

---

---

# ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

---

---

## О ВЛИЯНИИ НЕГЕРМЕТИЧНОСТИ ГИДРОМАГИСТРАЛЕЙ НА ИХ ВОДООТДАЧУ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ

**Ю.В. Мисевич;**

**О.В. Петрова, кандидат технических наук;**

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

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Исследована водоотдача внутреннего противопожарного водопровода при негерметичности различных его участков – построены соответствующие математические модели в системе Matlab и проведен ряд численных экспериментов.

*Ключевые слова:* противопожарное водоснабжение, негерметичность, водоотдача, гидромагистраль

## INFLUENCE OF SUPPLY LINES LEAKAGE ON THEIR WATER RETURN AT FIRE EXTINGUISHING

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

In the report water return of an internal fire-prevention water pipe is investigated at leakage its various sites – corresponding mathematical models in the Matlab system are constructed and also spent a number of numerical experiments.

*Key words:* fire-prevention water pipe, leakage, water return, hydraulic main line

Для успешного тушения пожаров во многих зданиях (жилых, общественных, административно-бытовых, промышленных, складских) согласно п. 86 гл. 19 «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» [1] оборудуется внутренний противопожарный водопровод. В жилых зданиях с числом этажей до 16 и длиной коридоров до 10 метров, в зданиях управлений, общежитий и общественных зданиях с числом этажей до 10 и объемом до 25 000 м<sup>3</sup> и в административно-бытовых зданиях промышленных предприятий объемом до 25 000 м<sup>3</sup> согласно табл. 1\* СНиП 2.04.01-85\* [2] допускается на тушение пожара от пожарных кранов подавать один ствол (одну струю) с расходом 2,5 л/с, что соответствует гидравлической схеме на рис.1.

Тем не менее, негерметичности гидромагистралей (свищи, неплотности прокладок и др.) могут отрицательно сказаться на расходе воды, подаваемой на тушение от пожарного крана. Поскольку в специальной литературе (например, [3]) данной проблеме уделено недостаточно внимания, представляется целесообразно промоделировать наличие утечек (рис. 2). Полагая справедливым закон Дарси-Вейсбаха [4], выведены и представлены в

таблице системы нелинейных алгебраических уравнений для оценки величины расхода воды  $Q$  из ствола пожарного крана.

Здесь использованы общепринятые обозначения:  $\xi_{зав} \approx 0,75$  – коэффициент местного сопротивления задвижки [5];  $\xi_{пов} \approx 1,1$  – коэффициент местного сопротивления поворота трубопровода;  $\lambda$  – коэффициент линейного сопротивления трубопровода, зависящий от шероховатости, оцениваемой эквивалентной величиной  $K_{\text{э}}$ ;  $\xi_{отв} \approx 2,7$  – коэффициент сопротивления отверстия (свища) в трубопроводе;  $\xi_{ств} \approx 265$  – приведенный коэффициент сопротивления пожарного рукава со стволом «Б»;  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$  – плотность воды;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;  $p_c$  – давление воды перед стволом;  $p_n$  – давление на входе в гидромагистраль (предполагается, что вода подается от крупной насосной станции, в связи с чем величина  $p_n$  практически не зависит от расходов  $\{Q\}$ ).

Для турбулентного режима при числе Рейнольдса  $Re > 10^4$  справедлива формула [4]:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{K_{\text{э}}}{d_T} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25},$$

где  $d_T$  – диаметр трубопровода.

Поскольку системы нелинейных алгебраических уравнений, приведенные в таблице, сложно решить аналитически относительно расхода воды  $Q$  из ствола, была использована система *Matlab*, где моделировалось движение воды по схемам на рис. 1 и 2. При этом задавались размеры трубопроводов, соответствующие ранее рассмотренному случаю [6]:  $d_T = 0,05 \text{ м}$ ,  $x_{Г1} = 5 \text{ м}$ ,  $H = 10 \text{ м}$ ,  $x_{Г3} = 15 \text{ м}$ ,  $p_n = 0,4 \text{ МПа}$  и варьировались величины площади отверстия  $F_{отв}$  и шероховатости  $K_{\text{э}}$ . В процессе моделирования оценивались расходы воды  $Q$  из ствола пожарного крана, а также давление перед стволом  $p_c$ .

Результаты моделирования в виде зависимостей  $Q$  от  $F_{отв}$  и  $K_{\text{э}}$  приведены на рис. 3–10. Их анализ показывает, что расход  $Q$  из ствола падает с ростом площади отверстия, увеличением их количества и возрастанием шероховатости (старением) трубопроводов. Как следует из рис. 10, имеет место квадратичный закон соотношения между расходом воды  $Q$  и давлением  $p_c$  перед стволом, что служит дополнительным подтверждением правильности расчетов.

На основании результатов моделирования (рис. 3–9) для схемы на рис. 2 построен обобщенный график «предельные величины отверстий (свищей) – шероховатость» (рис. 11), когда уже расход  $Q$  из ствола пожарного крана становится меньше нормативного значения  $Q_n = 2,5 \text{ л/с}$ .

