

УДК 614.844.2

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СТВОЛОВ УСТАНОВОК ИМПУЛЬСНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Иваницкий А.Г.

*In this article results of studying hydrodynamical characteristics of FPI trunks are presented. These results are based on mathematical modeling and experimental researches of hydrodynamical characteristics of the discharge of a liquid from trunk СП-И УИП-1.*

(Поступила в редакцию 30 марта 2008 г.)

По статистическим данным, более 80% всех пожаров в Республике Беларусь происходит в жилых зданиях, из них 70% в городах, причем в среднем по стране площадь одного пожара не превышает 25 м<sup>2</sup>. При тушении таких пожаров, как правило, используется вода, подаваемая в виде компактных или распыленных струй. Пожаротушение компактными струями требует привлечения значительного количества сил и средств и наносит дополнительный материальный ущерб от пролитой воды. Поэтому в настоящее время все большее внимание уделяется повышению эффективности тушения за счет применения распыленной воды и составов на ее основе.

Анализ статистических данных о боевой работе аварийно-спасательных подразделений показал, что с применением переносных установок (РУПТ «Игла 1-0,4», «IFEX-3000» и «УИП-1») тушится от 5 до 10% пожаров, происходящих в жилом секторе. Несмотря на широкое распространение технологий импульсного пожаротушения в мире, в Республике Беларусь установки импульсного пожаротушения (УИП) используются недостаточно эффективно. Это происходит по причине неизученности процессов истечения и механизмов формирования распыленных водяных струй при импульсной подаче, оценить которые невозможно без исследования гидродинамических характеристик стволов УИП.

Существовавшие подходы к решению поставленной проблемы имеют ряд недостатков. Анализ работ [1, 2] показал, что в них приведены зависимости, устанавливающие, что скорость истечения не зависит от диаметра отверстия истечения, а время истечения зависит. Это не соответствует действительности, поскольку время истечения основной части жидкости при прочих равных условиях зависит только от скорости истечения. До настоящего момента не были разработаны математические модели, описывающие изменение скорости истечения жидкости из стволов УИП с учетом инерционности огнетушащего вещества. Отсутствие таких моделей не позволяло проводить работы по исследованию быстродействия и интенсивности подачи огнетушащих веществ УИП, требуемых п. 3.2, 3.8 [3], и оценивать эффективность их использования. Быстродействие работы УИП характеризуется общим временем истечения, а интенсивность подачи – скоростью истечения основной части огнетушащего вещества. Устранение указанной проблемы возможно путем разработки математической модели процесса истечения жидкости из ствола УИП на основании решения уравнения Бернулли для неустановившегося движения жидкости. Основное назначение этой модели – описание характера изменения во времени скорости истечения жидкости в зависимости от параметров ствола УИП.

Результатом решения уравнения Бернулли для неустановившегося движения жидкости при истечении из геометрической модели типового ствола УИП стали:

– зависимость оптимального соотношения длины водяной и воздушной камеры ствола:

$$\frac{l_{\mathcal{E}}}{l_{\mathcal{A}}} = \left( \frac{n}{1 + (n-1) \frac{P_E}{P_0}} \right)^{\frac{1}{n-1}} - 1, \quad (1)$$

где  $l_{\mathcal{E}}$  – длина водяной камеры ствола;

$l_{\mathcal{A}}$  – длина воздушной камеры ствола;

$n$  – показатель адиабаты рабочего газа;

$P_E$  – давление окружающей среды;

