

УДК 614.844.2

*И.Н. Грицына, канд. техн. наук, С.А. Виноградов, С.Н. Быченко, канд. истор. наук***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТУШЕНИЯ ГАЗОВОГО ФАКЕЛА ИМПУЛЬСНЫМИ СТРУЯМИ ЖИДКОСТИ ВЫСОКОЙ СКОРОСТИ**

Проведены экспериментальные исследования по тушению газового факела импульсными струями жидкости высокой скорости. Определена минимальная скорость капельного потока огнетушащей жидкости, необходимая для тушения газового факела, а также зона прицеливания высокоскоростной струей, попадание в которую обеспечит тушение газового факела. Экспериментально исследована скорость распространения высокоскоростной струи огнетушащей жидкости в воздухе. По результатам эксперимента получена регрессионная зависимость, позволяющая определить, какой должен быть заряд пороха, если известно расстояние до очага пожара.

Ключевые слова: установка импульсного пожаротушения; огнетушащая жидкость; скорость струи; зона прицеливания; газовый факел.

*I. Gritsyna, Cand. of Sc. (Eng.), S. Vinogradov, S. Bychenko, Cand. of Sc. (Hist.)***EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THE EXTINGUISHING OF A SMOKE JET WITH IMPULSE HIGH VELOCITY LIQUID SPURTS**

Experimental researches for the extinguishing of a smoke jet with impulse high velocity liquid spurts have been conducted. Minimum velocity of droplets jet of a fire extinguishing liquid necessary for the extinguishing of a smoke jet as well as target zone of the high velocity jet hitting at that is to ensure extinguishing of smoke jet have been determined. Velocity of the spreading of the high temperature fire extinguishing liquid in the air has been researched experimentally. A regression relation to allow determination of the necessary value of the gunpowder charge depending on distance to the fireplace has been obtained as the result of the experiment.

Keywords: installation of pulse fire extinguishing; fire extinguishing fluid; the speed of the Jet; aiming zone; gas torch.

В [1] теоретически обоснована возможность тушения газовых фонтанов с помощью струй жидкости высокой скорости, полученных из установок импульсного пожаротушения (УИП). Для создания пилотных образцов УИП и разработки рекомендаций по их тактическому применению необходимо определить основные характеристики высокоскоростной струи, а также возможности УИП по тушению газовых факелов. Поэтому целью работы является исследование влияния массы порохового заряда и расстояния до сопла на скорость распространения струи огнетушащей жидкости (ОЖ) высокой скорости. Для определения тактических возможностей УИП необходимо также определить минимальную скорость капельного потока огнетушащей жидкости, необходимую для тушения газового факела и зоны прицеливания импульсной струей огнетушащей жидкости высокой скорости.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что в работах Атанова Г.А. [2], Noumi M. [3] и Семко А.Н. [4] установлено, что скорость головы высокоскоростной струи сначала возрастает со временем, а затем падает за счёт торможения о воздух. Однако конкретные численные данные об изменении скорости высокоскоростной струи в процессе распространения отсутствуют.

Исследования скорости, при которой происходит срыв и тушение газового факела, проводил Карпов В.Л. в своей работе [5]. Ему удалось получить аналитические зависимости скорости срыва газового факела в поперечном воздушном потоке в зависимости от начальной

скорости истечения газа. В работе [6] скорость поперечного потока, при которой происходит срыв пламени, теоретически определена как величина, связанная с диаметром скважины и не зависящая от скорости истечения газа.

