошковые пламеподавители ППП-200 [4].

Лафетные стволы применяются при тушении газовых, газоконденсатных и нефтяных фонтанов небольшой мощности, поскольку стволы должны устанавливаться на расстоянии 15 м, что в условиях сильного теплового излучения фонтана с большим дебитом не допустимо [5]. При тушении более мощных фонтанов (средней мощности), когда используется значительное количество лафетных стволов, подачу водяных струй осуществляют в два яруса. Долгое время этот метод занимал лидирующее место среди всех методов тушения газовых фонтанов. Суть его заключается в том, что струи воды, подаваемые из лафетных стволов, направляются на устье скважины в основании струи фонтана. Затем синхронно поднимают водяные струи вверх по столбу пламени до полного его отрыва.

Автомобили газоводяного тушения АГВТ-100 и АГВТ-150 применяются для тушения пожаров всех видов фонтанов, но чаще для тушения мощных фонтанов. Газоводяные струи, создаваемые этими установками, представляют собой смесь отработанных газов турбореактивного двигателя и распыленной воды. В газоводяной струе содержится около 60% воды и 40% газа, а концентрация кислорода не более 14%. По мере удаления от сопла содержание кислорода увеличивается и на рабочем расстоянии 12-15 м составляет 17-18%. Вода частично испаряется в струе раскаленного газа и в зону горения вода попадает в распыленном состоянии [4]. Экспериментально установлено, что газоводяная струя обладает высоким охлаждающим эффектом, например: при подаче 60 л/с воды (АГВТ-100) в течение 5 мин снижает температуру фонтанной арматуры, с 950 до 100-150 °С. Эффективность тушения зависит от содержания воды в струе и имеет оптимальное значение в пределах 55 - 60 л/с.

Пневматические порошковые пламеподаватели ППП-200 применяются при тушении пожара фонтанов большой мощности [4]. Тушение пожара осуществляется за счет воздействия на горящий факел распыленного порошка, выброс которого осуществляется за счет энергии сжатого воздуха. В зоне горения фонтана в течение короткого времени (1...2 с) импульсно создается огнетушащая концентрация порошка путем направленного залпового выброса установкой.

Подобный принцип реализуется и в установках на базе танковых шасси Т-62 Импульс-1, Импульс-2, Импульс-3, а также Импульс-Шторм. Машины имеют 50 стволов (Импульс-1 – 40 стволов), в каждый из которых заряжается по 30 кг порошка. Установка Импульс-Шторм способна доставить в очаг пожара за 4 секунды 1,5 тонны огнетушащего порошка. Это позволяет создать мощное огнетушащее воздействие сразу и одновременно по всей площади или объему. Основным отличием данной установки является мощное ударное воздействие на очаг пожара совместно с огнетушащими эффектами, производимыми специальными порошковыми составами.

Не редко используется метод подрыва заряда взрывчатого вещества, который генерирует ударную волну большой скорости (до 1000 м/с) [3-6]. Заряд взрывчатого вещества подается к устью скважины либо по стальному тросу, перекинутому через блоки, подвешенные на специальных опорах, либо на тележке с уклоном по рельсовым путям, проложенным к устью скважины [5]. Главными недостатками этого метода является его высокая опасность, большой объем и сложность подготовительных работ, а также необходимость в большом количестве взрывчатого вещества (100-1000 кг).

Стоит отметить, что наряду с преимуществами, которые имеют каждый из перечисленных способов, все они имеют общий недостаток – низкая дальность подачи огнетушащего вещества, что недопустимо в условиях высокого теплового излучения газового факела. Так, при тушении с помощью лафетных стволов и автомобилей газоводяного тушения оптимальная дальность подачи составляет 15 м [3, 4, 6], а безопасное расстояние $L_{без}$ для личного состава от факела уже при дебите $V = 0,5$ млн. м³/сутки составляет около 50 м (рис. 1).

Таким образом, для тушения пожаров газовых фонтанов наиболее перспективным является разработка устройств, способных обеспечивать подачу огнетушащих смесей с расстояний, превышающих критические для безопасности личного состава по тепловому излучению.

