

*С.Н. Бондаренко, к.т.н., доцент, доцент каф., НУГЗУ,
М.Н. Мурын, к.т.н., доцент, доцент каф., НУГЗУ*

РАСЧЕТ ДИАМЕТРА ТРУБОПРОВОДА СИСТЕМ УГЛЕКИСЛОТНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

(представлено д.т.н. Абрамовым Ю.А.)

Получены аналитические выражения для определения диаметра трубопровода углекислотной системы газового пожаротушения в зависимости от расхода огнетушащего вещества, длины трубопровода и давления для систем централизованного и локального хранения огнетушащего вещества.

Ключевые слова: автоматическая система газового пожаротушения, диоксид углерода, распределительная сеть, диаметр трубопровода.

Постановка проблемы. Опыт обеспечения пожарной безопасности помещений с электронным и электротехническим оборудованием показывает, что наиболее эффективным и надежным средством противопожарной защиты являются автоматические системы газового пожаротушения (АСГП). Для противопожарной защиты помещений центров обработки данных, кабельных сооружений, как правило, применяют системы объемного тушения. При этом газовое огнетушащее вещество, в частности, углекислота, находящаяся в жидкой фазе, подается в защищаемое помещение с помощью системы распределительных трубопроводов. Эффективность применения газовых систем при объемном пожаротушении во многом зависит от выбранных параметров распределительной сети. В вопросе проектирования этих систем отсутствует единый подход к формированию распределительных сетей и определения оптимальных диаметров трубопроводов. Поэтому, применение аналитических выражений для определения параметров сетей систем углекислотного тушения, позволит решить проблему повышения надежности и эффективности средств пожарной безопасности объектов.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам проектирования систем противопожарной защиты посвящены работы [1, 2]. В них проблемы гидравлического расчета рассмотрены применительно к системам водяного пожаротушения. В работе [3] разработана методика выбора параметров трубопроводной распределительной сети АСПГ. Однако, полученное в работе решение уравнения потока представлено в табличном и графическом виде, что позволяет получить зависимости для дискретных значений давления, расхода и длины участка трубопровода. В этой связи актуальным является получение аналитических выражений, которые связывали непрерывные значения параметров трубопроводной сети систем углекислотного пожаротушения, и которые могут быть использованы при автоматизации процедуры проектирования АСПГ.

Постановка задачи и ее решение. При проектировании систем автоматической противопожарной защиты математические модели должны обеспечивать точность, адекватность, робастность и экономичность. Це-

лью данной работы является получение эмпирических формул с постоянными коэффициентами, которые позволят производить расчет диаметра трубопровода распределительной сети АСПГ в зависимости от давления, расхода огнетушащего вещества и длины участка трубопровода.

Решение поставленной задачи выполнено с привлечением методов имитационного моделирования и теории планирования эксперимента [4]. Было проведено ряд численных экспериментов для набора параметров распределительной сети углекислотной АСПГ, которые соответствуют системам с централизованным и локальным хранением огнетушащего вещества (ОТВ). Во всех случаях опыты проводились по плану полного факторного эксперимента типа 2^3 , расширенная матрица планирования которого представлена в табл. 1.

Табл. 1. Расширенная матрица планирования полного факторного эксперимента типа 2^3

N опыта	x_1	x_2	x_3	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot x_3$	$x_2 \cdot x_3$	$x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

Кодирование параметров распределительной сети проводилась в соответствии со следующими выражениями:

$$x_1 = \frac{L - L_0}{\delta L}; \quad x_2 = \frac{Q - Q_0}{\delta Q}; \quad x_3 = \frac{p - p_0}{\delta p},$$

где L, Q, p – действительное значение длины трубопровода, расхода ОТВ и давления; L_0, Q_0, p_0 – значения факторов на нулевом уровне; $\delta L, \delta Q, \delta p$ – интервалы варьирования факторов. Уровни варьирования факторов для случая АСПГ с централизованным хранением ОТВ приведены в табл. 2. Результаты опытов для систем с централизованным хранением ОТВ представлены в табл. 3.

Табл. 2. Уровни варьирования параметров распределительной сети АСПГ с централизованным хранением ОТВ

Факторы	Кодовое обозначение	Нулевой уровень $x_i = 0$	Интервал варьирования	Максимальный уровень $x_i = 1$	Минимальный уровень $x_i = -1$
Длина трубопровода, м	x_1	75	25	100	50
Расход ОТВ, кг/мин	x_2	750	250	1000	500
Давление, бар	x_3	30	10	40	20

Табл. 3. Результаты определения диаметра трубопровода для систем централизованного хранения ОТВ

N опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
D, мм	34.93	39.48	45.9	51.7	38.36	43.62	50.12	56.91
D _м , мм	34.17	39.77	46.23	51.83	38.43	44.02	50.49	56.08

Выполнив расчет значений коэффициентов регрессии и оценив их значимость по критерию Стьюдента [4], выяснили, что коэффициентами при взаимодействиях факторов можно пренебречь. Таким образом, уравнение регрессии можно представить в виде линейной зависимости

$$D = 45.128 + 2.8 \cdot x_1 + 6.03 \cdot x_2 + 2.126 \cdot x_3. \quad (1)$$

Проверка адекватности полученной модели по критерию Фишера дала положительный результат.