На скорость полёта струи огнетушащей жидкости могут влиять следующие факторы: начальная скорость истечения U_0 , которая определяется массой порохового заряда m_{p0} при прочих равных условиях, расстояние до сопла УИП l , скорость и направление ветра \vec{W} , масса m_w и плотность ρ огнетушащей жидкости. Однако скоростью и направлением движения ветра \vec{W} при больших количествах огнетушащей жидкости и высоких скоростях движения струи можно пренебречь, а физические свойства воды известны и принимаются неизменными. Поэтому целью эксперимента являлось получение зависимости скорости распространения струи U от массы порохового заряда m_{p0} и расстояния до сопла l :

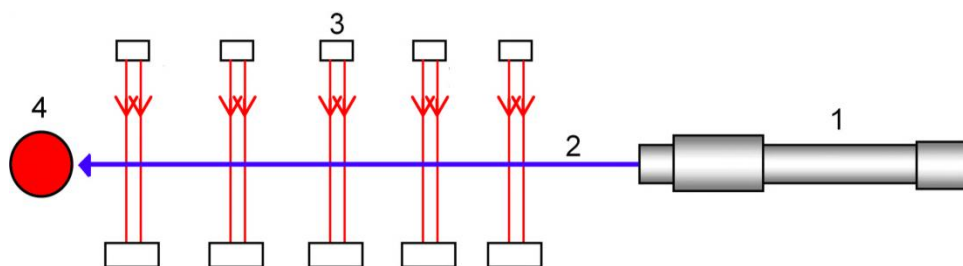
$$U = f(m_{p0}, l), \quad (1)$$

где U – скорость движения головной части струи огнетушащей жидкости, м;

m_{p0} – масса порохового заряда, г;

l – расстояние до сопла УИП, м.

Для определения зависимости (1) проведён эксперимент, схема которого представлена на рис. 1.



- 1 – опытный образец УИП; 3 – многоканальная система измерения скорости;
2 – высокоскоростная струя; 4 – газовый факел.

Рисунок 1 – Схема проведения эксперимента по изучению скорости распространения струи УИП

Производился выстрел из опытного образца УИП 1 высокоскоростной струёй 2 по модельному газовому факелу 4. Параметры газового факела: диаметр горелки $d_m = 15$ мм, расход газа $Q_0 = 5,4$ л/с, скорость истечения газа из модели $V = 30,6$ м/с, высота факела $H_f \approx 2,5$ м. Параметры УИП (рис. 2): диаметр сопла $d_c = 15$ мм, масса пороха $m_p = 5 \dots 15$ г, масса ОЖ в установке $m_w = 450$ г. Расстояние от УИП до факела варьировалась от 5 до 15 м.



Рисунок 2 – Опытный образец УИП

Изменение скорости головы струи измерялась с помощью многоканальной лазерной системы бесконтактного измерения скорости (МИС), которая позволяет измерять скорость в интервале 50–3000 м/с (рис. 1). Датчики МИС расположены через каждые 2 м на участке 10 м.

Для обработки результатов эксперимента и построения математических моделей использовали математический метод планирования эксперимента. Поскольку в эксперименте исследовали влияние только двух факторов, то был поставлен эксперимент типа 2^2 [7]. Для построения полинома второго порядка использовали метод, предложенный Г.Э.П. Боксом и К.Б. Вильсоном [8]. Использовали ротатабельный план второго порядка, так как он, в отличие от ортогонального, позволяет предусмотреть значение функции отклика с дисперсией, одинаковой на равных расстояниях от центра плана [7].

Значение массы порохового заряда варьировалось от 5 г – наименьшее расчётное количества пороха для опытного образца УИП, до массы, при которой обеспечивается, по теоретическим предположениям, максимальная дальность полёта струи – 15 г. Нижний уровень для расстояния до сопла составлял 2 м, что обусловлено необходимостью проследить изменение скорости возле сопла, а верхний уровень составлял 10 м – теоретически максимальное расстояние для изучения.

Расчёт коэффициентов регрессии по результатам экспериментов проводили по формулам, приведённым в [7]. Выполнив расчёт коэффициентов регрессии, оценили их значимость по критерию Стьюдента. Уравнение регрессии принимает вид:

$$U = 18,4m_{p0} - 6,45l^2 + 70,8l - 0,96m_{p0}l - 4,1, \quad (2)$$

где U – скорость движения головной части струи огнетушащей жидкости, м;

m_{p0} – масса порохового заряда, г;

l – расстояние до сопла УИП, м.