Перспективные направления разработки устройств для тушения газовых фонтанов. Во все времена наиболее доступным и простым средством для тушения пожаров была вода. Она широко используется в практике пожаротушения, кроме применения ее для отдельных видов пожаров (тушения щелочных металлов, электрооборудования под напряжением). Очевидно, что и для тушения газовых фонтанов вода занимает лидирующее место среди других огнетушащих средств, что определяется ее доступностью, дешевизной, простотой доставки и эксплуатации, а также высокими огнетушащими качествами.

Наиболее перспективным на данный момент является применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров. Основными механизмами тушения тонкораспыленной водой является охлаждение горящего материала и образование локализирующего очаг горения облака пара. В случае если капли не будут обладать достаточной кинетической энергией, они не смогут преодолеть барьер конвективных по-

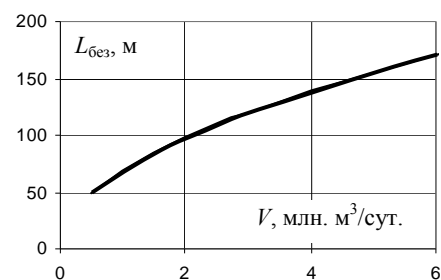


Рис. 1. Безопасное расстояние от горящего газового факела

токов горячих газов, генерируемых пламенем, и зону радиационно-кондуктивного нагрева, в результате они не смогут достигать поверхности горения и подавлять этот процесс. В этом случае тонкораспыленная вода может рассматриваться как вспомогательное средство для смягчения условий при пожаре, но не как средство подавления пожара.

Для успешного подавления горения необходимо, чтобы размер капель был минимален, и они могли преодолеть конвективные тепловые потоки и радиационно-кондуктивный барьер, генерируемые пламенем. Малый размер капель необходим для повышения скорости испарения воды, в результате которого происходит интенсивное охлаждение и образование флегматизирующей среды водяного пара, что обеспечивает тушение пламени. В то же время уменьшение размера частиц затрудняет поддержание высоких скоростей капель и способствует более быстрому испарению капель в предпламенной зоне, что снижает эффективность пожаротушения распыленной водой. Анализ данных разных авторов показывает, что оптимальной диаметр капель для тушения различных материалов составляет $d_k \in (100 \div 150)$ мкм.

Для доставки воды к горящему факелу с безопасных дистанций необходимо обеспечить высокие скорости на выходе из устройства тушения. Эта скорость должна учитывать потери при полете струи и обеспечивать необходимую скорость непосредственно перед факелом для преодоления конвективных потоков, а также «срывного» воздействия на факел. Суть «срывного» действия заключается в том, что с увеличением скорости потока равновесное положение фронта пламени сдвигается по потоку. Свежая паровоздушная горячая смесь по мере удаления претерпевает все более сильное разбавление за счет взаимной диффузии со сносимым потоком. Скорость горения такой смеси уменьшается пропорционально степени ее разбавления и при некоторой критической скорости потока, превышающей скорость горения, струя на мгновение прерывается, а пламя отбрасывается вверх и отрывается от нее.

Скорость отрыв пламени факела можно оценить по эмпирической формуле [7]

$$V_{omp} = 100\sqrt[3]{d},$$

где d – начальный диаметр струи фонтана в метрах.

Анализ конкретных данных по изменению характера пламени при увеличении скорости горячей струи показывает, что срыв диффузионных пламен происходит в диапазоне скоростей 80-100 м/с. Очевидно, что указанные значения срывных скоростей с расстояний безопасного удаления (110-130 м) могут быть обеспечены при использовании высокоскоростных струй жидкости, генерируемых устройствами, аналогом которых является импульсный водомет (ИВ).

Схема проведения эксперимента. Для обоснования возможности тушения газовых факелов импульсными струями жидкости высокой скорости были проведены предварительные экспериментальные исследования, целью которых являлось определить принципиальную возможность тушения газовых фонтанов с помощью импульсного водомета, а также определить скорости, при которых происходит тушение факела.

