

А. С. Дмитриченко, канд. техн. наук, доцент,
И. В. Качанов, д.т.н, профессор, М. В. Кудин, канд. техн. наук, доцент,
И. М. Шаталов, ст. преподаватель, М. К. Щербакова, ст. преподаватель,
К. Ю. Быков, магистрант, В.С. Рабченя, студентка
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ОГNETУШАЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ УСТАНОВКИ ИМПУЛЬСНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ (УИП)

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).

Основным техническим устройством УИП, подающим ОТВ на формирование струи РВ, является ствол, который в общем случае состоит из газовой (воздушной) и жидкостной (водяной) камеры, 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 насадок с распылителем в окружающее пространство. 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). При этом газ находится под давлением P_0 , жидкость – при давлении окружающей среды P_E . Далее

жидкость вытесняется через цилиндрический насадок диаметром d_H и длиной l_H в окружающую среду.

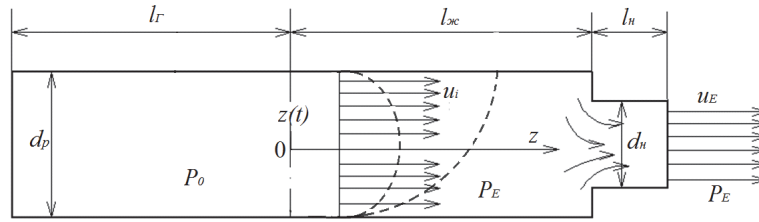


Рисунок 1. Геометрическая модель СП-И

Предполагается (в отличие от предыдущих исследователей), что в процессе вытеснения граница раздела жидкость-газ подвержена неустойчивости Рэля-Тейлора, а также действию других факторов, разрушающих её структуру и имеет криволинейную форму в виде овала или в виде параболы (на схеме штриховая линия) (рис. 2).

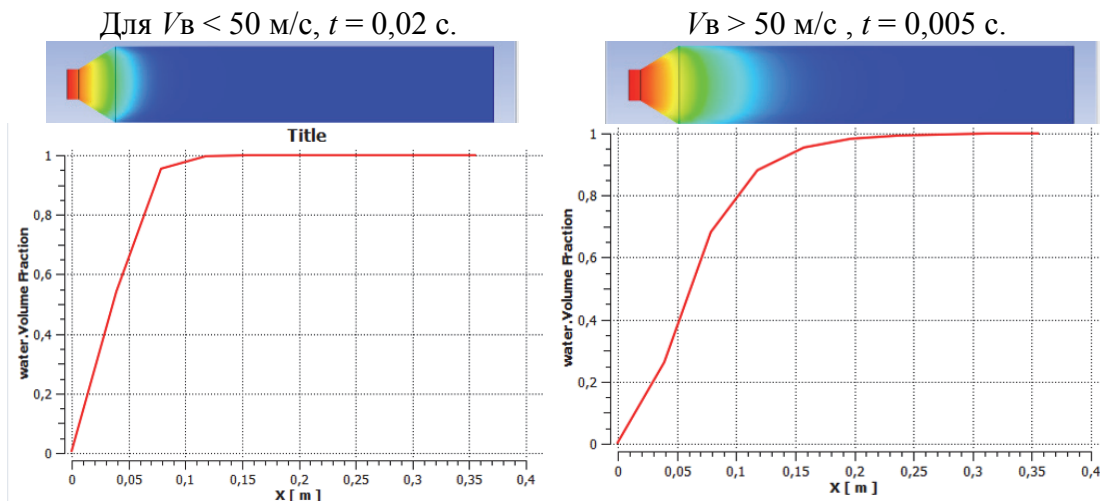


Рисунок 2. График изменения соотношения воздух-вода в потоке газожидкостном потоке при скоростях подачи распыливающего сжатого газа < 50 м/с и > 50 м/с

Такое движение можно моделировать путем использования 2-х уравнений: уравнения импульса и уравнения неразрывности с учетом инерционных потерь давления. Систему этих уравнений для двухфазного потока жидкости можно записать следующим образом

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

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, задающимися путем твердотельного моделирования жидкостной (водяной) камеры в пакете «ANSYS CFX».

