Список литературы

1. ГСТУ 29.2.04675545.004-2001. Установки попередження і гасіння пожеж водою автоматичні. Загальні технічні вимоги. – Київ: Мінпаливенерго України, 2002. – 24 с.

2. Козлюк А.И. Противопожарная защита угольных шахт. Техника безопасности / А.И. Козлюк. – Киев: Техника, 1980. – 156 с.

3. Коляда А.Ю. Параметры водяной завесы при локализации подземного пожара / А.Ю. Коляда // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2008. – Вып. 45. – С. 72 – 81.

4. НАПБ Б.01.009-2004. Правила пожежної безпеки для підприємств вугільної промисловості України. – Київ: Мінпаливенерго України, 2005. – 336 с.

5. Ющенко Ю.М. Розробка систем і створення технічних засобів пожежного водопостачання гірничих виробок глибоких шахт: дис. … канд. тенх. наук / Ю.М. Ющенко. – Донецьк, 2002. – 184 с.

Получено 25.06.2012

УДК [622.822.7:614.844]-52

Е.В. Курбацкий*, канд. техн. наук, ведущий технолог,* ***Ю.Н. Ющенко****,*
канд. техн. наук, завотделом, ***А.А. Король****, канд. техн. наук, ведущий науч. сотр.*
НИИГД «Респиратор», ***А.А. Онасенко****, канд. техн. наук, начальник УМТС*
ГП «Ровенькиантрацит»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СМЕСИ В ТРУБОПРОВОДЕ

Исследовано движение двухкомпонентной смеси огнетущащего вещества по трубопроводу автоматической установки пожаротушения и получены аналитические выражения для определения его гидравлических характеристик, подтвержденные экспериментальными данными. Принята модель среды, в основу которой положено допущение о том, что под действием нагрузок каждый из ее компонентов сжимается по такому же закону, что и в свободном состоянии.

Ключевые слова: двухкомпонентная смесь, вода, воздух, напор, трубопровод.

Постановка проблемы. Транспортирование угля по подземным горным выработкам шахт производится в основном ленточными конвейерами. Противопожарную защиту их обеспечивают автоматически водяные, порошковые или пенные установки пожаротушения, которые могут располагаться у приводных и натяжных головок или на линейной части конвейеров.

Вопросами определения гидравлических характеристик стационарных установок пожаротушения вынуждены заниматься разработчики всех моделей установок. Наиболее широкое применение получили водяные установки пожаротушения. Для определения гидравлических характеристик трубопроводной части этих установок получено уравнение движения жидкости по трубе с переменным вдоль пути расходом [6].

По данным статистики, около 40 % пожаров на ленточных конвейерах приходится на их линейную часть. Учитывая преимущества воздушно-механической пены и воздушно-порошковой смеси перед жидкостью при подаче их на сравнительно большие расстояния, достаточную эффективность при тушении горящих конвейерных лент, актуальность приобретает исследование движения указанных огнетушащих составов по трубопроводной части установок пожаротушения с путевым расходом.

Цель работы – получить уравнение движения двухкомпонентной (в частности, огнетушащей) смеси переменной массы по трубопроводу.

Изложение материала исследований. Рассмотрим стационарный процесс движения жидкости, воздуха и твердого компонента в трубопроводе ступенчато-переменного поперечного сечения с равномерным постоянным подъемом (уклоном).

Многокомпонентные среды, состоящие из веществ с различной сжимаемостью, можно рассматривать как баротропные среды. Уравнение состояния многокомпонентных мелкодисперсных сред представлено в работе [5], где в основу модели среды положено допущение о том, что при действии нагрузок каждый из компонентов сжимается по закону, свойственному ему в свободном состоянии.

Будем считать, что сжатие газа при нагрузках происходит по адиабате Пуассона, то есть уравнение состояния политропического газа при изоэнтропических процессах имеет вид

$$P = P_o \left(\frac{\rho}{\rho_o} \right)^{\gamma_1}, \qquad (1)$$

где P, P_o – произвольное и атмосферное давления, Па;

ρ, ρ_o – плотности при P, P_o соответственно, кг/м^3;

γ_1 – показатель изоэнтропы газа.

Примем, что сжатие жидкого компонента (воды) происходит так, как описано в уравнении состояния [6]

$$P = P_o + \frac{C_o^2}{\gamma_2 V_o}\left[\left(\frac{V_o}{V}\right)^{\gamma_2} - 1\right], \qquad (2)$$

где V, V_o – объемы жидкости при P и P_o, м^3;
C_o – скорость звука в жидкости при атмосферном давлении, м/с;
γ_2 – показатель изоэнтропы для жидкости.