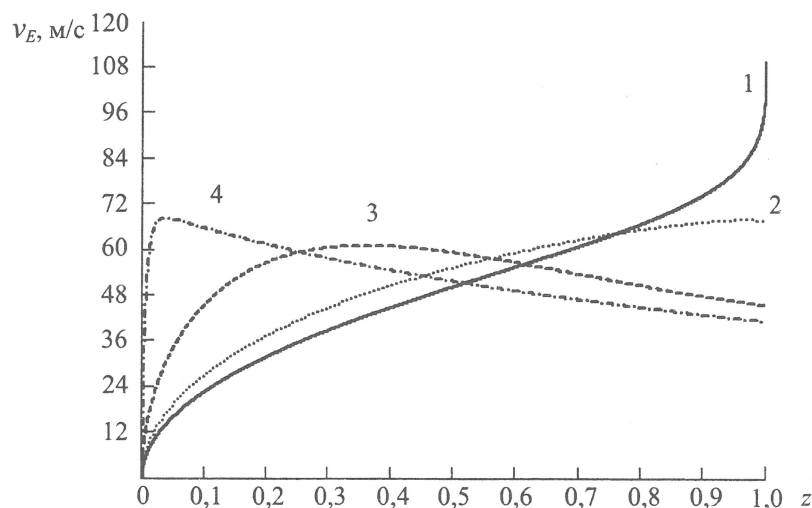
$P_0$  – начальное давление в воздушной камере ствола;

– зависимость скорости движения жидкости в стволе от положения границы раздела сред:

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \cdot x^m \left( \int_x^{x_0} \frac{dx}{(1-x)^n \cdot x^{m+1}} - \frac{P_E}{P_1} \cdot \int_x^{x_0} \frac{dx}{x^{m+1}} \right)}{\rho_{\mathcal{E}}}}, \quad (2)$$

где  $x$ ,  $m$ ,  $P_1$  – вспомогательные безразмерные переменные, зависящие от геометрических и рабочих параметров ствола УИП.

Уравнение (2) решалось численным методом с учетом неразрывности потока истекающей несжимаемой жидкости при условии, что длина выходного насадка стремится к нулю, для проектного ряда диаметров. Результаты решения представлены на рисунке 1.

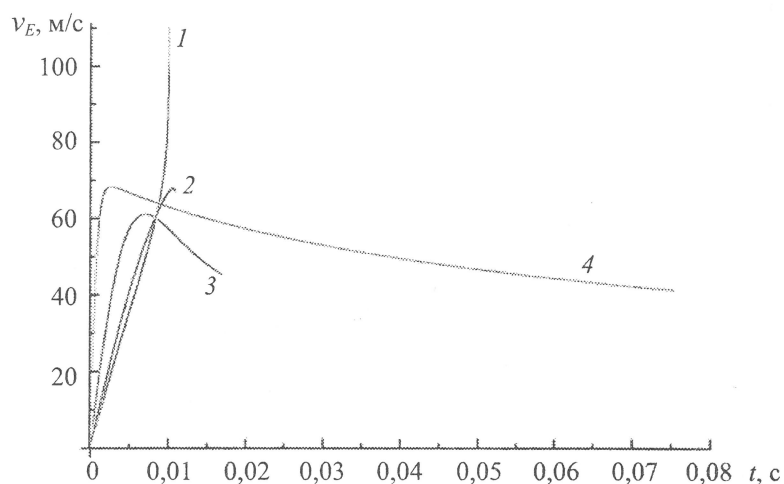


1 –  $d_H = 62,5$  мм; 2 –  $d_H = 56,9$  мм; 3 –  $d_H = 41,6$  мм; 4 –  $d_H = 19,1$  мм

**Рисунок 1 – Зависимость скорости истечения жидкости  $v_E$  из ствола СП-И от безразмерной координаты положения границы раздела сред  $z$**

Для обеспечения возможности аппаратного контроля времени истечения уравнение (2) преобразовывалось графоаналитическим методом в зависимость скорости истечения от времени. Указанный метод позволяет преодолеть трудности, возникающие при

интегрировании неполных бета-функций Эйлера. Результаты преобразования уравнения (2) приведены на рисунке 2. Импульсное истечение соответствует режиму, когда граница раздела сред при вытеснении основной части жидкости перемещается при постоянном ускорении. Квазистационарное истечение наблюдается при перемещении границы раздела сред при малых ускорениях. Анализ решений (2) показал постоянное увеличение скорости истечения жидкости для  $d_H = 62,5$  и  $56,9$  мм, что позволяет отнести эти режимы истечения к импульсным. При уменьшении  $d_H$  происходит образование экстремума скорости (графики 3 и 4 рисунка 1) который смещается к начальному положению границы раздела сред при уменьшении  $d_H$ . Режим истечения из импульсного начинает переходить в квазистационарный. Максимальное значение скорости истечения жидкости для  $19,1 \leq d_H \leq 50,4$  находится в диапазоне от 60 до 70 м/с. Последние точки приведенных на рисунке 2 графиков соответствуют времени полного истечения жидкости из ствола. Как видно, время истечения значительно зависит от диаметра отверстия истечения, влияющего на характер изменения во времени скорости движения жидкости в стволе.



