

ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ДРЕНЧЕРНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ

А. А. Таранцев, доктор технических наук, профессор;

Ю. В. Мисевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Приведена математическая модель гидравлической схемы дренчерных автоматических установок пожаротушения (ДАУПТ), позволяющая оценивать их быстродействие - от начала подачи огнетушащих веществ (ОТВ) в сухотруб до выхода ОТВ из оросителя. В качестве примера даны количественные оценки времени быстродействия для конкретной схемы ДАУПТ.

Ключевые слова: дренчерная автоматическая установка пожаротушения, гидравлическая схема, огнетушащее вещество

DISCUSSING OF THE SPEED OF WORKING OF BLACK DELUGE AUTOMATIC FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS

A. A. Tarantsev; J. V. Misevich. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

There is the mathematic model of hydraulic scheme of black deluge automatic fire extinguishing systems (DAFS), which let us discuss its speed of working – since the beginning of fire extinguishment. In to the way and for getting out. As example it is given quantitive discussing of time of the speed of working for one scheme DAFS.

Key words: deluge automatic fire extinguishing system, hydraulic scheme, extinguishment

Одними из широко применяемых на практике являются дренчерные автоматические установки пожаротушения (ДАУПТ) [1]. Они содержат насосную установку (НУ), сухотруб с запорной арматурой, трубопроводы с оросителями и систему запуска. Гидравлическая схема ДАУПТ показана на рис.1.

Быстродействие ДАУПТ определяется промежутком времени между срабатыванием извещателя и подачей огнетушащего вещества (ОТВ) из оросителей – $t_{ДАУПТ}$. Применительно к схеме на рис.1 можно записать:

$$t_{ДАУПТ} = t_{И} + t_{НУ} + t_1 + t_2 + t_3 + t_0,$$

где $t_{И}$ – быстродействие извещателя; $t_{НУ}$ – время запуска НУ; t_1 – время движения ОТВ по нижнему горизонтальному участку сухотруба; t_2 – время движения ОТВ по вертикальному участку сухотруба; t_3 – время прохождения ОТВ по верхнему горизонтальному участку сухотруба; t_0 – промежуток времени между входом ОТВ в трубопроводы с оросителями до выдачи ОТВ из оросителей с требуемой интенсивностью.

В данной работе представляется интересным оценить величины t_1, t_2, t_3 , поскольку промежутки времени $t_{И}$ и $t_{НУ}$ достаточно хорошо исследованы [2, 3], а величина t_0 сравнительно невелика.

Для оценки промежутков времени t_1, t_2, t_3 в дальнейшем будем полагать, что движение жидкости по сухотрубу подчинено квадратичному закону Дарси-Вейсбаха [4], а напорно-расходная характеристика НУ имеет вид:

$$p = p_H - K_H Q^2,$$

где p, Q – давление и расход ОТВ на выходе из НУ; p_H, K_H – параметры НУ с учетом вида источника ОТВ (ёмкость, трубопровод системы противопожарного водоснабжения, напорный бак).

Оценка времени t_1 прохождения ОТВ по нижнему горизонтальному участку сухотруба может основываться на уравнении баланса давлений:

$$p_H - K_H Q^2 = \lambda_1 \frac{x}{d_1} \rho \frac{V_1^2}{2}, \quad (1)$$

где λ_1, d_1 – линейный коэффициент сопротивления [5] и диаметр горизонтального участка трубопровода; x – координата (см. рис. 2, а); ρ – плотность ОТВ; V_1 – текущая скорость движения ОТВ по нижнему горизонтальному участку.

С учетом того, что скорость V_1 является первой производной по времени t от величины x и что $Q = \frac{\pi d_1^2}{4} V_1$, из (1) получаем:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\sqrt{p_H}}{\sqrt{0,5\lambda_1 \rho \frac{x}{d_1} + K_H \cdot 0,125\pi^2 d_1^4}}. \quad (2)$$

Интегрируя (2) получаем:

$$t_1 = a_1 [(b_1 L_1 + 1)^{1,5} - 1], \quad (3)$$

где $a_1 = \frac{\pi^3}{48} \cdot \frac{K_H^{1,5} d_1^7}{\lambda_1 \rho \sqrt{p_H}}; b_1 = \frac{8}{\pi^2} \frac{\lambda_1 \rho}{K_H d_1^5}.$

Подобным образом производится оценка времени t_2 прохождения ОТВ по вертикальному участку (рис. 2, б). Из баланса давлений получаем:

$$p_H - K_H Q^2 = \left(\lambda_1 \frac{L_1}{d_1} + \xi_{\text{пл}} \right) \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho y \left(g + \lambda_2 \frac{V_2^2}{2d_2} \right), \quad (4)$$

где $\xi_{\text{пл}}$ – коэффициент местного сопротивления поворота трубопровода из горизонтального участка в вертикальный [5]; λ_2, d_2 – линейный коэффициент сопротивления [5] и диаметр вертикального участка; y, V_2 – текущая координата подъема ОТВ и его скорость.