В твердых средах, как и в жидкостях, влиянием изменения энтропии на значение давления можно пренебречь. Поэтому закон сжимаемости твердого компонента принимаем в виде (2).

Пусть в среде при начальном давлении P_o объемная доля газообразного (воздух), жидкого (вода) и твердого (огнетушащий порошок) компонентов равна α_1, α_2 и α_3, удельный объем каждого из них V_1, V_2 и V_3, плотность ρ_1, ρ_2 и ρ_3, а скорость звука в каждом из них C_1, C_2 и C_3. Показатели изоэнтропы компонентов обозначим γ_1, γ_2 и γ_3. Тогда при $P = P_o$ плотность среды

$$\rho_o = \alpha_1\rho_1 + \alpha_2\rho_2 + \alpha_3\rho_3, \qquad (3)$$

где

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \qquad (4)$$

При давлении P объемная доля компонентов, вследствие их различной сжимаемости, будет иной, чем при $P = P_o$, и соответственно равна $\alpha_1^*, \alpha_2^*, \alpha_3^*$. Удельный объем компонентов при давлении обозначим V_1^*, V_2^* и V_3^*, а плотность трехкомпонентной смеси ρ. Поскольку сжатие каждого из компонентов происходит по закону, свойственному ему в свободном состоянии, изменение значений α_1, α_2 и α_3 пропорционально изменению удельного объема тех же компонентов.

Для воздуха по уравнению (1) получим

$$\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_1^*}\right)^{\gamma_1} = \left(\frac{V_1}{V_1^*}\right)^{\gamma_1} = \frac{P}{P_o}; \quad \alpha_1^* = \alpha_1\left(\frac{P}{P_o}\right)^{-\frac{1}{\gamma_1}}. \qquad (5)$$

Для жидкого компонента (воды) в соответствии с уравнением (2)

$$\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_2^*}\right)^{\gamma_2} = \left(\frac{V_2}{V_2^*}\right)^{\gamma_2} = \left[\frac{\gamma_2(P-P_o)}{\rho_2 C_2^2} + 1\right]^{-\frac{1}{\gamma_2}}; \quad \alpha_2^* = \alpha_2\left[\frac{\gamma_2(P-P_o)}{\rho_2 C_3^2} + 1\right]^{-\frac{1}{\gamma_2}}. \qquad (6)$$

Для твердого компонента (огнетушащего порошка) получим

$$\alpha_3^* = \alpha_3 \left[\frac{\gamma_3 (P - P_o)}{\rho_3 C_3^2} + 1 \right]^{-\frac{1}{\gamma_3}}. \qquad (7)$$

Увеличение плотности трехкомпонентной среды за счет сжатия воздуха, воды и огнетушащего порошка учитывается выражением

$$\left(\alpha_\kappa - \alpha_\kappa^* \right) \rho; \qquad \kappa = 1, 2, 3. \qquad (8)$$

Плотность среды при давлении P складывается из начальной плотности ρ_o и членов выражения, обусловленных сжатием каждого из компонентов

$$\rho = \rho_o + \left(\alpha_1 - \alpha_1^* \right)\rho + \left(\alpha_2 - \alpha_2^* \right)\rho + \left(\alpha_3 - \alpha_3^* \right)\rho,$$

$$\rho = \rho_o + \left(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 \right)\rho - \left(\alpha_1^* + \alpha_2^* + \alpha_3^* \right)\rho. \qquad (9)$$

Отсюда

$$\rho = \left(\alpha_1^* + \alpha_2^* + \alpha_3^* \right)^{-1} \rho_o. \qquad (10)$$

Подставляя в выражение (10) значения α_1^*, α_2^* и α_3^*, получим уравнение состояния трехкомпонентной среды

$$\rho = \rho_o \left\{ \alpha_1 \left(\frac{P}{P_o} \right)^{-\frac{1}{\gamma_1}} + \alpha_2 \left[\frac{\gamma_2 (P - P_o)}{\rho_2 C_2^2} + 1 \right]^{-\frac{1}{\gamma_2}} + \alpha_3 \left[\frac{\gamma_3 (P - P_o)}{\rho_3 C_3^2} + 1 \right]^{-\frac{1}{\gamma_3}} \right\}^{-1}. \qquad (11)$$

Полагая в выражении (11) $\alpha_2 = 0$, получим уравнение состояния двухкомпонентной среды: газ – твердый компонент (в нашем случае воздушно-порошковая огнетушащая среда). Полагая в (11) $\alpha_3 = 0$, получим уравнение состояния газ – жидкость (воздушная огнетушащая пена).