Таким образом, создана методика моделирования влияния шероховатости трубопроводов системы внутреннего пожаротушения зданий на величину расхода воды из ствола пожарного крана при различных состояниях (шероховатости) внутренних стенок трубопроводов. Данная методика базируется на общепринятых гидравлических соотношениях и эффективном аппарате *Matlab* и позволяет оценивать влияние негерметичности для широкого класса вертикальных тупиковых сетей, к которому, в частности, относятся сети внутреннего противопожарного водопровода.

Таблица

№ п/п	Гидравлическая схема	Система уравнений	Критический режим ( $Q = 0$ )
1	Рис. 2, а	$p_n - A_1 Q_1^2 - A_{01} \cdot (Q_1 + Q)^2 = 0;$ $A_1 Q_1^2 - (A_{1C} + A_C) Q^2 - \rho g H = 0;$	$p_n < \left(1 + \frac{A_{01}}{A_1}\right) \rho g H$
2	Рис. 2, б	$p_n - A_2 Q_2^2 - \rho g H_2 - A_{02} \cdot (Q_2 + Q)^2 = 0;$ $A_2 Q_2^2 - (A_2 + A_{2C}) Q^2 - \rho g (H - H_2) = 0;$	$p_n < \left[ H + \frac{A_{02}}{A_2} (H - H_2) \right] \cdot \rho g$
3	Рис. 2, в	$p_n - A_3 Q_3^2 - A_{03} \cdot (Q_3 + Q)^2 - \rho g H = 0;$ $A_3 Q_3^2 - (A_3 + A_{3C}) Q^2 = 0;$	$p_n < \rho g H$
4	Рис. 2, г	$p_n - A_1 Q_1^2 - A_{01} \cdot (Q_1 + Q_2 + Q)^2 = 0;$ $A_1 Q_1^2 - A_2 Q_2^2 - \rho g H_2 - A_{12} \cdot (Q_2 + Q)^2 = 0;$ $A_2 Q_2^2 - (A_C + A_{2C}) Q^2 - \rho g (H - H_2) = 0;$	$p_n < A_1 Q_1^2 - A_{01} \cdot (Q_1 + Q_2)^2$
5	Рис. 2, д	$p_n - A_1 Q_1^2 - A_{01} \cdot (Q_1 + Q_3 + Q)^2 = 0;$ $A_1 Q_1^2 - A_3 Q_3^2 - \rho g H - A_{13} \cdot (Q_3 + Q)^2 = 0;$ $A_3 Q_3^2 - (A_C + A_{3C}) Q^2 = 0;$	$p_n < \left(1 + \frac{A_{01}}{A_1}\right) \cdot \rho g H$
6	Рис. 2, е	$p_n - A_2 Q_2^2 - \rho g H_2 - A_{02} \cdot (Q_2 + Q_3 + Q)^2 = 0;$ $A_2 Q_2^2 - A_3 Q_3^2 - \rho g \cdot (H - H_2) - A_{23} \cdot (Q_3 + Q)^2 = 0;$ $A_3 Q_3^2 - (A_C + A_{3C}) Q^2 = 0;$	$p_n < \left[ H + \frac{A_{02}}{A_2} (H - H_2) \right] \cdot \rho g$
7	Рис. 2, ж	$p_n - A_1 Q_1^2 - A_{01} \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q)^2 = 0;$ $A_1 Q_1^2 - A_2 Q_2^2 - \rho g H_2 - A_{12} \cdot (Q_2 + Q_3 + Q)^2 = 0;$ $A_2 Q_2^2 - A_3 Q_3^2 - \rho g (H - H_2) - A_{23} \cdot (Q_3 + Q)^2 = 0;$ $A_3 Q_3^2 - (A_C + A_{3C}) Q^2 = 0$	$p_n < \left[ H + z A_{12} + A_{01} \left( \sqrt{\frac{H + z A_{12}}{A_1}} + \sqrt{z} \right)^2 \right] \rho g; \quad z = \frac{H - H_2}{A_2}$

Примечание:  $A_i = \frac{\xi_{oms} \cdot \rho}{2 \cdot F_{oms}^2}$ ;  $A_C = \frac{\xi_{cm6} \cdot \rho}{2 \cdot F_T^2}$ ;  $F_T = 0,25 \pi d_T^2$ ;  $p_c = A_c Q^2$

$$A_{01} = \left( \xi_{задв} + \lambda \cdot \frac{X_{\Gamma 11}}{d_T} \right) \cdot \frac{\rho}{2 \cdot F_T^2};$$

$$A_{1C} = \left( 2 \cdot \xi_{нов} + \lambda \cdot \frac{X_{\Gamma 1} - X_{\Gamma 11} + H + X_{\Gamma 3}}{d_T} \right) \cdot \frac{\rho}{2 \cdot F_T^2};$$

$$A_{02} = \left( \xi_{задв} + \xi_{нов} + \lambda \cdot \frac{X_{\Gamma 1} + H_2}{d_T} \right) \cdot \frac{\rho}{2 \cdot F_T^2};$$

$$A_{2C} = \left( \xi_{нов} + \lambda \cdot \frac{H - H_2 + X_{\Gamma 3}}{d_T} \right) \cdot \frac{\rho}{2 \cdot F_T^2};$$