Модель газового фонтана рассчитывалась по коэффициенту аэродинамического подобия, который характеризует процессы перемешивания газа с окружающей атмосферой, зависящие от напора и толщины газовой струи

$$K_{an} = \frac{w_0^2}{2gd_0},$$

где w_0 – скорость истечения газа, м/с; g – ускорение свободного падения; d_0 – диаметр скважины, м.

Моделирование газового факела проводилось для горения фонтанов с дебитом $(1 \div 3) \cdot 10^6$ м³/сут. Диаметры скважины взяты из расчета использования стандартного бурового оборудования от 0,3 до 0,5 м. При масштабе моделирования по линейным размерам М 1:100 для модельного факела диаметры насадок находятся в пределах (0,003 ÷ 0,005) м. Параметры модельных факелов для разных условий (дебита и диаметра скважины,) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры модельного факела для разных условий

Диаметр модели, м	Значение скорости (м/с) / расхода (л/с) истечения газа из модели факела при дебите газового фонтана (м ³ /сут.) и диаметре скважины (м)								
	1 000 000			2 000 000			3 000 000		
	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5
0,003	16,38/ 0,116	X	X	32,76/ 0,23	X	X	49,1/ 0,347	X	X
0,004	X	9,21/ 0,116	X	X	18,43/ 0,23	X	X	27,65/ 0,347	X
0,005	X	X	5,89/ 0,116	X	X	11,8/ 0,23	X	X	17,7/ 0,347

В экспериментах использовалась модель газового факела, соответствующая усредненным параметрам.

На рис. 2 приведена схема проведения эксперимента, а на рис. 3 экспериментальная установка при

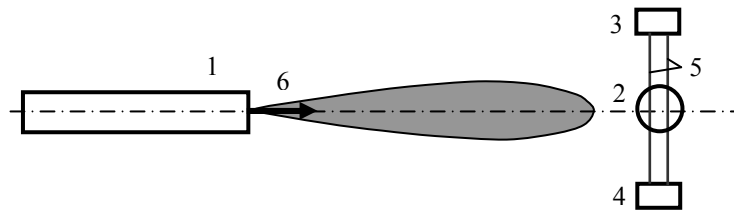


Рис. 2. Схема проведения эксперимента.

1 – пороховой ИВ, 2 – объект воздействия (газовый факел),
3 – измеритель скорости, 4 – блок лазеров, 5 – лучи лазеров, 6 – импульсная струя,

полевых испытаний на полигоне. Здесь 1 – пороховой ИВ, 2 – импульсная струя, 3 – объект воздействия (газовый факел), 4 – измеритель скорости, 5 – блок лазеров, 6 – лучи лазеров.



Рис. 3. Схема проведения полевых испытаний на полигоне

1 – Импульсный пороховой водомет, 2 – газовый факел,
3 – блок лазеров, 4 – измеритель скорости.

В экспериментах варьировалось расстояние от импульсного водомета до факела и величина порохового заряда, от которого зависит скорость импульсной струи жидкости. Расстояние от установки до факела измерялось рулеткой, а прицеливание осуществлялось при помощи специального лазерного прицела, который закреплялся на стволе импульсного водомета.

Схема порохового ИВ, при помощи которого проводились экспериментальные исследования, изображена на рис. 4 [8]. Ствол 4 порохового ИВ, который заканчивается коническим соплом 6 с коллиматором 7, заполнен водой 3. Пороховой заряд 2 отделен от водяного заряда 3 пыжом 8. Для упрочнения самый напряженный участок ствола укреплен бандажом 5, который посажен на ствол с заданным натягом. Пороховой заряд 2 в корпусе водомета зафиксирован затвором 9, внутри которого находится воспламенитель 1. В начальный момент срабатывает воспламенитель 1 и поджигает пороховой заряд 2. Пороховые газы, образующиеся при горении пороха, начинают выталкивать водяной 3 заряд через коническое сопло 6 в виде импульсной струи жидкости. Истечение струи жидкости начинается с небольшой скоростью, которая быстро возрастает по мере увеличения давления пороховых газов.

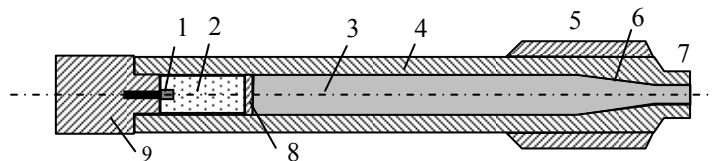


Рис. 4. Пороховой импульсный водомет.