Значения диаметра трубопровода, рассчитанные по формуле (1) добавлены в табл. 3. Относительная ошибка определения диаметра трубопровода по формуле (1) составила не более 3%.

Современные АСПГ с децентрализованным хранением ОТВ, как правило, используют батареи состоящие из нескольких баллонов, способных хранить до 50 кг сжиженной углекислоты каждый. Поэтому при выборе диапазона изменения параметров принималась система, которая может иметь в составе от 4-х до 10-ти баллонов. Уровни варьирования параметров такой системы приведены в табл. 4.

Табл. 4. Уровни варьирования параметров распределительной сети АСПГ с децентрализованным хранением ОТВ

Факторы	Кодовое обозначение	Нулевой уровень $x_i = 0$	Интервал варьирования	Максимальный уровень $x_i = 1$	Минимальный уровень $x_i = -1$
Длина трубопровода, м	x_1	30	20	50	10
Расход ОТВ, кг/мин	x_2	350	150	500	200
Давление, бар	x_3	30	10	40	20

Выполнив расчет значений коэффициентов регрессии и оценив их значимость по критерию Стьюдента [4] выяснили, что, как и в предыдущем случае, коэффициентами при взаимодействиях факторов можно пренебречь. Таким образом, уравнение регрессии можно представить в виде линейной зависимости

$$D = 27.42 + 3.76 \cdot x_1 + 4.88 \cdot x_2 + 1.15 \cdot x_3. \quad (2)$$

Проверка адекватности полученной модели по критерию Фишера дала положительный результат. Значения диаметра трубопровода, рассчитанные по формуле (2) внесены в табл. 5. Относительная ошибка определения диаметра трубопровода по формуле (2) составила не более 6%.

Табл. 5. Результаты определения диаметра трубопровода для систем локального хранения ОТВ

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
D, мм	18.63	24.44	27.1	34.9	20.12	26.97	28.81	38.36
D _м , мм	17.63	25.15	27.39	34.91	19.93	27.45	29.69	37.2

Выводы. В работе получены математические модели, которые позволяют производить расчет диаметра трубопровода в зависимости от расхода ОТВ, давления и длины трубопровода для систем с локальным и централизованным хранением огнетушащего вещества. Показано, что использование линейных зависимостей несущественно сказывается на результатах расчета диаметра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артамонов В.С. Уточненный порядок расчета одноуровневых разветвленных гидравлических сетей / В.С. Артамонов, О.В. Груданова, А.А. Таранцев // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – Т. 17, № 3. – С. 77-83.
2. Дуреев В.О. Дослідження гідравлічних параметрів розподільчої мережі системи водяного пожежогасіння / В.О. Дуреев // Проблеми пожарной безопасности. – 2018. – Вып. 43. – С. 54-57. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6989>.
3. Bondarenko S. Recommendations on the pipeline diameter selection of carbon dioxide fire extinguishing systems / S. Bondarenko, M. Murin // Проблеми пожарной безопасности. – 2018. – Вып. 43. – С. 19-24.
4. Винарский В.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / В.С. Винарский, М.В. Лурье. – Киев: Техника, 1975. – 168 с.

Получено редколлегией 10.10.2018

С.М. Бондаренко, М.М. Мурін

Розрахунок діаметру трубопроводу систем вуглекислотного пожежогасіння

Отримані аналітичні вирази для визначення діаметру трубопроводу систем газового пожежогасіння в залежності від витрати вогнегасної речовини, довжини трубопроводу і тиску для систем централізованого та локального зберігання вогнегасної речовини.

Ключові слова: автоматична система газового пожежогасіння, діоксин вуглецю, розподільча мережа, діаметр трубопроводу.

S. Bondarenko, M. Murin

Calculation of diameter of pipeline systems of carbon acid fire extinguishing

Analytical expressions are obtained for determining the diameter of a pipeline for a carbon dioxide gas extinguishing system depending on the flow rate of the extinguishing agent, the length of the pipeline and the pressure for the systems of centralized and local storage of the extinguishing agent.

Keywords: automatic gas fire extinguishing system, carbon dioxide, distribution network, pipeline diameter.