Учитывая сравнительно небольшие давления и их изменения в шахтных трубопроводах, при которых плотность жидкости и порошка практически не меняется, то есть при $P = P_o$; ρ = const, уравнение состояния (11) примет вид

$$\rho = \rho_o \left\{ \alpha_1 \left(\frac{P}{P_o} \right)^{-\frac{1}{\gamma}} + \alpha_2 + \alpha_3 \right\}^{-1}, \gamma = \gamma_1. \tag{12}$$

Рассмотрим трубопровод установки пожаротушения, который состоит из сплошного участка и участков с отверстиями. Стационарное движение двухкомпонентной смеси (воздушной пены или воздушно-порошковой смеси) на сплошном отрезке трубопровода описывается следующей системой уравнений [2]:

движения

$$\frac{dP}{\rho} + \alpha_o \frac{d\left(\omega^2\right)}{2} \pm g dz + i_f dx = 0; \tag{13}$$

состояния

$$\rho = \rho_o \left\{ \alpha_1 \left(\frac{P}{P_o} \right)^{-\frac{1}{\gamma}} + \alpha_2 \right\}^{-1}; \tag{14}$$

баланса количества смеси

$$M = \rho Q = \rho \omega F = \text{const}, \tag{15}$$

где dP/ρ – изменение пьезометрического напора, м;
α_o – корректив скорости;
ω – скорость потока смеси в трубопроводе, м/с;
g – ускорение свободного падения, м/с^2;
dz – абсолютное значение подъема профиля трассы трубопровода, м;
i_f – градиент гидравлического сопротивления;
Q – расход потока смеси, м^3/с;
F – площадь поперечного сечения, м^2.

Рассмотрим трубопровод с равномерным постоянным подъемом (или уклоном). Тогда абсолютное значение подъема профиля трассы трубопровода на элементарном участке будет равно

$$dz = \frac{\Delta Z}{l} dx, \tag{16}$$

где ΔZ – разность отметок конечной и начальной точек трубопровода, м;

l – длина рассматриваемого участка трубопровода, м.

Градиент гидравлического сопротивления представим в виде

$$i_f = Q^2 / K^2, \tag{17}$$

где K – модуль расхода трубы.

$$K = \left(\frac{\pi^2 D^5}{8\lambda} \right)^{\frac{1}{2}}, \tag{18}$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления трубы;

D – внутренний диаметр трубы, м.

Найдем зависимости

$$P = P(\rho), \quad Q = Q(\rho).$$

Решая уравнение (14) относительно ρ, получим

$$P = P_o \left[\frac{1}{\alpha_1} \left(\frac{\rho_o}{\rho} - \alpha_2 \right) \right]^{-\gamma}. \tag{19}$$

Из выражения (15) имеем

$$\omega^2 = \frac{M^2}{\rho^2 F^2}; \quad d\left(\omega^2\right) = -\frac{2M^2}{F^2} \frac{d\rho}{\rho^3}. \tag{20}$$

Продифференцируем формулу (19) по ρ:

$$dP = \frac{P_o \gamma \rho_o}{\alpha_1 \rho_2} \left[\frac{1}{\alpha_1} \left(\frac{\rho_o}{\rho} - \alpha_2 \right) \right]^{-(\gamma+1)} d\rho. \quad (21)$$

Подставляя выражения (16), (17), (20) и (21) в (13), а затем, интегрируя его, получим

$$\int_{\rho_i}^{\rho_x} \frac{P_o \gamma \rho_o}{\alpha_1 \rho^3} \left[\frac{1}{\alpha_1} \left(\frac{\rho_o}{\rho} - \alpha_2 \right) \right]^{-(\gamma+1)} d\rho - \int_{\rho_i}^{\rho_x} \frac{2\alpha_o M^2}{F^2 \rho^3} d\rho = -\int_0^x g \frac{\Delta Z}{l} dx - \int_0^x \frac{Q^2}{K^2} dx. \quad (22)$$

Заменим переменные

$$z = \frac{\rho_o}{\rho} - \alpha_2; \quad \rho = \frac{\rho_o}{z + \alpha_2}; \quad d\rho = -\frac{\rho_o}{(z + \alpha_2)^2} dz. \quad (23)$$

Первый интеграл уравнения (22) примет вид

$$J_1 = \frac{P_o \gamma}{\rho_o \alpha_1^{-\gamma}} \left[\frac{z_x^{-\gamma+1} - z_i^{-\gamma+1}}{\gamma - 1} + \alpha_2 \frac{z_x^{-\gamma} - z_i^{-\gamma}}{\gamma} \right].$$

