

*С. Н. Бондаренко, к.т.н., доцент, доц. каф., НУГЗУ,
М. Н. Мурин, к.т.н., доцент, доц. каф., НУГЗУ,
В. В. Христин, к.т.н., доцент, зам. нач. каф., НУГЗУ*

МИНИМИЗАЦИЯ СТОИМОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

(представлено д.т.н. Андроновым В. А.)

Получены аналитические выражения для определения капитальных затрат на приобретение распределительной системы водяного пожаротушения и проведены исследования влияния давления, расхода огнетушащего вещества и диаметра трубопровода сети системы пожаротушения.

Ключевые слова: автоматическая система водяного пожаротушения, капитальные затраты, распределительная сеть, диаметр трубопровода.

Постановка проблемы. Для противопожарной защиты объектов с массовым пребыванием людей наиболее часто применяются автоматические системы водяного пожаротушения (АСВП). Вода, в защищаемое помещение, поступает по сети распределительных трубопроводов, которые могут иметь достаточно сложную топологию. Эффективность функционирования систем водяного пожаротушения обусловлена тем фактом, насколько характеристики распределительной сети близки к оптимальным значениям. К сожалению, при проектировании АСПВ отсутствует единый подход к формированию распределительных сетей и определения оптимальных параметров трубопроводов. Поэтому, применение аналитических выражений для определения параметров распределительных сетей систем водяного пожаротушения с учетом капитальных затрат, позволит решить проблему повышения надежности и эффективности средств и оборудования пожарной безопасности объектов.

Анализ последних исследований и публикаций. Проектированию систем противопожарной защиты посвящены работы [1, 2]. В них вопросы гидравлического расчета систем водяного пожаротушения рассмотрены без учета стоимости трубопроводов системы. В работе [3] получены математические модели, которые позволяют производить расчет параметров распределительной сети систем водяного пожаротушения в зависимости от количества оросителей, диаметра трубопровода с учетом ограничений на стоимость системы.

В этой связи актуальным является получение аналитических выражений, которые связывают параметры распределительной сети систем водяного пожаротушения с капитальными затратами на обустройство АСПВ.

Постановка задачи и её решение. Цель исследования повысить эффективность автоматических систем водяного пожаротушения закладывая в проект оптимальные параметры распределительной сети.

Для достижения поставленной цели необходимо получить аналитические выражения, которые связывают параметры системы водяного пожаротушения: расход огнетушащего вещества, диаметр трубопровода, давление в сети с капитальными затратами на материалы, из которых проектируется сеть.

В работе [3] получено выражение для определения давления в распределительной сети в зависимости от количества оросителей диаметра трубопровода и расхода огнетушащего вещества.

Перепишем полученное выражение относительно капитальных затрат C_K

$$C_K = \frac{(H \cdot K^2 - q^2) D_y^{4.87}}{K^2 \cdot k_2 \cdot (q \cdot n)^{1.85}} \cdot \pi \cdot \rho_{ст} \cdot Ц \cdot h \cdot (D_y + h), \quad (1)$$

где D_y – диаметр условного прохода участка распределительного трубопровода; q – расход огнетушащего вещества (ОТВ) через ороситель; K – коэффициент расхода оросителя; n – количество оросителей, размещенных на участке трубопровода; H – давление в сети трубопроводов, которое обеспечивает необходимую интенсивность подачи ОТВ; $\rho_{ст}$ – плотность стали марки Ст. 3 7850 кг/м³; $Ц$ – стоимость одного килограмма трубопровода 25 грн.; h – толщина стенки трубопровода; $k_2 = \frac{6.05 \cdot 10^5}{C^{1.85}}$; константа, зависящая от типа и состояния трубы (для стальных труб $C=120$).

При этом значения давления в распределительной сети может находиться в следующих пределах:

$$\left(\frac{q}{K}\right)^2 < H_B < H_{max}, \quad (2)$$

где $H_{max} = H_G - H_P$; H_G – граничное значение рабочего давления для стальных трубопроводов; H_P – падение давления в подводящем трубопроводе.

Диаметр трубопровода связан с толщиной стенки h в рамках существующего сортамента труб стальных электросварных и труб водопроводных [4, 5]. Так же значения диаметра должно отвечать ограничениям, которые обеспечивают выполнение условия неразрывности потока в трубопроводе [6]:

$$\sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi \cdot v}} \leq D_y \leq \sqrt{\frac{4 \cdot q \cdot n}{\pi \cdot v}}, \quad (3)$$

где v – скорость движения ОТВ по трубопроводу распределительной сети.

Расход ОТВ из одного оросителя зависит от класса пожарной опасности защищаемого помещения и для объектов с массовым пребыванием людей составляет не менее 60 л/мин.

Представим выражение (1) как функцию четырех переменных $C_K(q, n, D_u, H)$, тогда учетом ограничений (2)–(3) получим следующие зависимости величины капитальных затрат на приобретение трубопровода от расхода ОТВ (рис. 1, 2).