$$A_{03} = \left( \xi_{задв} + 2 \cdot \xi_{нов} + \lambda \cdot \frac{X_{\Gamma 1} + H + X_{\Gamma 33}}{d_T} \right) \cdot \frac{\rho}{2 \cdot F_T^2};$$

$$A_{3C} = \lambda \cdot \frac{X_{\Gamma 3} - X_{\Gamma 33}}{d_T} \cdot \frac{\rho}{2 \cdot F_T^2};$$

$$A_{12} = \left( \xi_{нов} + \lambda \cdot \frac{X_{\Gamma 1} - X_{\Gamma 11} + H_2}{d_T} \right) \cdot \frac{\rho}{2 \cdot F_T^2};$$

$$A_{13} = \left( 2 \cdot \xi_{нов} + \lambda \cdot \frac{X_{\Gamma 1} - X_{\Gamma 11} + H + X_{\Gamma 33}}{d_T} \right) \cdot \frac{\rho}{2 \cdot F_T^2};$$

$$A_{23} = \left( \xi_{нов} + \lambda \cdot \frac{H - H_2 + X_{\Gamma 33}}{d_T} \right) \cdot \frac{\rho}{2 \cdot F_T^2}$$

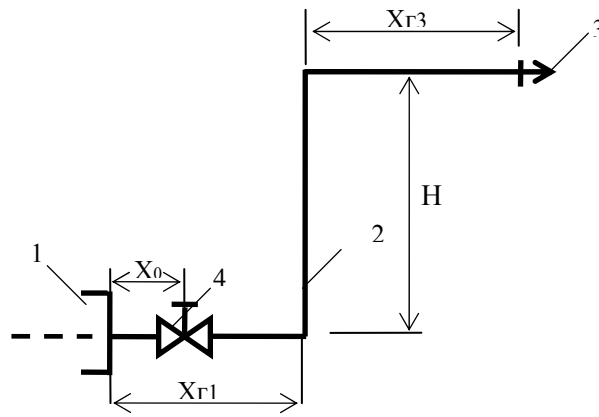


Рис.1. Типовая схема подачи воды на пожаротушение от пожарного крана:  
 1 – источник воды повышенного давления (наружная магистраль, насос);  
 2 – вертикальный стояк; 3 – ствол с рукавом; 4 – задвижка

