
ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Ю.В. Мисевич;

К.Ю. Шилин, доктор технических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрена модель движения жидкости по сухотрубу системы пожаротушения с учетом перепада высот и сопротивления вытесняемого газа (воздуха). С использованием численных методов получены количественные оценки времени достижения фронтом жидкости конца сухотруба.

Ключевые слова: противопожарное водоснабжение, гидравлическая схема, гидравлическое сопротивление, гидравлическая инерционность

ESTIMATION OF HYDRAULIC SPEED OF FIRE-WATER SUPPLY SYSTEMS

Y.V. Misevich; K.Y. Shilin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In the report the model of movement of a liquid on dry pipe sprinkler system fire-fighting taking into account difference of heights and resistance of superseded gas (air) is considered. With use of numerical methods quantitative estimations of time of achievement by front of a liquid of the end of dry pipe sprinkler system are received.

Key words: fire water supply systems, hydraulic plan, hydraulic resistance and hydraulic persistence

Одним из важнейших показателей систем пожаротушения является их быстродействие. Заметной составляющей времени от поступления сигнала на включение системы пожаротушения до подачи жидкости к оросителям или в пожарный рукав к стволу является время достижения фронтом жидкости крайней части сухотруба.

В статье [1] была предпринята попытка оценки гидравлического быстродействия типовой схемы системы противопожарного водоснабжения (рис. 1). При этом с использованием соотношений Дарси-Вейсбаха [2] была получена аналитическая зависимость времени прохождения фронта жидкости от задвижки до конца сухотруба. При получении аналитических соотношений учитывались только перепад высот, линейные и местные гидравлические сопротивления и напорно-расходная характеристика насоса, а сопротивление вытесняемого воздуха (газа) не учитывалось. Однако при малом выходном отверстии, точнее, в большом отношении диаметра сухотруба d_T к диаметру выходного отверстия d_k возможно заметное повышение давления вытесняемого воздуха в сухотрубе, препятствующее быстрому движению фронта жидкости. Этот эффект представляется целесообразным исследовать, внося соответствующие уточнения в модель движения жидкости.

Для гидравлической схемы на рис. 1 возможны три расчетных этапа:

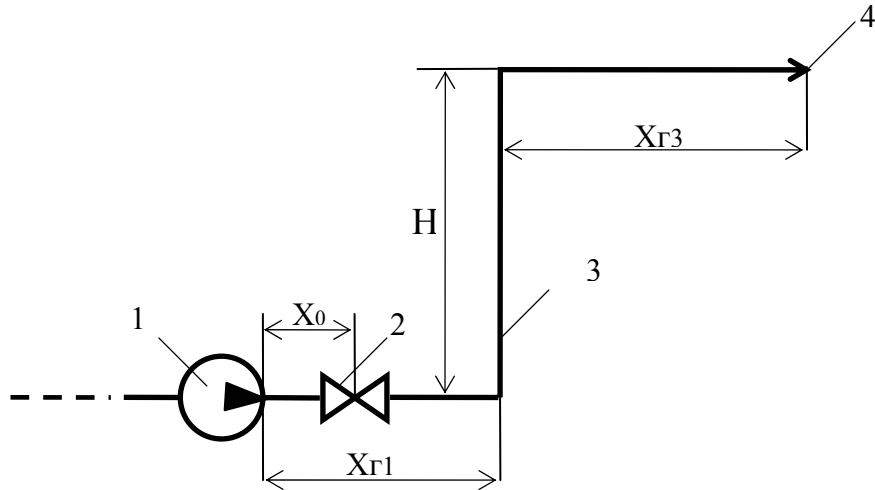


Рис. 1. Расчетная схема для оценки гидравлического быстродействия:

1 – насос; 2 – задвижка; 3 – трубопровод;
4 – выходное отверстие.

- 1) движение жидкости после открытия задвижки по нижнему горизонтальному участку;
- 2) движение жидкости вверх;
- 3) движение жидкости по верхнему горизонтальному участку.

В общем случае будет справедлива следующая система дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = v; \\ \rho x \cdot \frac{dv}{dt} = p_n - p_g - p_2 - p_e; \\ \frac{dm}{dt} = -\mu \cdot S_k \cdot \frac{\sqrt{RT_0} \cdot f}{S_T \cdot (x - x_0)} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (1) \\ (2) \\ (3) \end{array}$$

где x , v – текущие координата и скорость фронта жидкости; t – время; x_0 – координата задвижки; p_g – гравитационные потери давления; ρ – плотность жидкости (для воды 1000 кг/м^3); m , R , T_0 , p_e – масса, газовая постоянная, начальная температура и давление воздуха в сухотрубе; p_n – давление жидкости на выходе из насоса; p_2 – гидравлические потери давления; μ , S_k – коэффициент расхода и площадь выходного отверстия; S_T – площадь сечения сухотруба; f – параметр, зависящий от характера истечения воздуха (докритического или закритического).