Учитывая, что $V_2 = dy/dt, Q = 0,25\pi d_2^2 V_2; V_1 = (d_2/d_1)^2 V_2$, из (4) получаем:

$$t_2 = a_2 \left[1 - b_2 + \left(c_1 + \frac{1}{c_1} \right) (\arctg c_1 f_2 - \arctg c_1) \right], \quad (5)$$

где

$$a_2 = \sqrt{\frac{g_2 p_H}{2\rho}} \cdot \frac{1}{g}; g_2 = 0,125\pi^2 d_2^4 K_H + \left(\lambda_1 \frac{L_1}{d_1} + \xi_{II1} \right) (d_2 / d_1)^4;$$

$$b_2 = \sqrt{\left(1 - \frac{\rho g H}{p_H}\right) \left(1 + \frac{\lambda_2 H}{g_2 d_2}\right)}; c_1 = \sqrt{\frac{x_2 p_H}{\rho g d_2 g_2}}; f_2 = \sqrt{\left(1 - \frac{\rho g h}{p_H}\right) \left(1 + \frac{\lambda_2 H}{g_2 d_2}\right)}.$$

Величина t_3 также может быть найдена из баланса давлений:

$$p_H - K_H Q^2 = \left(\lambda_1 \frac{L_1}{d_1} + \xi_{II1} \right) \frac{\rho V_1^2}{2} + \left(\lambda_2 \frac{H}{d_2} + \xi_{II2} \right) \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g H + \lambda_3 \frac{z}{d_3} \frac{\rho V_3^2}{2}, \quad (6)$$

где ξ_{II2} – коэффициент сопротивления поворота трубопровода из вертикального участка в верхний горизонтальный; λ_3, d_3 – коэффициент линейного сопротивления и диаметр трубопровода верхнего горизонтального участка; z, V_3 – координата фронта ОТВ и его скорость на верхнем горизонтальном участке (рис. 2, в).

Учитывая, что $z = dV_3 / dt, Q = 0,25\pi d_3^2 V_3; V_1 = (d_3 / d_1)^2 V_3; V_2 = (d_3 / d_2)^2 V_3$, из (6) получаем:

$$t_3 = a_3 [(b_3 L_3 + 1)^{1,5} - 1], \quad (7)$$

где $a_3 = \frac{4}{3} \left[\frac{c_3 \rho}{2(p_H - \rho g H)} \right]^{1,5} \cdot \frac{d_3 (p_H - \rho g H)}{\rho \lambda_3}; b_3 = \frac{\lambda_3}{c_3 d_3};$

$$c_3 = \left(\lambda_1 \frac{L_1}{d_1} + \xi_{II1} \right) (d_3 / d_1)^4 + \left(\lambda_2 \frac{H}{d_2} + \xi_{II2} \right) (d_3 / d_2)^4 + 0,25\pi^2 d_3^4 K_H / \rho.$$

С учетом выражений (3), (5) и (7) становится возможным оценить общее время от момента подачи ОТВ в сухотруб ДАУПТ до входа ОТВ в трубопровод с оросителями и в итоге оценить быстродействие ДАУПТ. Общий расход ОТВ из оросителей ДАУПТ можно определить из выражения:

$$Q = \sqrt{\frac{p_H - \rho g \Delta h}{K_H K_{\text{э}} + \frac{8}{\pi^2} \rho \sum_{i=1}^n \left(\xi_i + \lambda_i \frac{L_i}{d_i} \right) \frac{1}{d_i^4}}};$$

где Δh – перепад высот между выходом из НУ и трубопроводами с оросителями; $K_{\text{э}}$ – эквивалентное сопротивление трубопроводов с оросителями (может быть определено по [6]); n – число участков сухотруба (в данном случае $n=3$); ξ_i, λ_i – коэффициенты местного и линейного сопротивления на i -м участке; L_i, d_i – длина и диаметр i -го участка

(в данном случае $L_2 = H$).