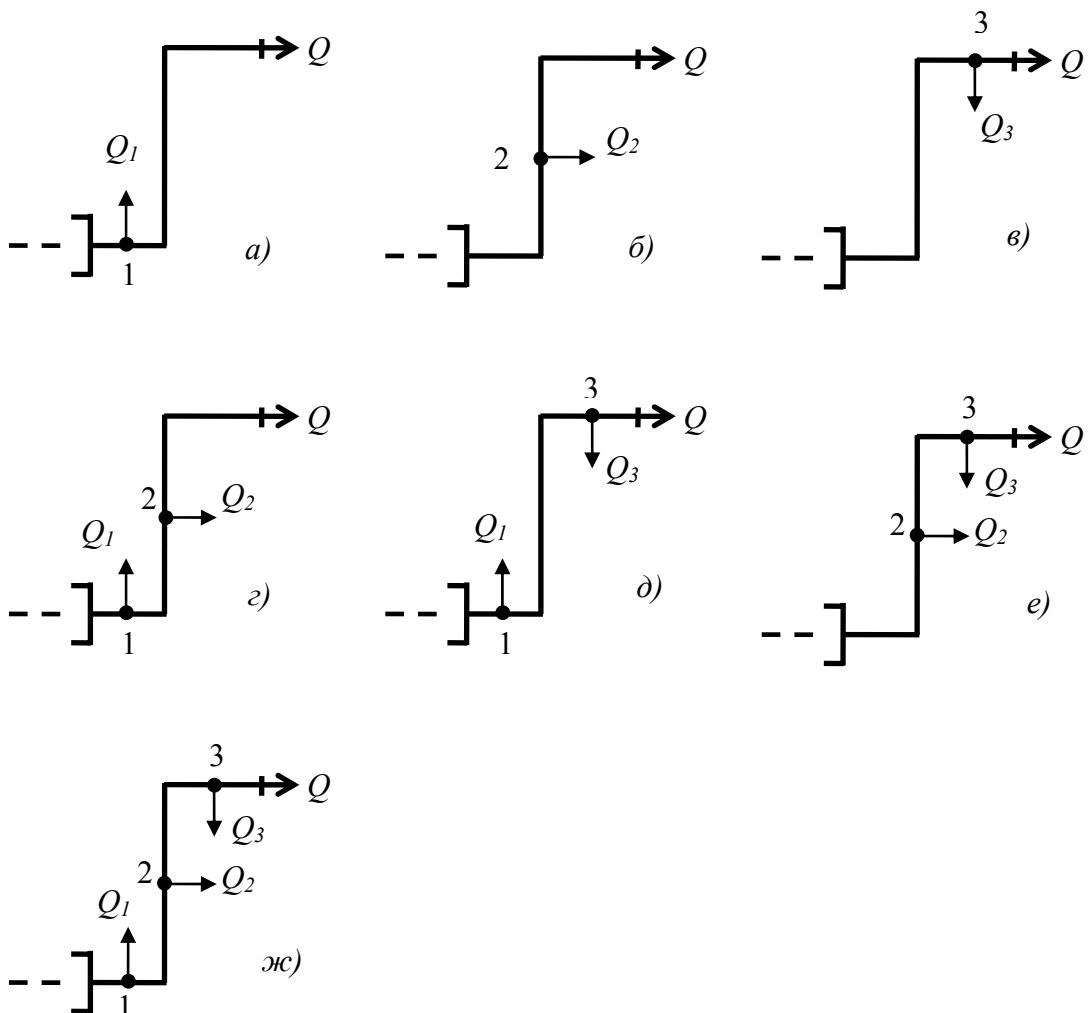


Рис. 2. Расчетные схемы при моделировании влияния негерметичности гидромагистрали (расходы утечек воды  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ) на расход  $Q$  из ствола пожарного крана

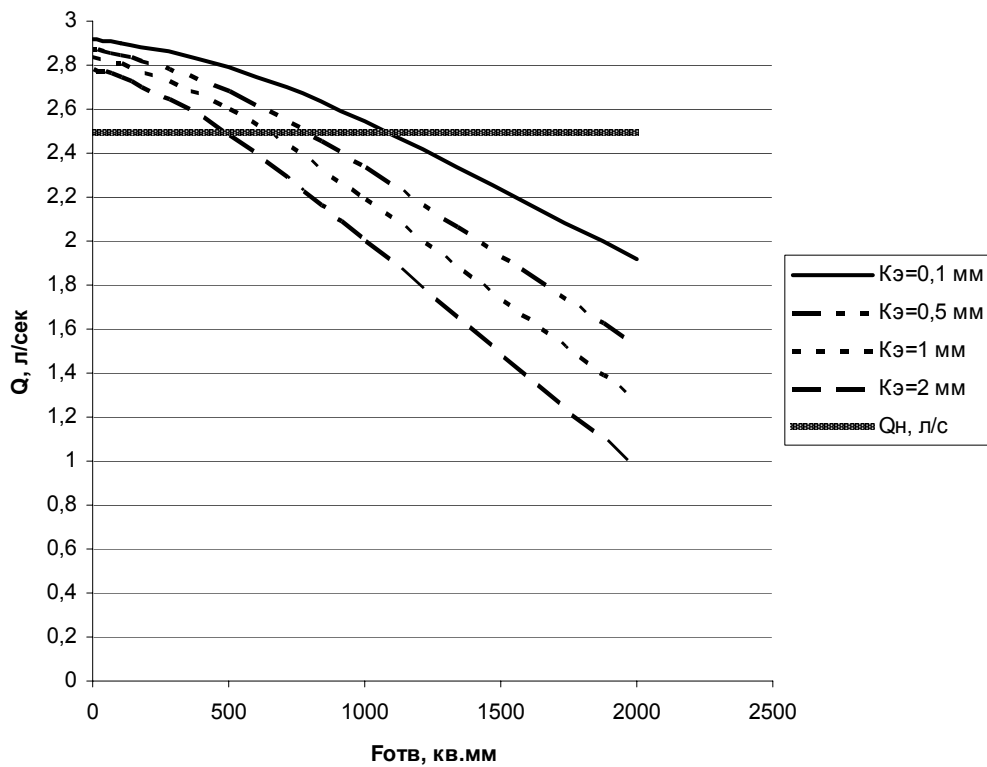


Рис. 3. Влияние площади отверстия  $F_{отв}$  на расход воды  $Q$  из ствола при различных шероховатостях (для схемы на рис. 2, а).