1 – воспламенитель, 2 – камера сгорания, 3 – вода, 4 – ствол,
5 – бандаж, 6 – сопло, 7 – коллиматор, 8 – пыж, 9 – затвор.

Параметры порохового ИВ были рассчитаны теоретически по методике, изложенной в [8-10]. Движение жидкости описывалось уравнениями нестационарной газовой динамики в квазидномерной постановке, горение пороха рассматривалось в квазистационарной постановке, характерной для задач внутренней баллистики ствольных орудий. Расчеты выполнены численно методами Годунова и Родионова. Ниже приведены некоторые результаты расчетов для порохового ИВ с параметрами: масса водяного заряда 450 г, диаметр сопла и струи 15 мм.

На рис. 4 приведены графики зависимости скорости истечения струи и давления внутри ИВ от времени для порохового заряда массой 30 г (штатный режим работы ИВ). Кривая 1 – скорость истечения, 2 – давление пороховых газов, 3 – давление воды в стволе ИВ.

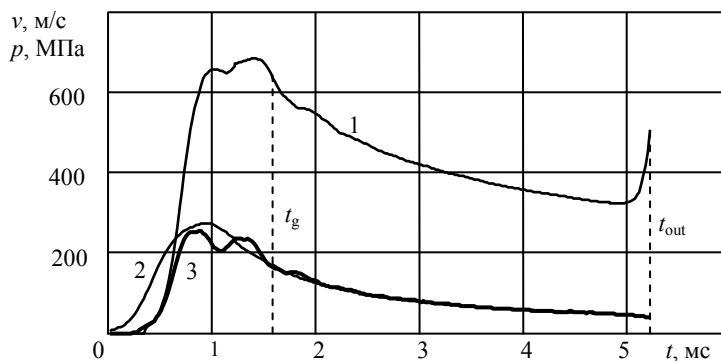


Рис. 4. Зависимость скорости истечения струи и давления внутри порохового ИВ от времени.
 1 – скорость истечения, 2 – давление пороховых газов, 3 – давление воды в стволе,
 $t_g = 1,57$ мс – время горения пороха, $t_{out} = 5,2$ мс – окончание истечения струи воды.

Как видно, истечение струи порохового ИВ начинается с нулевой скорости. По мере сгорания пороха скорость истечения быстро возрастает и достигает максимального значения 685 м/с через 1,5 мс с начала выстрела. Порох сгорает позже, к моменту времени $t_g = 1,57$ мс (на графике это отмечено пунктирной линией). Скорость истечения струи к этому времени немного уменьшается до 647 м/с. После сгорания пороха скорость истечения медленно уменьшается до 320 м/с. Истечение струи заканчивается к моменту времени $t_{out} = 5,2$ мс выбросом малой порции воды пороховыми газами с более высокой скоростью.

Кривая 2 давления пороховых газов в ИВ имеет типичную форму, характерную для ствольных орудий. Максимальное давление пороховых газов достигает 275 МПа ко времени 0,95 мс. Затем давление пороховых газов монотонно убывает до 40 МПа в конце выстрела. Давление воды в стволе ИВ (кривая 3) не превышает давления пороховых газов и носит пульсирующий характер, который отражает волновые процессы внутри установки при выстреле, связанные с волнами сжатия и разрежения, которые отражаются от границы пороховых газов и среза сопла. Пульсации давления незначительные и мало влияют на скорость истечения импульсной струи. Давление жидкости в установке и скорость истечения струи очень хорошо согласуются с уравнением Бернулли для несжимаемой жидкости и стационарного процесса. Максимальная скорость истечения струи ИВ, рассчитанная по давлению жидкости внутри установки на этот момент, составляет 678 м/с, что отличается от точного расчета в нестационарной постановке для сжимаемой жидкости всего на 1%. Приведенные результаты расчетов показывают, что параметры порохового ИВ с достаточной точностью можно рассчитывать в более простой квазистационарной постановке без учета сжимаемости жидкости.