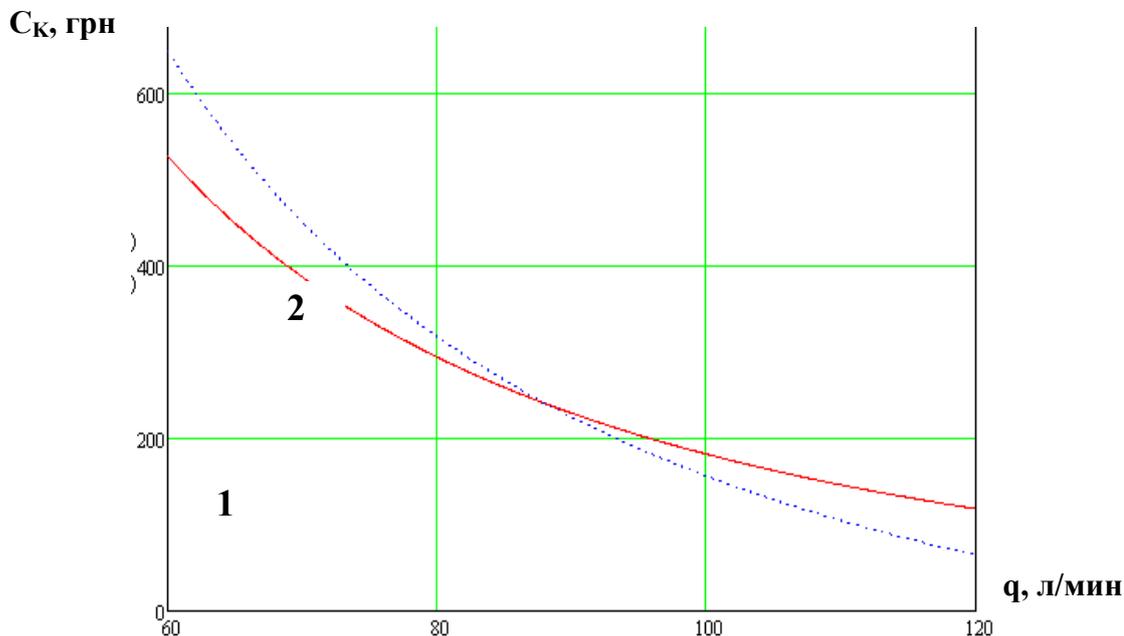


Рис. 1. Зависимость величины капитальных затрат от расхода ОТВ: 1 – при давлении 9,5 Бар, для 6 оросителей и диаметре условного прохода трубопровода 25 мм; 2 – при давлении 3,5 Бар, для 6 оросителей и диаметре условного прохода трубопровода 32 мм

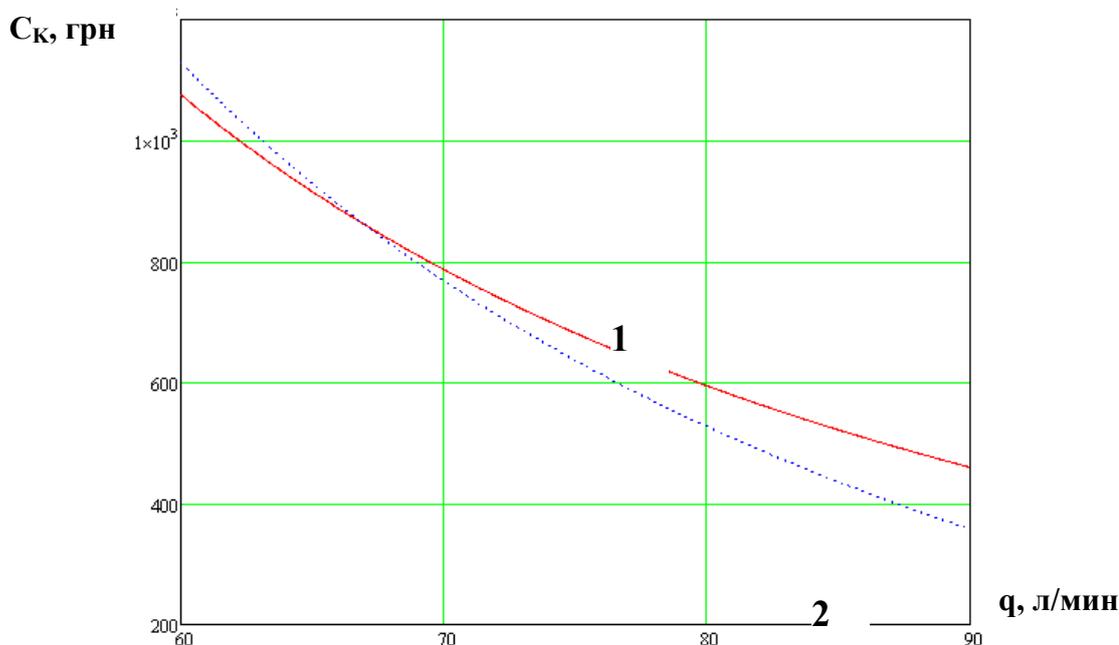


Рис. 2. Зависимость величины капитальных затрат от расхода ОТВ: 1 – при давлении 8 Бар, для 8 оросителей и диаметре условного прохода трубопровода 32 мм; 2 – при давлении 2,7 Бар, для 8 оросителей и диаметре условного прохода трубопровода 40 мм

Анализ зависимостей позволяет сделать вывод о существовании зоны значений расхода ОТВ, при которых увеличение на один шаг по сортаменту диаметра трубопровода ведет к уменьшению капитальных затрат.