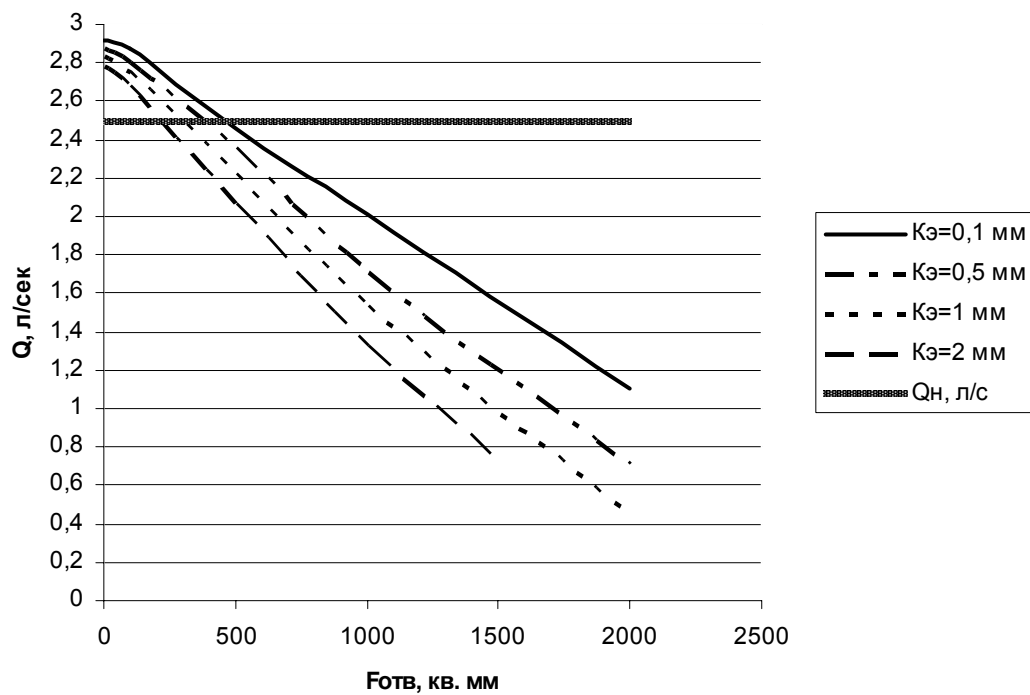


Рис. 4. Влияние площади отверстия  $F_{отв}$  на расход воды  $Q$  из ствола при различных шероховатостях (для схемы на рис. 2, б)

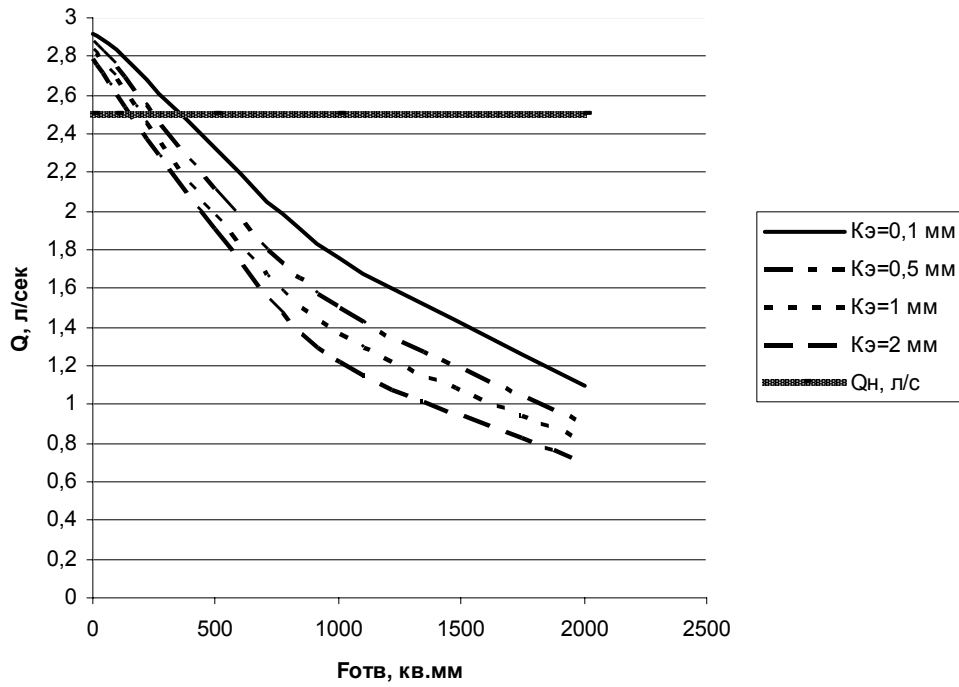


Рис. 5. Влияние площади отверстия  $F_{отв}$  на расход воды  $Q$  из ствола при различных шероховатостях (для схемы на рис. 2, в)