Начальные условия: $x(t=0) = x_0$; $v(t=0) = 0$; $m(t=0) = p_a \cdot V_0 / RT_0$,

где p_a – атмосферное давление; V_0 – начальный объем воздуха в сухотрубе ($V_0 = S_T(L - x_0)$), L – общая длина сухотруба).

Полагая, что напорно-расходная характеристика насоса имеет параболический вид [2], для давления на его выходе можно записать:

$$p_n = p_{но} - A_n S_T^2 v^2, \quad (4)$$

где $p_{но}$, A_n – параметры насоса (например, для насоса типа CR-45 $p_{но} = 0,85 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $A_n \approx 10^9 \text{ кг/м}^7$).

Полагая, что отверстие и трубопровод круглого сечения диаметрами d_k и d_T , соответственно, величины S_k и S_T находят из выражений:

$$[S_k, S_T] = 0,25\pi [d, d_T]^2, \quad (5)$$

Гидравлические потери давления p_z , согласно закону Дарси- Вейсбаха, могут быть найдены из выражения:

$$p_z = \left(\xi_m + \lambda \frac{x}{d_T} \right) \rho \frac{v^2}{2}, \quad (6)$$

где ξ_m – суммарный коэффициент потерь на местных сопротивлениях (для 1-го участка $\xi_m = \xi_{задв}$; 2-го участка $\xi_m = \xi_{задв} + \xi_{пов}$; 3-го участка $\xi_m = \xi_{задв} + 2\xi_{пов}$; $\xi_{задв}$ – коэффициент потерь на задвижке; $\xi_{пов}$ – коэффициент потерь на повороте сухотруба – см. [3]); λ – линейный коэффициент сопротивления сухотруба, который, согласно [2], может быть найден по формуле Альтшуля:

$$\lambda \approx 0,11 \left(\frac{K_s}{d_T} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (7)$$

где K_s – эквивалентная шероховатость, мм (для новых стальных труб $K_s \approx 0,5 \text{ мм}$); Re – критерий Рейнольдса.

Гравитационные потери давления для схемы на рис.1 могут быть найдены из выражения:

$$p_g = \begin{cases} 0 & \text{– для 1-го этапа,} \\ \rho g(x - x_{Г1}) & \text{– для 2-го этапа,} \\ \rho gH & \text{– для 3-го этапа.} \end{cases} \quad (8)$$

Давление воздуха (газа) в сухотрубе при заполнении его жидкостью может быть найдено из выражения, полагая, что его сжатие адиабатическое:

$$p_s = p_a \left[\frac{mRT_0}{p_a S_T (L - x)} \right]^k, \quad (9)$$

где p_a – атмосферное (внешнее) давление; k – показатель адиабаты (для воздуха $k = 1,4$).

Величина f в выражении (3) учитывает характер истечения воздуха. При докритическом истечении, когда

$$\frac{p_e}{p_a} < \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (10)$$

величина f рассчитывается по выражению:

$$f = \left(\frac{p_a}{p_e} \right)^{\frac{3-k}{2k}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_e} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}, \quad (11)$$

При закритическом истечении, когда

$$\frac{p_e}{p_a} > \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (12)$$

(для воздуха критическое соотношение давлений $p_e \approx 1,9 Pa$) величина f рассчитывается по выражению:

$$f = \left(\frac{p_a}{p_e} \right)^{\frac{k-1}{2k}} \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}. \quad (13)$$

На практике для конкретной гидравлической схемы (рис. 1) при ее геометрических характеристиках (например, согласно [1]: $x_{Г1} = 5 м$, $H = 10 м$, $x_{Г3} = 15 м$, $d_T = 0,05 м$) и параметрах насоса (например, CR-45) представляется интерес оценить влияние шероховатости и соотношения диаметров d_k/d_T на время t_c прохождения жидкости от задвижки до конца сухотруба, то есть гидравлическую инерционность схемы на рис. 1. Решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений (1)–(3) с учетом выражений (4)–(13) не представляется возможным получить аналитическими методами, в связи с чем была использована компьютерная программа Maple.

Пакет аналитических вычислений Maple является мощным инструментом решения математических проблем и обеспечивает решение широкого спектра инженерных, математических и научных задач. Более двух тысяч эффективно реализованных команд позволяют решать задачи алгебры, математического анализа, дифференциальных уравнений с помощью усовершенствованных алгоритмов для решения классов нелинейных стандартных дифференциальных уравнений 1 и 2 порядка и линейных дифференциальных уравнений 3 порядка.

С использованием этой программы стало возможным оценить характер скорости движения жидкости по сухотрубу (рис. 2). Также было оценено влияние шероховатости K_s и диаметра d_k на гидравлическую инерционность схемы (рис. 1) – см. рис. 3. В частности, показано, что шероховатость в пределах до 2 мм незначительно (на $\approx 20\%$) увеличивает гидравлическую инерционность, а при диаметрах выходного отверстия $d_k \geq 10 мм$ сопротивление воздуха в трубопроводе может не учитываться.