В табл. 2 приведены результаты расчетов максимальной скорости истечения импульсной струи жидкости порохового ИВ для разных зарядов пороха.

Таблица 2

Зависимость параметров ИВ от массы пороха

масса пороха, г	30	20	10
Максимальная скорость струи, м/с	685	505	300
максимальное давление пороховых газов, МПа	275	143	46,5

Как и следовало ожидать, при уменьшении массы пороха (энергии выстрела) максимальная скорость струи и давление внутри установки уменьшались, причем давление уменьшалось гораздо быстрее, чем скорость. Например, для порохового заряда 10 г (масса пороха в 3 раза меньше штатной) максимальная скорость истечения уменьшилась в 2,3 раза, а давление – в 6 раз. Соотношения между скоростью и давлением удовлетворительно согласуются с уравнением Бернулли для несжимаемой жидкости, согласно которому давление пропорционально квадрату скорости. Существенное уменьшение максимального давления внутри установки при незначительном уменьшении максимальной скорости струи жидкости является положительным фактором для прочностных характеристик установки: чем меньше давление в установке, тем тоньше может быть ее корпус, меньше масса и, как следствие, больше мобильность.

Специфический характер зависимости скорости истечения струи ИВ от времени (быстрое возрастание в начале истечения от нуля до максимума, а в дальнейшем спад практически до нуля), определяет закономерности распространения импульсной струи. В начале истечения более быстрые частицы вытекающей из сопла ИВ жидкости пробиваются через более медленные, вытекшие ранее. В результате в струе возникает радиальное течение, которое приводит к увеличению поперечного сечения струи. Скорость радиального течения v_r можно оценить по уравнению Бернулли для избыточного давлению в

струе, которое возникает при столкновении более быстрого заднего участка струи с более медленным передним, вытекшим ранее [11, 12]. Эти оценки показывают, что скорость радиального течения пропорциональна корню квадратному из избыточного давления $v_r \sim \sqrt{\Delta p} \sim \Delta v$, которое в свою очередь пропорционально квадрату разности скоростей Δv соударяющихся участков струи. Поэтому на начальной стадии истечения скорость головы струи возрастает до тех пор, пока высокоскоростные участки не достигнут головы струи. В дальнейшем скорость головы струи уменьшается из-за торможения воздухом. Радиальное течение вызывает утолщение струи и образование вокруг нее ореола брызг, который движется со скоростью, мало отличающейся от скорости ядра струи.

Эксперименты по тушению газового факела при помощи ИВ. В экспериментах исследовалась принципиальная возможность тушения газового факела при помощи импульсной струи жидкости с большого расстояния. Было проведено 4 выстрела с расстояний 5 и 10 м для пороховых зарядов 30, 20 и 10 г. В экспериментах измерялась скорость головы импульсной струи жидкости в месте расположения факела, проводилось фотографирование и видеосъемка струи на разных стадиях ее распространения. Скорость головы струи измерялась при помощи бесконтактного лазерного измерителя скорости, позволяющего регистрировать скорость в интервале от 50 до 3000 м/с.

Результаты экспериментов представлены в табл. 3. Во всех экспериментах пламя было сбито и факел потушен.

Таблица 3

Результаты экспериментальных исследований

№	масса пороха, г	расход из скважины, л/с	расстояние до факела, м	скорость струи у факела, м/с	результат
1	30	0,23	5	316	факел потушен
2	30	0,347	10	576	факел потушен
3	20	0,347	5	538	факел потушен
4	10	0,347	5	–	факел потушен

Посредством видеосъемки изучалось поведение струи жидкости в воздухе. Из-за отсутствия скоростной видеокамеры съемка проводилась обычной бытовой камерой со скоростью 30 кадров/сек. Поэтому при съемке случайным образом регистрировались отдельные кадры струи, а динамику распространения струи получить не удалось из-за малой скорости съемки.

На рис. 5 изображена начальная стадия формирования струи ИВ. В струе хорошо видны характерные выбросы, которые образуются при вытекании частиц жидкости, имеющих более высокую скорость, чем предыдущие. Начальная форма струи с выбросами очень похожа на фотографии, полученные при высокоскоростном фотографировании струи импульсного водомета в работе [13].