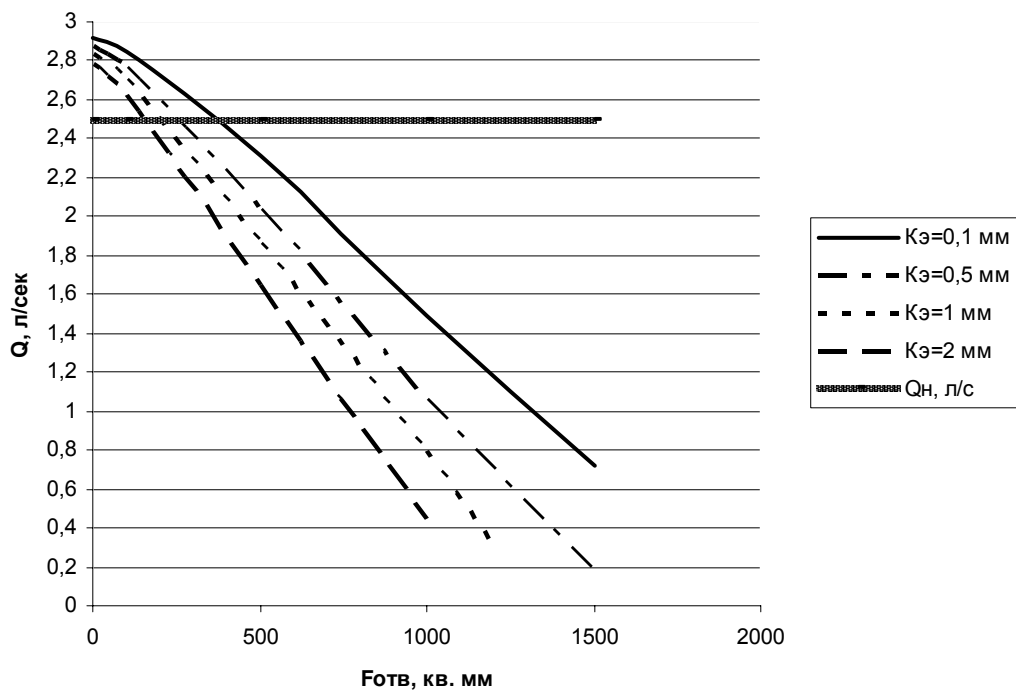


Рис. 6 Влияние площади отверстия  $F_{отв}$  на расход воды  $Q$  из ствола при различных шероховатостях (для схемы на рис. 2, г)

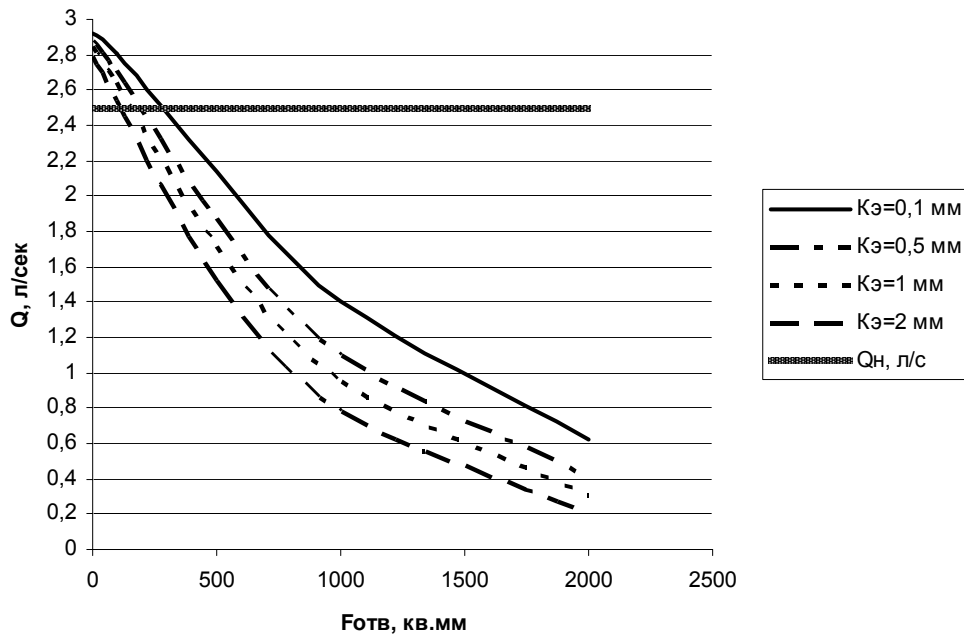


Рис. 7. Влияние площади отверстия  $F_{отв}$  на расход воды  $Q$  из ствола при различных шероховатостях (для схемы на рис. 2, *д*)

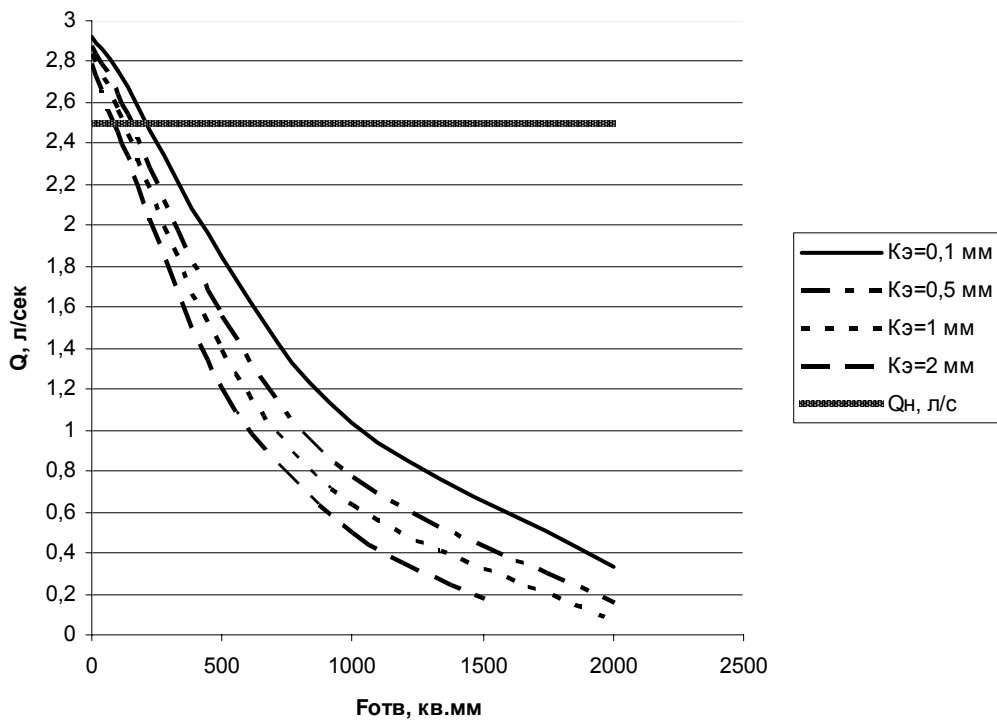


Рис. 8. Влияние площади отверстия  $F_{отв}$  на расход воды  $Q$  из ствола при различных шероховатостях (для схемы на рис. 2, *е*)