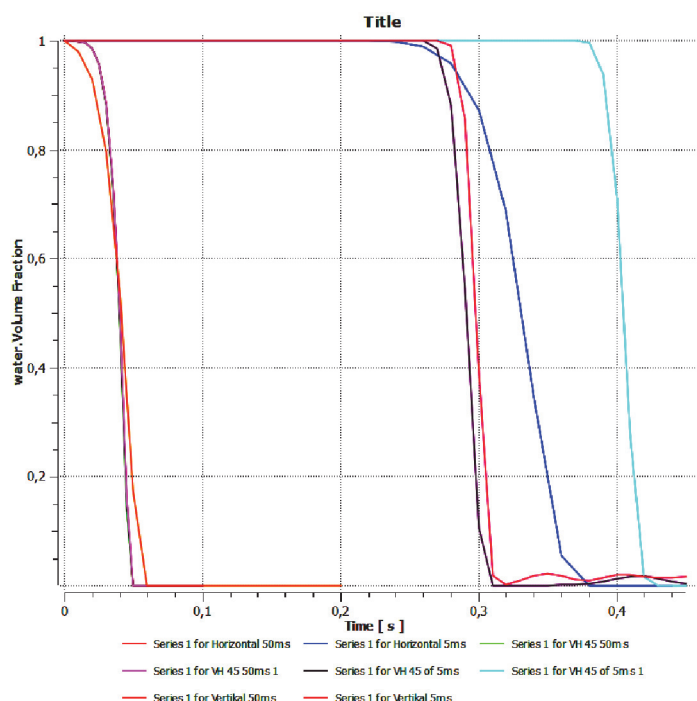


Рисунок 3. График изменения во времени соотношения воздух-вода на выходе из ствола УИП при различных положениях оси ствола УИП в пространстве ($+90^0, +45^0, 0^0, -45^0$) для скорости подачи распыливающего сжатого газа < 5 м/с и > 50 м/с

При моделировании движения огнетушащей жидкости в стволе УИП использовались следующие модели и условия на входе распыливающего газа в распыливаемую жидкость в жидкостной (водяной) камере ствола: модель движения газа и жидкости в жидкостной камере «Эйлера», модель двухфазного массопереноса «Zwart-Gtrber-Belamri», модель турбулентности: К-ε.

Проведенное моделирование позволило сделать следующие выводы:

1. В результате проведенного компьютерного моделирования установлено, что в результате взаимодействия распыливающего газа с распыливаемой жидкости 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 – форму овала, вытягивающегося в симметричную параболу и в ярко выраженный клин.

2. Проведенное компьютерное моделирование при различных скоростях подачи распыливающего сжатого газа в жидкостную камеру (изменение скорости сжатого газа варьировалось в пределах от 5 м/с до 200 м/с и выше) позволило установить режимы течения и диспергирования (распада и распыления) огнетушащей жидкости в зависимости от размеров жидкостной камеры (её диаметр (d_p) и размеров отверстия истечения (d_n)). Было установлено, что при соотношениях $d_n / d_p > 0,80 \div 0,85$ наблюдался резкоизменяющийся (импульсный) характер течения огнетушащей жидкости с волнообразным распадом (диспергированием или распылением) струи жидкости; при $d_n / d_p \leq 0,85 \div 0,5$ движение огнетушащей жидкости в стволе УИП приобретало элементы квазистационарного течения с волнообразным у отверстия истечения и последующим турбулентно-пульсационным распылением; при $d_n / d_p < 0,5$ движение жидкости в стволе УИП, из-за резкого увеличения гидравлического сопротивления отверстия истечения, можно считать (с определенной степенью допущения) квазистационарным, но при этом начиналось кавитационное, а затем и чисто инерционное (даже сверхзвуковое) распыление жидкости в плоскости отверстия истечения или в непосредственной близости от него.

В заключении следует отметить, что установленные режимы течения огнетушащей жидкости в проточной части ствола УИП и на выходе из него 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.