

УДК 614.843

С.А. Виноградов, И.Н. Грицына, канд. техн. наук, Н.О. Консуров

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВОДЯНОЙ СТРУИ В ВОЗДУХЕ

Приведены результаты исследования распространения высокоскоростной водяной струи в воздухе. Получена видеограмма процесса распространения струи. Найдены закономерности изменения структуры высокоскоростной струи. Определены факторы, оказывающие наибольшее влияние на ее разрушение.

Ключевые слова: высокоскоростная водяная струя, водяная система пожаротушения импульсного действия, видеограмма, распространение струи, разрушение струи.

S. Vinogradov, I. Gritsyna, Cand. of Sc. (Eng.), N. Konsurov

STUDY OF COMMON HIGH-SPEED WATER JETS IN AIR

The results of the study of the propagation High water jet in the air. Obtained videogram the spread of the jet. Found patterns of change in the structure High jet. The factors with the greatest impact on its destruction.

Keywords: high-speed water jets, water sprinklers pulsed, videogram, distribution of the jet, the destruction of the jet.

Экспериментальные и теоретические исследования [1, 2] подтверждают, что импульсные высокоскоростные водяные струи могут быть эффективно использованы для нужд пожаротушения, в частности, для тушения газовых фонтанов. Однако для успешного их применения необходимо изучить, в первую очередь, закономерности формирования и распространения таких струй в воздухе на дистанциях эффективного воздействия. Эти знания помогут расширить возможные области применения высокоскоростных водяных струй, а также определить закономерности изменения структуры струи.

Известны результаты экспериментальных исследований распространения высокоскоростных струй в воздухе и взаимодействия их с преградой [3-5]. Эти исследования были направлены на изучение структуры струи, картины обтекания ее воздухом, закономерностей и особенностей ее распространения на дистанции до 2 м – когда высокоскоростная струя оказывает наибольшее динамическое воздействие на преграду.

Перед авторами стояла задача изучения характера распространения высокоскоростной водяной струи на всем пути ее следования – от вылета из системы пожаротушения до ее полного распада.

Исследование процесса распространения высокоскоростной водяной струи проводился с помощью высокоскоростной видеокамеры Photron FASTCAM BC2 HD, которая позволяет получить 4-х мегапиксельное изображение [2048x2048] при скорости 1000 к/с.

Для получения высокоскоростной водяной струи использовался экспериментальный образец водяной системы пожаротушения импульсного действия (далее - ВСПИД) (рисунок 1), который позволяет получить скорость струи до 2 000 м/с при использовании порохового заряда массой $m_p \leq 30$ г.



Рисунок 1 – Экспериментальный образец водяной системы пожаротушения импульсного действия

Суть исследования заключалась в следующем: из экспериментального образца ВСПИД проводили серию выстрелов при массе порохового заряда $m_p=(5, 10, 15)$ г, распространение струи фиксировалось высокоскоростной камерой. Впоследствии полученный видео ряд раскладывали на кадры и составляли видеogramму из наиболее характерных участков распространения струи.

На рисунке 2 приведена видеogramма процесса распространения высокоскоростной водяной струи при массе порохового заряда $m_p=5$ г.

Проведенные эксперименты показали, что высокоскоростная струя распространяется в пространстве неравномерно. Характер распространения струи не зависит от начальных параметров.

Рассмотрим полет высокоскоростной водяной струи. Струя вылетает из ВСПИД со скоростью, которая возрастает со временем. Из видеogramмы на рисунке 2 (в) видно окончание выстрела, которое сопровождается отрывом струи от сопла. Длина вытянутого ядра струи при этом составляет около 5 м. Далее за ядром на длину порядка 1,5 м следует капельное облако, которое образовалось вследствие обдирки головной части струи и отбрасывания капель на периферию.

Не зависимо от массы порохового заряда около половины всего расстояния, которое пролетает струя, она преодолевает, имея выраженное плотное ядро (рисунок 2, а-в). На этом участке скорость полета струи возрастает и достигает своего максимума. В этой зоне струя имеет наибольший импульс и может быть использована для разрушения различных материалов, таких как бетонные плиты, части разрушенных конструкций и т.п.

По мере отдаления струи от сопла, длина и плотность ядра резко уменьшается (рисунок 2, г-д). На рисунке 2 (д) струя еще имеет ядро, однако скорость струи уже меньше, чем на рисунке 2 (в).



Рисунок 2 – Видеограмма распространения высокоскоростной водяной струи при массе порохового заряда $m_p = 5$ г

При последующем движении струи происходит замедление скорости ее головы. Ядро струи разрушается, принимая очертания капельного облака (рисунок 2, г-и). При этом диаметр струи увеличивается до ≈ 1 м, что соответствует диапазону 65-70 диаметров сопла ВСПИД. После распада головной части уже разрушенная струя проходит расстояние $(0,1 \div 0,15)$ от максимальной дальности. На этом участке энергии струи еще достаточно для тушения макетного очага пожара класса С (расход газа $Q_0 = 5,4$ л/с, скорость истечения $V = 30,6$ м/с, высот факела $H_f \approx 2,5$ м). После этого часть капель, участвующих в полете, оседает вниз, а часть испаряется в воздухе. Истечение струи завершается.

Таким образом, после вылета из системы пожаротушения струя попадает в воздух и подвергается разрушению, степень которого возрастает с удалением от сопла. При этом постоянно увеличивается средний диаметр струи и уменьшается ее осевое и среднее динамическое давление струи (т.е. уменьшаются осевая и средняя ее скорости).

Постепенное разрушение струи при движении в воздухе происходит по ряду причин. На этот процесс оказывают влияние такие факторы, как сила тяжести, силы поверхностного натяжения, вязкость жидкости. В определенных условиях каждый из перечисленных факторов может иметь решающее значение. Интенсивность процесса распада водяной струи зависит также от скорости истечения и диаметра сопла. Также интенсивность распада струи в значительной мере зависит от формы сопла, чистоты обработки его внутренней поверхности. Однако решающее влияние оказывает характер распространения струи – когда задние части струи разгоняются и разбивают передние – таким образом, струя ускоряется и постоянно разрушается головная часть.

Выводы. Из проведенных исследований можно сделать вывод, что для увеличения дальности подачи высокоскоростной струи ВСПИД необходимо минимизировать волновые процессы и обеспечить постоянную в течение выстрела скорость струи.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение поля скоростей по длине струи, поля плотностей по поперечному сечению струи и структуры струи «на просвет».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О возможности тушения пожаров газовых фонтанов с помощью высокоскоростных струй жидкости / [Виноградов С.А., Грицына И.Н., Сенчихин Ю.Н., Касьян А.И.] // Пожежна безпека: збірник наукових праць. – Львов: ЛГУБЖД, 2010. - №17. – С.77-82.
2. Семко А.Н. Использование импульсных струй жидкости высокой скорости для тушения газовых факелов/ А.Н. Семко, С.А. Виноградов, И.Н. Грицына // Вісник ДонНУ, Сер. А: природничі науки. – Донецк, 2011. – №1. – С. 160-167.
3. Noumi M. Flow characteristics and impact phenomena of pulsed water jets / M. Noumi , K. Yamamoto - Chicago (Illinois), 1976.- Paper B4.- P. 47-58 (Proc. 3rd International Symposium on Jet Cutting Technology).
4. Украинский Ю.Д. Экспериментальные исследования ультраструй: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук: спец. 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» / Ю.Д. Украинский. - Киев, 1978. – 16 с.
5. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления / Семко Александр Николаевич. – Донецк: Вебер, 2007. – 149 с.