Рис. 5. Начальная фаза распространения импульсной струи жидкости.

1 – ИВ, 2 – импульсная струя жидкости, 3 – газовый факел

На рис. 6 приведена средняя фаза распространения импульсной струи жидкости при тушении газового факела. Видно, что на расстоянии 2-2,5 м от водомета струя приобретает форму копия с пеленой брызг, образующих плотный непрозрачный ореол брызг, который перемещается с достаточно большой



Рис. 6. Средняя фаза распространения импульсной струи жидкости.

1 – ИВ, 2 – импульсная струя жидкости, 3 – газовый факел

скоростью. Это подтверждает теоретические предположения о том, что струя в процессе полета обдирается воздухом, при этом часть капель испаряется, а головная часть струи вытягивается до размеров около 1 м. Измеренная скорость головы струи возле факела достигала около 550 м/с.

На рис. 7 показан конечная фаза тушения газового факела импульсной струей жидкости. Из фотоснимка видно, что струя попадает в основание факела и отсекает горящий факел от скважины. Верхняя

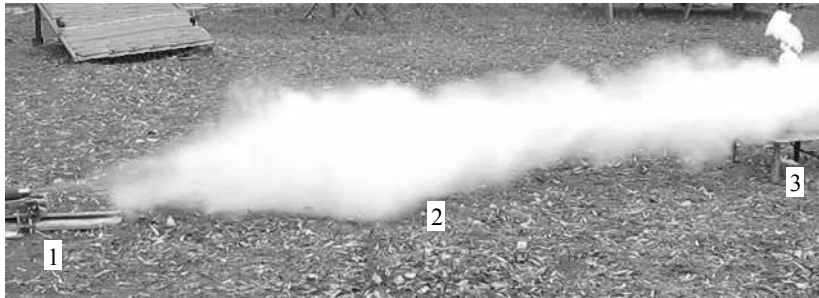


Рис. 7. Конечная фаза тушения газового факела импульсной струей жидкости.
1 – ИВ, 2 – импульсная струя жидкости, 3 – газовый факел

часть факела еще догорает, а нижняя часть сбита импульсной струей и потушена. Скорость импульсной струи жидкости значительно превышает скорость поступления газа из скважины в зону горения факела, что способствует срыву пламени и прекращению горения факела. Вдоль траектории импульсной струи видна пелена мелких брызг и водяного пара, которые быстро рассеиваются в воздухе.

Проведенные эксперименты показали, что импульсная струя жидкости порохового ИВ может тушить горящий газовый факел модели скважины на расстоянии 10 м и более. Дальнейшие исследования по тушению газовых факелов импульсными струями жидкости высокой скорости должны быть направлены на оптимизацию параметров порохового ИВ, выбор рациональной конструкции ИВ, исследованию динамики распространения импульсной струи жидкости в воздухе и механизма взаимодействия импульсной струи с горящим факелом.

Выводы. Проведены экспериментальные исследования тушения модельного газового факела при помощи импульсных струй жидкости высокой скорости, которые генерируются пороховым импульсным водометом. В экспериментах варьировалась величина порохового заряда и расстояние от установки до факела. При помощи лазерного бесконтактного измерителя скорости измерялась скорость головы струи непосредственно перед факелом, проводилось фотографирование струи. Максимальная расчетная скорость импульсной струи в зависимости от энергии заряда составляла 300 - 600 м/с, что хорошо согласуется с измеренными значениями. Показано, что в процессе распространения импульсная струя жидкости высокой скорости «обдирается» воздухом и вокруг нее образуется высокоскоростное облако брызг большого поперечного сечения, которое эффективно сбивает пламя газового факела на расстояниях порядка 5 – 20 м от установки.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили теоретические предположения о возможности тушения газовых факелов с помощью импульсных струй жидкости. Полученные скорости отрыва факела свидетельствуют о необходимости проведения дальнейших исследований, направленных на определение поля скоростей по длине струи и поля плотностей по поперечному сечению струи.