С учетом выражения (19) этот интеграл можно записать как

$$J_1 = \left[\frac{\gamma}{\rho_o (\gamma - 1)} \left(\frac{\rho_o}{\rho_x} - \alpha_2 \right) + \frac{\alpha_2}{\rho_o} \right] P_x - \left[\frac{\gamma}{\rho_o (\gamma - 1)} \left(\frac{\rho_o}{\rho_i} - \alpha_2 \right) + \frac{\alpha_2}{\rho_o} \right] P_i. \quad (24)$$

Последующие интегралы соответственно будут равны

$$J_2 = -\frac{\alpha_o M^2}{F^2} \left(\frac{1}{\rho_x^2} - \frac{1}{\rho_i^2} \right); \quad (25)$$

$$J_3 = g \frac{\Delta Z}{l} x; \quad (26)$$

$$J_4 = \frac{M^2}{K^2} \frac{1}{\rho_x^2} x. \quad (27)$$

Подставляя выражения (24), (25), (26) и (27) в (22), получим

$$\left[\frac{\gamma}{\rho_o(\gamma+1)}\left(\frac{\rho_o}{\rho_x}-\alpha_2\right)+\frac{\alpha_2}{\rho_o}\right]P_x-\left[\frac{\gamma}{\rho_o(\gamma+1)}\left(\frac{\rho_o}{\rho_i}-\alpha_2\right)+\frac{\alpha_2}{\rho_o}\right]P_i+$$

$$+\frac{\alpha_o M^2}{F^2}\left(\frac{1}{\rho_x^2}-\frac{1}{\rho_i^2}\right)=-g\frac{\Delta Z}{l}x-\frac{M^2}{K^2\rho_x^2}x. \qquad (28)$$

Для достижения поставленной в работе цели рассмотрим отрезок трубопровода с отверстием. Здесь потеря напора обусловлена трением потока смеси о стенки и отделением массы по длине трубопровода.

Основное дифференциальное уравнение движения смеси с переменной массой на рассматриваемом участке имеет вид

$$\frac{\alpha_o d\left(\omega^2\right)}{2}+\frac{dP}{\rho}+gdz+i_f dx+\frac{\alpha_o(\omega-\theta)\omega}{Q}dQ+\omega^2 d\alpha_o=0, \qquad (29)$$

где θ – проекция скорости движения истекающих струй на направление движения основного потока, м/с.

Учитывая, что струи потока, как правило, отводятся из трубопроводов под прямым углом, то есть $\theta = 0$, и принимая $\alpha = \text{const}$, уравнение (29) можно записать в виде

$$\frac{dP}{\rho}+\frac{\alpha_o}{2}d\left(\omega^2\right)+gdz+i_f dx+\alpha_o\omega^2\frac{dQ}{Q}=0. \qquad (30)$$

На каждом отрезке с отверстием площадь F считаем постоянной величиной, м^2.

Используя зависимости (15), (16), (17) и (21), выражение (30) выразим следующим образом:

$$\frac{\alpha_o}{F^2}d\left(Q^2\right)+\frac{P_o\gamma\rho_o}{\alpha_1\rho^3}\left[\frac{1}{\alpha_1}\left(\frac{\rho_o}{\rho}-\alpha_2\right)\right]^{-(\gamma+1)}d\rho=-g\frac{\Delta Z}{l}dx-\frac{Q^2}{K^2}dx. \qquad (31)$$

Проинтегрируем это выражение:

$$\int_{\rho_{нi}}^{\rho_x} \frac{P_o\gamma\rho_o}{\alpha_1\rho^3}\left[\frac{1}{\alpha_1}\left(\frac{\rho_o}{\rho}-\alpha_2\right)\right]^{-(\gamma+1)} d\rho+\int_{Q_{нi}}^{Q_x}\frac{\alpha_o}{F^2}d\left(Q^2\right)=-\int_0^x\frac{g\Delta Z}{l}\,dx-\int_0^x\frac{Q^2}{K^2}dx, \quad (32)$$

где $Q_н$ – расход смеси в начале отрезка, м^3/с.