Получив полиномиальную модель, проводили статистическую оценку. Проверили воспроизводимость процесса по критерию Кохрена и адекватность по критерию Фишера. Проверка адекватности модели и воспроизводимости процесса дала положительный результат. Графическое изображение зависимости скорости струи от массы пороха и расстояния до сопла представлено на рис. 3.

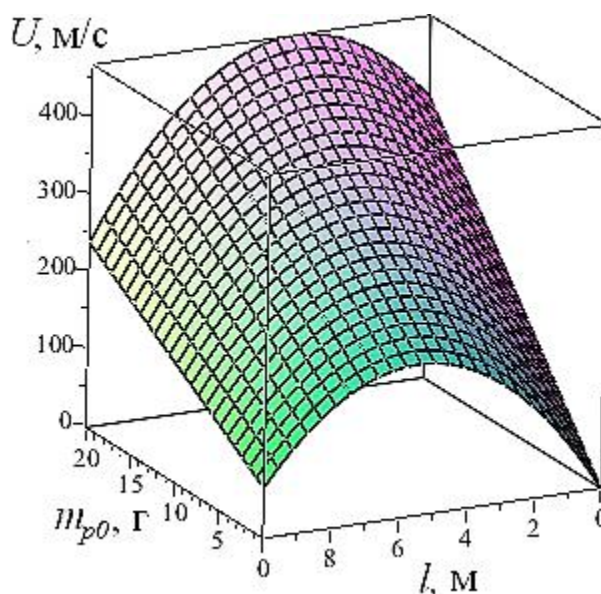


Рисунок 3 – Поверхность отклика зависимости скорости распространения струи огнетушащей жидкости от массы порохового заряда и расстояния до сопла

Анализ поверхности отклика на рис. 3 показывает, что истечение струи ОЖ начинается со скоростью, соответствующей давлению за первой волной сжатия. Вторая зона струи, соответствующая следующей волне сжатия, имеет большую скорость и проходит сквозь первую зону, разбивая её и т. д. Этот процесс разгона происходит до тех пор, пока в голове струи не установится максимальная скорость. Для всех опытов этот участок лежит в пределах 4–5 м. После этого происходит постепенное уменьшение скорости за счёт торможения о воздух.

Полученная регрессионная зависимость (2) позволяет определить, какой должен быть заряд пороха, если известно расстояние до очага пожара. Это может быть полезным при проектировании УИП в качестве стационарного средства пожаротушения.

Следующим этапом экспериментальных исследований было определение минимальной скорости капельного потока огнетушащей жидкости, необходимой для тушения газового факела.

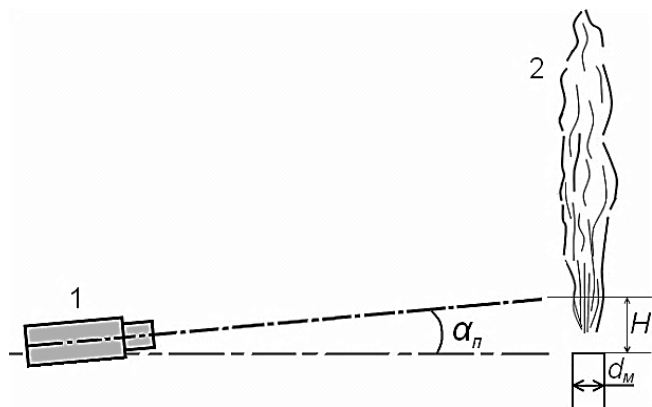
Параметры газового факела оставались прежними. Расстояние от опытного образца УИП до факела варьировалась в диапазоне 5–15 м. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментального исследования по минимальной скорости капельного потока огнетушащей жидкости, необходимой для тушения газового факела

№	Масса порохового заряда, г	Расстояние от УИП до факела, м	Скорость у факела, м/с	Результат: «+» – факел потушен «-» – факел не потушен
1	5	5	227	+
2	5	10	87	+
3	5	15	54	-
4	5	12	63	-
5	10	5	338	+
6	10	10	105	+
7	10	15	73	-
8	10	12	82	+
9	15	5	428	+
10	15	10	125	+
11	15	15	78	-
12	15	12	108	+

Таким образом установлено, что минимальная скорость капельного потока ОЖ, при которой происходит тушение модельного газового факела, лежит в пределах 80–90 м/с.