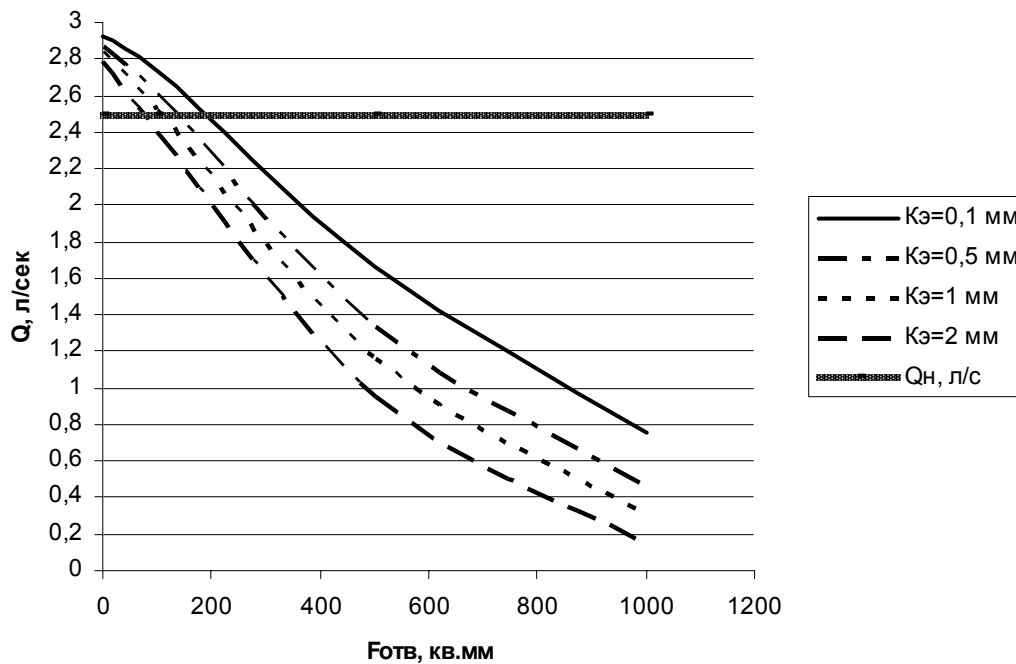


Рис. 9. Влияние площади отверстия  $F_{отв}$  на расход воды  $Q$  из ствола при различных шероховатостях (для схемы на рис. 2, ж )

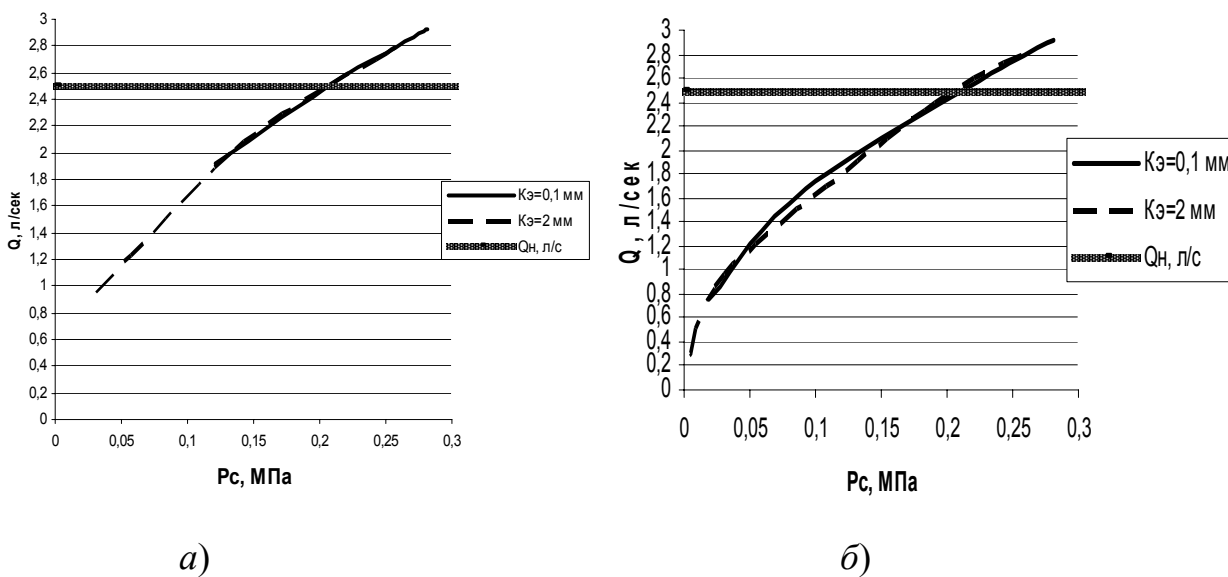


Рис. 10. Напорно-расходные характеристики стволов ( $P_c Q$ ) для крайних значений шероховатостей трубопроводов (для схем на рис.2; а – схема на рис. 2, а; б – схема на рис. 2, ж)



