

ти позволяют определить оптимальные количественные рабочие параметры стволов УИП для тушения пожаров различной категории сложности.

### Литература

1. ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide, April 2009. ANSYS Inc.
2. Альтшуль, А. Д. Гидравлика и аэродинамика / А. Д. Альтшуль, Л. С. Животовский, Л. П. Иванов. – М.: Стройиздат, 1987. – 413 с.

УДК 614.843.3

### **Численное моделирование движения огнетушащей жидкости в проточной части установки импульсного пожаротушения (УИП)**

Дмитриченко А. С.<sup>1</sup>, Качанов И. В.<sup>2</sup>, Кудин М. В.<sup>3</sup>,  
Шаталов И. М.<sup>2</sup>, Щербакова М. К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>3</sup>Белорусская государственная академия авиации

Минск, Республика Беларусь

*В статье представлены результаты теоретического и компьютерного моделирования движения огнетушащей жидкости в проточной части установки импульсного пожаротушения.*

Вода на настоящий момент является одним из самых распространенных средств пожаротушения. До 90 % всех пожаров ликвидируется именно водой, и это наиболее простой, экологически чистый и дешевый способ [1, 2]. Традиционное оборудование (например, пожарные стволы) имеет ряд недостатков, основным из которых является нанесение значительного ущерба вследствие применения чрезмерного количества воды.

В настоящее время все большее внимание уделяется повышению эффективности тушения водой за счет уменьшения подаваемого удельного расхода и увеличению степени использования огнетушащего вещества (ОТВ). Это достигается использованием при тушении пожаров распыленной воды (РВ) и составов на ее основе, подаваемых к месту пожара различными системами, установками и устройствами. Например, установками импульсного пожаротушения (УИП), в состав которых входит ствол пожаротушения импульсный (СПИ). На кафедре ГЭСВТГ БНТУ в 2015 г. было выполнено научно-техническое исследование установок импульсного пожаротушения в рамках ГБ 15-153 «Разработка методики определения гидродинамических характеристик истечения жидкости из стволов установок импульсного пожаротуше-

ния» по заданию 2.2.51 п.8 ГПНИ «Информатика и космос, научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций».

Основным техническим устройством УИП, подающим ОТВ на формирование струи РВ, является ствол, который в общем случае состоит из газовой (воздушной) и жидкостной (водяной) камер, соединенных быстродействующим клапаном. На выходе ствола может устанавливаться насадок с распылителем, чаще всего выполняемый из гибкого материала (резины). При открытии клапана происходит вытеснение рабочим газом жидкости через насадку с распылителем в окружающее пространство. Основными характеристиками, влияющими на режим истечения жидкости и процесс формирования распыленной струи, являются давление в газовой (воздушной) камере ствола, скорость подачи распыливающего сжатого газа, количество жидкости в жидкостной (водяной) камере, диаметр отверстия насадка с распылителем и геометрические размеры самого ствола, т.е. длины газовой  $l_g$  и жидкостной  $l_{ж}$  камер.

Геометрическая модель ствола УИП представлена на рис. 1.

Газ и жидкость располагаются в цилиндрическом резервуаре диаметром  $d_p$  и занимают объемы, характеризующиеся длинами  $l_g$  и  $l_{ж}$ , разделенные плоской твердой границей с конически расходящимся насадком (на схеме условно не показан). Газ находится под давлением  $P_0$ , жидкость – при давлении окружающей среды  $P_E$ . Далее жидкость вытесняется через цилиндрический насадок диаметром  $d_n$  и длиной  $l_n$  в окружающую среду.

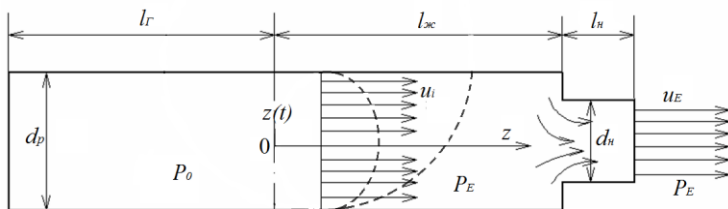


Рис. 1. Геометрическая модель СПИ

Предполагается, в отличие от предыдущих исследователей, что в процессе вытеснения граница раздела жидкость-газ подвержена неустойчивости Рэлея-Тейлора, а также действию других факторов, разрушающих её структуру, и имеет криволинейную форму в виде овала или в виде параболы (штриховая линия на рис. 1).

В стволе УИП происходит импульсное вытеснение жидкости сжатым газом, которое можно считать неустановившимся резкoизменяющимся

(импульсным) движением распыливаемой жидкости с адиабатическим расширением распыливающего газа в стволе УИП и на выходе из него.