Проведем исследование выражения (1) на экстремум. Для этого найдем первые производные по соответствующим переменным:

$$\frac{dC_K}{dq} = -Q_C \cdot \left(\frac{1,85 \cdot H \cdot K^2 - q^2}{q^{2,85}} + \frac{2}{q^{0,85}} \right), \quad (4)$$

где $Q_C = \frac{Dy^{4,87}}{K^2 \cdot k_2 \cdot n^{1,85}} \cdot \pi \cdot \rho_{CT} \cdot Ц \cdot h \cdot (Dy + h)$.

$$\frac{dC_K}{dn} = -\frac{1,85}{n^{2,85}} \cdot \frac{(H \cdot K^2 - q^2) Dy^{4,87}}{K^2 \cdot k_2 \cdot q^{1,85}} \cdot \pi \cdot \rho_{CT} \cdot Ц \cdot h \cdot (Dy + h); \quad (5)$$

$$\frac{dC_K}{dH} = \frac{Dy^{4,87}}{K^2 \cdot k_2 \cdot (q \cdot n)^{1,85}} \cdot \pi \cdot \rho_{CT} \cdot Ц \cdot h \cdot (Dy + h); \quad (6)$$

$$\frac{dC_K}{dDy} = D_C \cdot (5,87 Dy^{4,87} + 4,87 \cdot h \cdot Dy^{3,87}), \quad (7)$$

где $D_C = \frac{H \cdot K^2 - q^2}{K^2 \cdot k_2 \cdot (q \cdot n)^{1,85}} \cdot \pi \cdot \rho_{CT} \cdot Ц \cdot h$.

Приравняв нулю правые части выражений (4)–(7), получим систему нелинейных уравнений, решение которой в области действительных значений найти не удалось. Следовательно, стационарная точка отсутствует, поэтому поиск оптимального решения возможен с применением процедуры пошагового перебора.

Анализ результатов показал, что увеличение диаметра трубопровода ведет к росту капитальных затрат при фиксированном значении расхода ОТВ. При значениях расхода, которые превышают минимальный необходимый расход для объектов со средним уровнем пожарной опасности на 10÷50 %, экономически целесообразно применять трубопроводы диаметром на один шаг больше по существующему сортаменту.

Выводы. В работе получены математические модели, стоимости распределительной сети системы водяного пожаротушения в зависимости от расхода ОТВ и количества оросителей, диаметра условного прохода трубопровода с учетом ограничений на давление в системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравцов М. Н. Определение характеристик системы орошения, необходимой для тушения пожаров в промышленных, сельскохозяйственных и других объектах. Х.: 2015. С. 127.
2. Мисюкевич Н. С. Методика гидравлического расчета трубопроводной сети установок водяного и пенного пожаротушения // Технологии безопасности. 2011. № 4. С. 9–10.
3. Бондаренко С. Н., Мурин М. Н. Определение параметров распределительного трубопровода систем водяного пожаротушения с учетом его стоимости // Проблемы пожарной безопасности. 2019. № 46. С. 40–43. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/10127>
4. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент 1991. С. 7. URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=5632
5. Трубы стальные водогазопроводные. Технические условия 1975. С. 7. URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=5672
6. Антошкін О. А., Бондаренко С. М., Дерев'янку О. А. та інш. Сучасні системи автоматичного пожежогасіння. Х.: НУЦЗУ. 2018. С. 276. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/8497>

С. М. Бондаренко, М. М. Мурін, В. В. Христич

Мінімізація вартості розподільчого трубопроводу системи водяного пожежогасіння

Отримано аналітичні вирази для визначення капітальних витрат на придбання розподільчої системи водяного пожежогасіння та проведені дослідження впливу тиску, витрати вогнегасної речовини і діаметра трубопроводу мережі системи пожежогасіння.

Ключові слова: автоматична система водяного пожежогасіння, капітальні витрати, розподільча мережа, діаметр трубопроводу.

S. Bondarenko, M. Murin, V. Khristich

Minimization of the connection to the pipeline of the water fire-fighting system

Analytical expressions are obtained to determine the capital costs for the acquisition of a distribution system of water fire extinguishing and studies have been carried out on the effect of pressure, consumption of fire extinguishing agent and the diameter of the pipeline of the fire extinguishing system network.

Keywords: automatic water fire extinguishing system, capital costs, distribution network, pipeline diameter.