Рассмотрим изложенный подход на примере. Пусть сухотруб ДАУПТ подключен к

насосу типа CR-45, у которого $p_H = 0,75 \cdot 10^6$ Па, $K_H \approx 10^9$ кг/м⁷. Пусть диаметр сухотруба $d_1 = d_2 = d_3 = 0,05$ м; параметры трубопроводов: $L_1 = 5$ м; $L_2 = H = 10$ м; $L_3 = 15$ м; $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0,042$; $\xi_{II1} = \xi_{II2} = 1,5$.

Для определения времени движения жидкости по 1-му (горизонтальному) участку, воспользуемся выражением (3), для чего предварительно вычислим:

$$a_1 = \frac{\pi^3}{48} \cdot \frac{(10^9)^{1,5} (0,05)^7}{0,042 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{75 \cdot 10^4}} \approx 0,43875;$$

$$b_1 = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{0,042 \cdot 10^3}{10^9 \cdot (0,05)^5} \approx 0,1089.$$

Тогда из (3) получаем:

$$t_1 \approx 0,43875[(0,1089 \cdot 5 + 1)^{1,5} - 1] \approx 0,4034 \text{ с.}$$

Для определения времени движения жидкости по 2-му (вертикальному) участку воспользуемся выражением (5), для чего предварительно вычислим:

$$g_2 = 0,125 \cdot \pi^2 (0,05)^4 \cdot 10^9 + \left(0,042 \cdot \frac{5}{0,05} + 1,5 \right) \cdot 1 \approx 7716,328;$$

$$a_2 = \sqrt{\frac{75 \cdot 10^4 \cdot 7716,328}{2 \cdot 1000}} \cdot \frac{1}{9 \cdot 81} \approx 173,4;$$

$$b_2 = \sqrt{\left(1 - \frac{1000 \cdot 10 \cdot 9,81}{75 \cdot 10^4} \right) \left(1 + \frac{0,042 \cdot 10}{7716,328 \cdot 0,05} \right)} \approx 0,9328;$$

$$c_1 = \sqrt{\frac{0,042 \cdot 75 \cdot 10^4}{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,05 \cdot 7716,328}} \approx 0,0912; \frac{1}{c_1} \approx 10,9615;$$

$$f_2 = \sqrt{\left(1 - \frac{1000 \cdot 10 \cdot 9,81}{75 \cdot 10^4} \right) / \left(1 + \frac{0,042 \cdot 10}{7716,328 \cdot 0,05} \right)} \approx 0,9318.$$

Тогда из (5) получаем:

$$t_2 = 173,4[1 - 0,9328 + (0,0912 + 10,9615)(\arctg(0,0912 \cdot 0,9318) - \arctg 0,0912)] \approx 0,7866 \text{ с.}$$

Для определения времени движения жидкости по 3-му (горизонтальному) участку сухотруба воспользуемся выражением (7), для чего сначала вычислим:

$$c_3 = 0,042 \cdot \frac{5}{0,05} + 1,5 + 0,042 \cdot \frac{10}{0,05} + 1,5 + \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{(0,05)^4 \cdot 10^9}{10^3} \approx 31,02;$$

$$b_3 = \frac{0,042}{31,02 \cdot 0,05} \approx 0,02708;$$

$$a_3 = \frac{4}{3} \left[\frac{31,02 \cdot 1000}{2(75 \cdot 10^4 - 1000 \cdot 9,81 \cdot 10)} \right]^{1,5} \frac{0,05(75 \cdot 10^4 - 1000 \cdot 9,81 \cdot 10)}{1000 \cdot 0,042} \approx 0,9607.$$

Тогда из (7) получаем:

$$t_3 = 0,9607[(0,02708 \cdot 15 + 1)^{1,5} - 1] \approx 0,6413 \text{ с.}$$

Таким образом, общее время движения жидкости по сухотрубку ДАУПТ с момента подачи в него жидкости составит:

$$t_{\text{общ}} = 0,4034 + 0,7866 + 0,6413 = 1,8813 \text{ с.}$$

Конечно, это время представляется несколько заниженным, в дальнейших исследованиях целесообразно учесть инерционность жидкости, поскольку будет иметь место процесс её разгона, а также вытеснение воздуха из сухотруба.