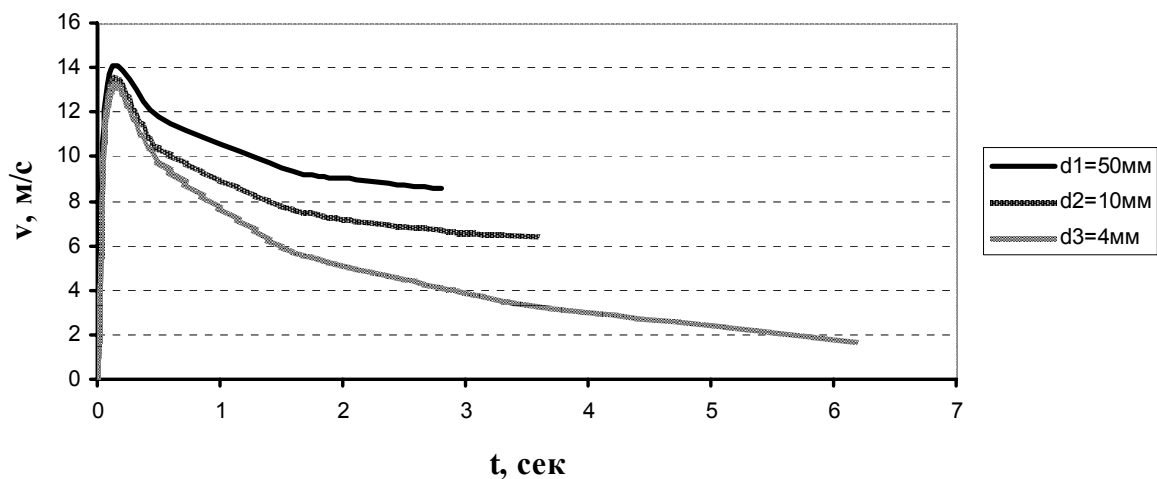


Рис. 2. Динамика скорости движения жидкости по сухотрубу при различных диаметрах выходного отверстия d_k .

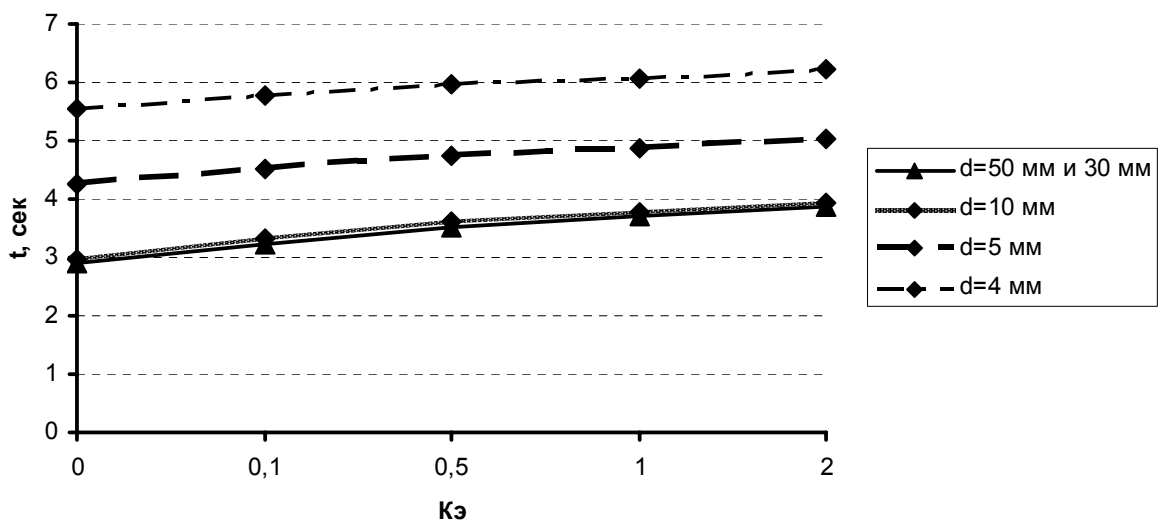


Рис. 3. Влияние шероховатости сухотруба и диаметра выходного отверстия d_k на гидравлическую инерционность схемы (рис. 1)

Таким образом, построена уточненная модель движения жидкости по сухотрубу, учитывающая линейное и местные сопротивления, перепад высот и сопротивление вытесненного воздуха. Получены количественные оценки влияния шероховатости стенок сухотруба и величины выходного отверстия на гидравлическую инерционность схемы.

Литература

1. Таранцев А.А., Мисевич Ю.В. Оценка быстродействия дренчерных автоматических установок пожаротушения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2009. № 1–2 (9–10). С. 89–94.
2. Цыбин Л.А., Шанаев И.Ф. Гидравлика и насосы. М.: Высш. шк., 1976.
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992.