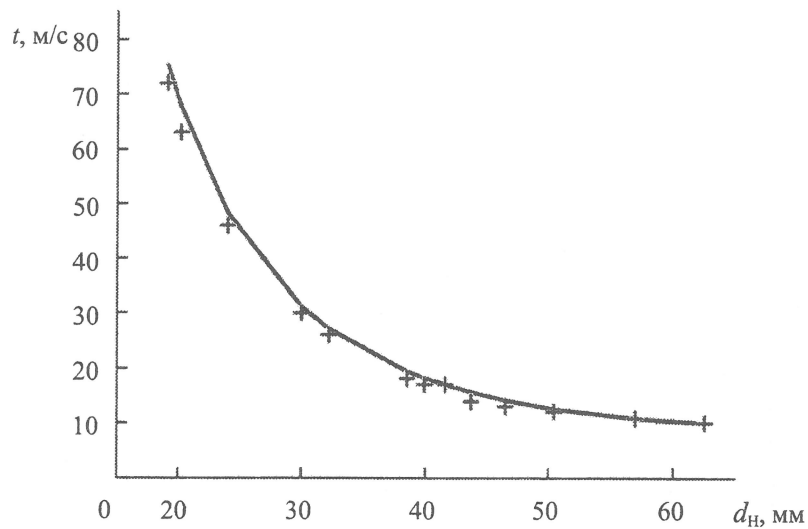
1 –  $d_H = 62,5$  мм; 2 –  $d_H = 56,9$  мм; 3 –  $d_H = 41,6$  мм; 4 –  $d_H = 19,1$  мм

Рисунок 2 – Зависимость скорости истечения жидкости  $v_E$  из ствола СП-И от времени  $t$

Для оценки полученных результатов моделирования проведены экспериментальные исследования времени истечения основной части жидкости из ствола СП-И УИП-1 с использованием дифференциального пьезоэлектрического преобразователя давления и цифрового запоминающего осциллографа С8-40. Результаты эксперимента подтвердили теоретически обоснованное критическое значение отношения диаметра отверстия истечения к внутреннему диаметру водяной камеры  $d_H/d_p = 0,889$ , разделяющее импульсный и квазистационарный режимы истечения жидкости. Расчетные значения времени истечения отличаются по модулю от экспериментально измеренных не более чем на 10% (рисунок 3). Это позволяет сделать вывод о том, что разработанная математическая модель истечения жидкости более точно описывает работу стволов УИП, чем существовавшие до настоящего времени модели, погрешность которых превышает 100% (рисунок 4).