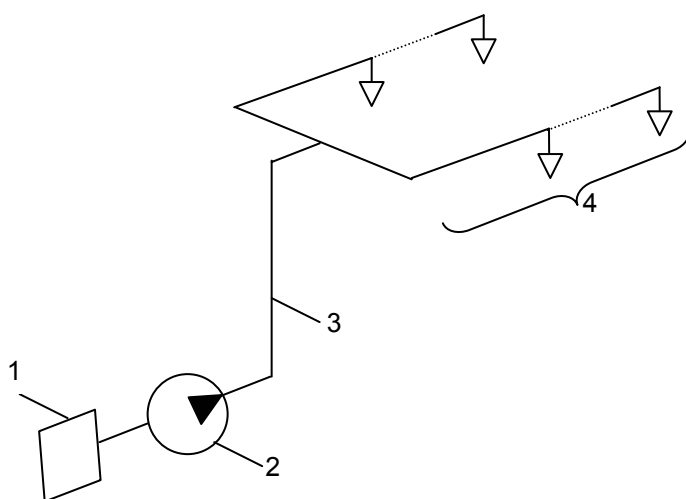


Рис. 1. Гидравлическая схема ДАУПТ:

1 – источник ОТВ (водоём, трубопровод, напорный бак); 2 – НУ; 3 – сухотруб; 4 – трубопроводы с оросителями

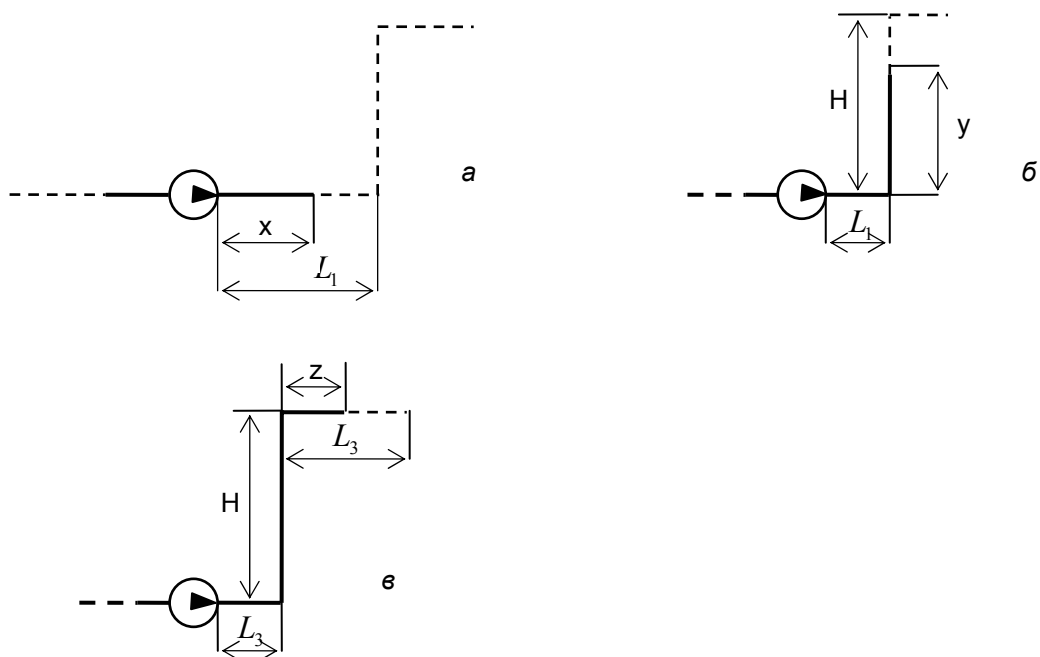


Рис. 2. Расчетные схемы для определения скорости прохождения ОТВ через сухотруб:
а – нижний горизонтальный участок; *б* – вертикальный участок;
в – верхний горизонтальный участок

Литература

1. НПБ 88-2001* Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования.
2. Членов А. Н., Фомин В. И., Буцынская Т. А., Демёхин Ф. В. Новые методы и технические средства обнаружения пожара: монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007.
3. Цыбин Л. А., Шанаев И. Ф. Гидравлика и насосы. – М.: Высшая школа, 1976.
4. Чугаев Р. Р. Гидравлика (техническая механика жидкости). – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1982.
5. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М. О. Штейнберга – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992.
6. Груданова О. В. Аналитический метод гидравлического расчёта автоматических установок водяного пожаротушения: дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: СПб ун-т ГПС МЧС России, 2006.