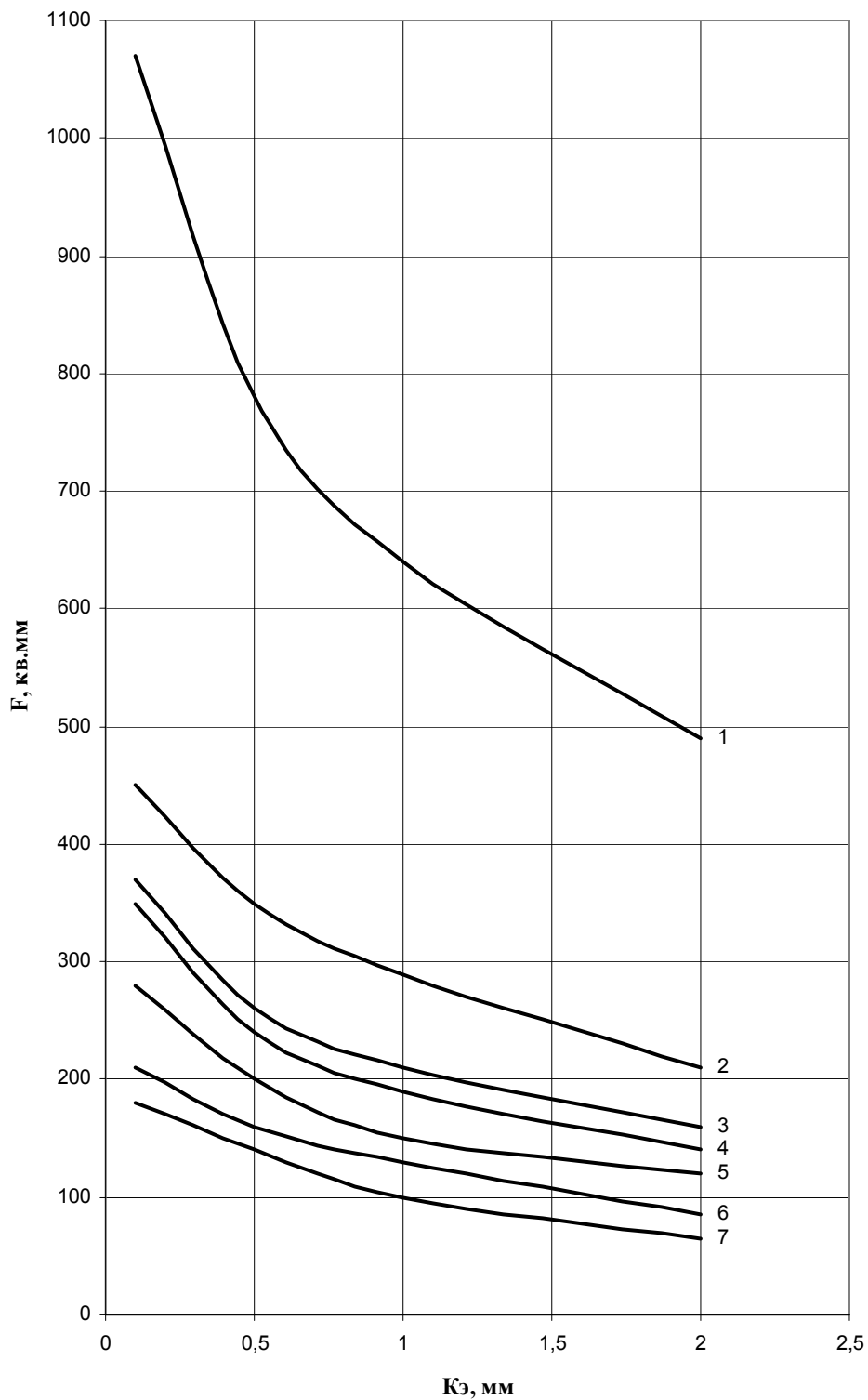


Рис. 11. Зависимость предельной величины отверстия (свища) от шероховатости трубопроводов для различных схем

### Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ // Рос. газ. 2008. 1 авг.
2. СНиП 2.04.01-85\* Внутренний противопожарный водопровод и канализация зданий.
3. Иванов Е.Н. Противопожарное водоснабжение. М.: Стройиздат, 1986.

4. Цыбин Л.А., Шанаев И.Ф. Гидравлика и насосы. М.: Высш. шк., 1976.

5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992.

6. Таранцев А.А., Мисевич Ю.В. Оценка быстродействия дренажных автоматических установок пожаротушения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2009. № 1–2 (9–10). С. 89–94.

7. Алексанин С.С. Анализ профессиональной нагрузки спасателей МЧС России, гигиеническая оценка тяжести и напряженности их труда // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2007. № 1. С. 59–63.

Примечание:

Авторы выражают благодарность доктору технических наук К.Ю. Шилину за научное консультирование при написании статьи.