Такое движение можно моделировать путем использования двух уравнений: уравнения импульса и уравнения неразрывности с учетом инерционных потерь давления. Систему этих уравнений для двухфазного потока жидкости можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{\partial(\alpha\rho_\alpha\vec{v})}{\partial t} + \text{div}(\alpha\rho_\alpha\vec{v} \otimes \vec{v}) = -\alpha\nabla p + \alpha\nabla t - R\vec{v} \\ \frac{\partial(\beta\rho_\beta\vec{v})}{\partial t} + \text{div}(\beta\rho_\beta\vec{v} \otimes \vec{v}) = -\beta\nabla p + \beta\nabla t - R\vec{v} \end{cases} \quad (1)$$

Численное моделирование движения жидкости в стволах УИП проводилось в современном пакете вычислительной гидрогазодинамики ANSYS CFX, в который включены различные математические модели, в том числе и модели движения двухфазных потоков (жидкость-газ) и распыления жидкостей.

Для численного моделирования движения огнетушащей жидкости в стволе УИП в качестве объекта была выбрана жидкостная (водяная) камера ствола УИП, основные геометрические параметры которой полностью соответствовали реальным размерам ствола, используемым в практике пожаротушения в Республике Беларусь и за рубежом. Расчетная область определялась координатами  $X, Y, Z$  декартовой системы координат, задававшимися путем твердотельного моделирования жидкостной (водяной) камеры в пакете «ANSYS CFX».

Моделирование проводилось с различными соотношениями  $d_n/d_p$ , применяемыми в практике пожаротушения. Скорость подачи распыливающего сжатого газа варьировалась в пределах 5–50 м/с, 50–100 м/с, 100–300 м/с и свыше 300 м/с.

Некоторые результаты численного моделирования представлены на рис. 2.

Проведенное моделирование позволило сделать следующие выводы:

1. В результате взаимодействия распыливающего газа с распыливаемой жидкостью граница раздела фаз имеет не плоскую, а криволинейную форму, причем при скоростях течения распыливающего сжатого газа до 50 м/с эта граница имеет форму параболы, а при скоростях – 50–300 м/с и выше (до 1000 м/с) – форму овала, вытягивающегося в симметричную параболу и в ярко выраженный клин

2. Режимы течения и диспергирования (распада и распыления) огнетушащей жидкости зависят от размеров жидкостной камеры (её диаметра  $d_p$ ) и отверстия истечения ( $d_n$ ). При соотношениях  $d_n/d_p > 0,80 \div 0,85$  устанавлива-

ется резкоизменяющийся (импульсный) характер течения огнетушащей жидкости с волнообразным распадом (диспергированием или распылением) струи жидкости; при  $d_H/d_p \leq 0,85 \div 0,5$  движение огнетушащей жидкости в стволе УИП приобретает элементы квазистационарного течения с волнообразным у отверстия истечения и последующим турбулентно-пульсационным распылением; при  $d_H/d_p < 0,5$  движение жидкости в стволе УИП, из-за резкого увеличения гидравлического сопротивления отверстия истечения, можно считать квазистационарным, при этом изначально кавитационное переходит в чисто инерционное (даже сверхзвуковое) распыление жидкости в плоскости отверстия истечения или в непосредственной близости от него.

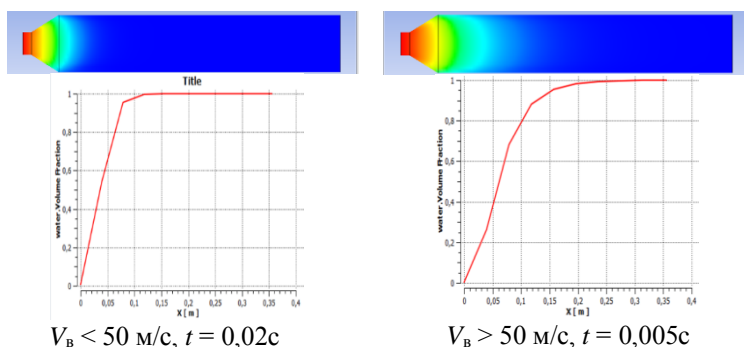


Рис. 2. График изменения соотношения воздух-вода в газо-жидкостном потоке при скоростях подачи распыливающего сжатого газа до и свыше 50 м/с

В заключении следует отметить, что установленные режимы течения огнетушащей жидкости в проточной части ствола УИП позволяют выбрать наиболее оптимальные конструктивные и гидродинамические параметры ствола УИП для тушения пожаров различной сложности.

### Литература

1. Корольченко, А. Я. Технология импульсного водяного пожаротушения IFEX 3000 / А. Я. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2001. – № 2. – С. 3–5.
2. Дауэнгауэр, С. А. Пожаротушение тонкораспыленной водой: механизмы, особенности, перспективы / С. А. Дауэнгауэр // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – № 6. – С. 78–81.