Для определения зоны прицеливания импульсной струёй огнетушащей жидкости высокой скорости изменялся угол наклона установки импульсного пожаротушения α_n относительно нулевой точки начала истечения газа (рисунок 4).



1 – опытный образец УИП
2 – газовый факел

Рисунок 4 – Схема проведения исследования по определению зоны прицеливания импульсной струёй огнетушащей жидкости высокой скорости

Установлено, что при данных условиях (расстояние до факела 10 м) тушение возможно при угле наклона $0,5^\circ \leq \alpha_{\text{п}} \leq 3^\circ$, что соответствует подаче ОЖ в зону $H = (5 \dots 35)d_{\text{м}}$.

При подаче огнетушащей жидкости нижеуказанной зоны, большая часть жидкости не участвует в процессе тушения (рис. 5а).



а) ниже зоны прицеливания



б) выше зоны прицеливания

Рисунок 5 – Подача огнетушащей жидкости при тушении газового факела

Если струя огнетушащей жидкости подаётся выше указанной зоны, то остаётся непотушенной зона на выходе из горелки и горение возобновляется снова (рис. 5б).

В результате экспериментальных исследований скорости распространения струи огнетушащей жидкости получена регрессионная модель зависимости скорости полёта струи от массы порохового заряда и расстояния до сопла. Полученная модель позволяет определить расстояние, на котором нужно устанавливать УИП от факела, либо массу порохового заряда, необходимого для тушения с заданного расстояния. Определено, что минимально необходимая скорость капельного потока огнетушащей жидкости, при которой происходит срыв и тушение модельного факела, лежит в пределах 80–90 м/с, а для успешного тушения факела с расходом газа $Q_0 = 5,4$ л/с и скоростью истечения $V = 30,6$ м/с струи огнетушащей жидкости необходимо направлять в зону видимого начала горения на расстояние 5–35 калибров горелки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов С.А., Грицына И.Н., Сенчихин Ю.Н., Касьян А.И. О возможности тушения пожаров газовых фонтанов с помощью высокоскоростных струй жидкости // Пожежна безпека. – Львов: ЛГУБЖД, 2010. – № 17. – С. 77–82.
2. Атанов Г.А., Бишевли Б.И. Об особенностях движения струи импульсного водомёта // Газовая динамика: Сб. научн. тр. – Томск: Изд-во ТГУ. – 1987. – С. 3–8.
3. Proc. 3rd International Symposium on Jet Cutting Technology. – Chicago (Illinois), 1976. – Paper B4. – P. 47–58.
4. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления. – Донецк: Вебер (Донецкое отделение), 2007. – 149 с.
5. Карпов В.Л. Пожаробезопасность регламентных и аварийных выбросов горючих газов. Часть 2. Предельные условия устойчивого горения и тушения диффузионных факелов в подвижной атмосфере // Пожаровзрывобезопасность. – 1998. – № 4. – С. 46–52.
6. Пат. 27155 Україна, МПК6 А 62 С 3/06, 31/02, 31/03, Е 21 В 35/00. Спосіб гасіння пожежі газового та нафтового фонтана та пристрій для його здійснення / Нода О.О., Свириденко М.Ф. та ін. – № 96124654; заявл. 13.12.1996; опубл. 28.02.2000, Бюл. № 1.
7. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – К.: Техника, 1975. – 168 с.
8. Vox G.E.B. On the Experimental Attainment of Optimum Conditions / G.E.O. Vox, K.B. Wilson // Journal of the Riyal Statistical Society. – Series B. – 1951, 13, № 1. – P. 1–45.