РЕЗЮМЕ

Проведено експериментальні дослідження гасіння газового факела за допомогою імпульсних струменів рідини високої швидкості, які генеруються пороховим імпульсним водометом. Швидкість імпульсного струменя залежно від енергії заряду в експериментах досягала 300 - 600 м/с. За допомогою лазерного безконтактного вимірника швидкості вимірюлася швидкість голови струменя безпосередньо перед факелом, проводилося фотографування струменя. Показано, що навколо імпульсного струменя рідини високої швидкості в повітрі утвориться високошвидкісна хмара бризів великого поперечного перерізу, що ефективно збиває полум'я газового факела на відстанях 5 - 20 м від установки.

Ключові слова: гасіння газового факела, імпульсний струмінь рідини високої швидкості, імпульсний водомет, вимір швидкості струменя.

SUMMARY

The experimental researches of gas flame suppression by means high speed pulse liquid jet which are generated powder pulse hydro cannon are spent. The velocity of the pulse jet depending on a charge energy and ranged from 300 to 600 m/s. The flow photographing of the head jet velocity right near the gas flame was spent with the help of laser non-contact measuring instrument. It is shown, that round the pulse liquid jet of high speed in air the high-speed cloud of splashes with the big cross-section which effectively forces down a flame of the gas flame on distances 5 - 20 m from installation is formed.

Keywords: suppression of a gas torch, high speed pulse liquid jet, powder pulse hydro cannon, measurement of jet speed.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Малеванский В. Д. Открытые газовые фонтаны и борьба с ними / В. Д. Малеванский. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 288 с.
2. Чабаев Л. У. Технологические и методологические основы предупреждения и ликвидации газовых фонтанов при эксплуатации и ремонте скважин: автореф. дис. на соискание уч. ст. доктора техн. наук: спец. 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (нефтегазовый комплекс)» / Л. У. Чабаев. – Уфа, 2009. – 47 с.
3. Боевой устав противопожарной службы (утвержден приказом Председателя Комитета по государственному контролю и надзору в области чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан от 27.12.05 г. № 373).
4. Повзик А. Я. Пожарная тактика / А. Я. Повзик. – М.: ЗАО «Спецтехника», 2004. – 416 с.
5. Мамиконянц Г. М. Тушение пожаров мощных газовых и нефтяных фонтанов / Г. М. Мамиконянц. – М.: Недра, 1971. – 95 с.
6. Михеев В. П. Газовое топливо и его сжигание / В. П. Михеев. – Л.: Недра, Ленингр. отд-ние, 1966. – 327 с.
7. Грицина І. М. Проблеми гасіння пожеж нафтових та газових фонтанів / І. М. Грицина, С. А. Виноградов // Об'єднання теорії та практики – залог підвищення боекдатності оперативно-рятувальних підрозділів: матеріали науково-технічної конференції. – Харків: УЦЗУ, 2008. – С. 65-66.
8. Семко А. Н. Импульсные струи жидкости высокого давления / А. Н. Семко. – Донецк: Вебер (Донецкое отделение), 2007. – 149 с.
9. Семко А. Н. Внутренняя баллистика порохового водомета и гидропушки / А. Н. Семко // Теорет. и прикл. механика. – Харьков: Основа, 2002. – Вып. 35. – С. 181-185.
10. Решетняк В. В. Применение метода Родионова для расчета квазиодномерных движений идеальной сжимаемой жидкости / В. В. Решетняк, А. Н. Семко // Прикладная гидромеханика. – 2009. – Т. 9 (81), № 3. – С. 56-64.
11. Черменский Г. П. Избыточное давление в импульсной струе жидкости / Г. П. Черменский // ПМТФ, 1970. – № 1. – С. 174–176.
12. Dunne B. Velocity discontinuity instability of liquid jet / B. Dunne, B. Cassen // J. Applied Phys. – 1956. – Vol. 27, No 6. – June. – P. 57-582.
13. Noumi M. Flow characteristics and impact phenomena of pulsed water jets / M. Noumi, K. Yamamoto // Proceedings of The Third Pacific Rim International Conference on Water Jet Technology (Tainan, Taiwan, Nov. 30 - Dec. 2, 1992). – 1992. – P. 47-58.

Поступила в редакцию 16.03.2011 г.