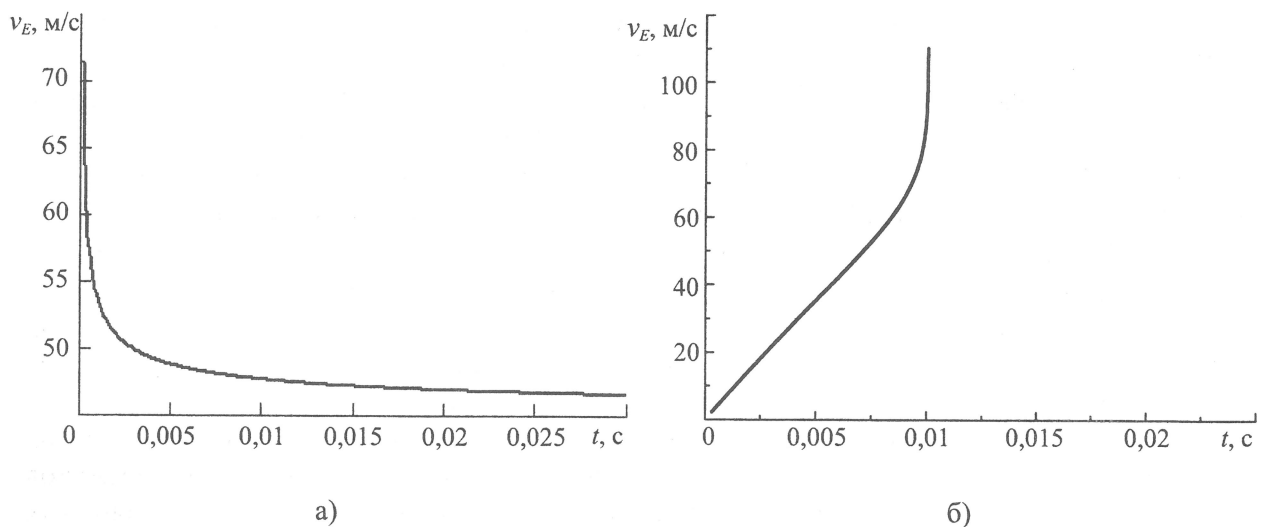
Для определения степени влияния жесткости лепестков резинового распылителя на процесс распыления жидкости разработана математическая модель деформации элементов распылителя с учетом возникновения значительных углов прогиба. Модуль Юнга резиновых смесей, используемый в математической модели деформации в качестве исходных данных, определялся экспериментально посредством метода, учитывающего взаимосвязь относительной линейной деформации, геометрических параметров испытуемого образца и

приложенной нагрузки при растяжении. Опытные образцы изготавливались из резиновых смесей той же группы, что и распылители для УИП-1: марки 7-4161, 7-НО-68, 7-В-14. Определяющим фактором при выборе марок являлась твердость по Шору А [4]. По результатам испытаний модуль Юнга составил: смесь 7-4161 – 2,29 МПа, смесь 7-НО-68 – 3,29 МПа; смесь 7-В-14 – 5,14 МПа. Экспериментально определенные значения модуля Юнга резиновых смесей позволяют расчетным методом определить форму и размер отверстия истечения в любой момент времени при известной скорости истечения. Сопоставление расчетных данных с результатами обработки видеозображения процесса выстрела из ствола подтверждает факт истечения основной части жидкости при полностью отогнутых лепестках распылителя. Таким образом, можно сделать вывод о том, что характеристики истечения и параметры струи преимущественно зависят от давления в воздушной камере ствола, соотношения длины воздушной и водяной камеры, диаметра отверстия истечения и практически не зависят от марки III группы резиновой смеси распылителя.



— — расчетные значения; + — результаты измерений

Рисунок 3 – Результаты измерения времени истечения жидкости  $t$  из СП-И УИП-1



а) – существовавшая ранее математическая модель [2]; б) – разработанная математическая модель  
 Рисунок 4 – Зависимость скорости истечения жидкости  $v_E$  из СП-И УИП-1 ( $d_n = 62,5$  мм) от времени  $t$



Разработанная математическая модель позволяет описать процессы, происходящие при истечении жидкости из стволов УИП, расширить диапазон применения установок импульсного пожаротушения путем модернизации конструкции ствола СИ-И УИП-1 за счет создания возможности дискретного регулирования давления в воздушной камере ствола и изменения диаметра отверстия истечения, а также уменьшить динамическое воздействие на спасателя и очаг пожара. При известных параметрах процесса истечения обеспечивается возможность проведения дальнейших исследований по повышению эффективности тушения УИП пожаров различных классов с различной геометрией очага, с применением воды и составов на ее основе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Grosshandler, W.L.* Evaluation of alternative in-flight fire suppressants for full-scale testing in simulated aircraft engine nacelles and dry bays (NIST SP 861) / W.L. Grosshandler, R.G. Gann, W.M. Pitts. – Springfield, VA: National institute of standards and technology, 1994. – 859 p.
2. Разработать теорию, устройство и технологию импульсной подачи воды в зону горения: отчет о НИР (заключ.) / РНПЦ ПБ ГУВПС МВД Респ. Беларусь; рук. темы Н.А. Тычина. – Минск, 1997. – 316 с. – № ГР 1997760.
3. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004–91. – Введ. 01.07.92. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 88 с.
4. Резина. Метод определения твердости по Шору А: ГОСТ 263–75. – Введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 7 с.