Аналогично интергированию выражения (22) из (32) получим

$$J_1' =\left[\frac{\gamma}{\rho_o(\gamma-1)}\left(\frac{\rho_o}{\rho_x}-\alpha_2\right)+\frac{\alpha_2}{\rho_o}\right]P_x-\left[\frac{\gamma}{\rho_o(\gamma-1)}\left(\frac{\rho_o}{\rho_{нi}}-\alpha_2\right)+\frac{\alpha_2}{\rho_o}\right]P_{нi}. \quad (33)$$

Интеграл от третьего слагаемого равен выражению (26). Интегралы от второго и четвертого слагаемых равны

$$J_2' =\frac{\alpha_o}{F^2}\left(Q_x^2-Q_{нi}^2\right); \quad (34)$$

$$J_4' =\frac{1}{K^2}\int_0^x Q_x^2 dx. \quad (35)$$

Расход в любом сечении рассматриваемого отрезка трубы с отверстием, находящимся на расстоянии x от начала этого отрезка, равен

$$Q_x = Q_{нi}-\int_0^x dQ\,. \quad (36)$$

Подставляя уравнение (36) в (34) и (35), получим

$$J_2' =\frac{\alpha_o}{F^2}\left[\left(\int_0^x dQ\right)^2-2Q_{нi}\int_0^x dQ\right]; \quad (37)$$

$$J_4' =\frac{1}{K^2}\int_0^x\left[Q_{нi}^2-2Q_{нi}\int_0^x dQ+\left(\int_0^x dQ\right)^2\right]dx. \quad (38)$$

С учетом этих зависимостей выражение (32) примет вид

$$\frac{\alpha_o}{F^2}\left[\left(\int_0^x dQ\right)^2 - 2Q_{нi}\int_0^x dQ\right] + \left[\frac{\gamma}{\rho_o(\gamma-1)}\left(\frac{\rho_o}{\rho_x} - \alpha_2\right) + \frac{\alpha_2}{\rho_o}\right]P_x -$$

$$-\left[\frac{\gamma}{\rho_o(\gamma-1)}\left(\frac{\rho_o}{\rho_{нi}} - \alpha_2\right) + \frac{\alpha_2}{\rho_o}\right]P_{нi} = -\frac{g\Delta Z}{l}X -$$

$$-\frac{1}{K^2}\int_0^x\left[\left(\int_0^x dQ\right)^2 - 2Q_{нi}\int_0^x dQ + Q_{нi}^2\right]dx. \qquad (39)$$

Значение элементарного расхода dQ через элементарную поверхность dS рассматриваемого отверстия определяется следующим образом:

$$dQ = \mu\sqrt{2\frac{P_x}{\rho_x}}dS, \qquad (40)$$

где μ – коэффициент расхода отверстия.

Для каждого i-го участка принимается своя система координат $XУ$ таким образом, чтобы ось $У$ совпадала с начальным сечением этого участка, а ось X проходила через центр отверстия. Тогда значение элементарной поверхности dS выразится через текущие координаты X и $У$:

$$dS = 2Уdx. \qquad (41)$$

Для круглого отверстия координата $У$ равна

$$У = \sqrt{R_i^2 - (x - a_x)^2}\,, \qquad (42)$$

где R_i – радиус отверстия на i-м участке, м;

a_x – абсцисса центра отверстия относительно системы координат $XУ$, м.

С учетом зависимостей (40), (41) и (42) выражение (39) примет вид

$$\frac{\alpha_o}{F^2}\left[\left(\int_0^x 2\mu\sqrt{R_i^2-\left(x-a_x\right)^2}\sqrt{2\frac{P_x}{\rho_x}}dx\right)^2-2Q_{нi}\int_0^x 2\mu\sqrt{R_i^2-\left(x-a_x\right)^2}\sqrt{2\frac{P_x}{\rho_x}}dx\right]+$$

$$+\left[\frac{\gamma}{\rho_o\left(\gamma+1\right)}\left(\frac{\rho_o}{\rho_x}-\alpha_2\right)+\frac{\alpha_2}{\rho_o}\right]P_x-\left[\frac{\gamma}{\rho_o\left(\gamma-1\right)}\left(\frac{\rho_o}{\rho_{нi}}-\alpha_2\right)+\frac{\alpha_2}{\rho_o}\right]P_{нi}=$$

$$=-\frac{g\Delta Z}{l}X-\frac{1}{K^2}\int_0^x\left[\left(\int_0^x 2\mu\sqrt{R_i^2-\left(x-a_x\right)^2}\sqrt{2\frac{P_x}{\rho_x}}dx\right)^2-\right.$$

$$\left.-2Q_{нi}\int_0^x 2\mu\sqrt{R_i^2-\left(x-a_x\right)^2}\sqrt{2\frac{P_x}{\rho_x}}dx+Q_{нi}^2\right]dx. \qquad (43)$$

Длину диаметра отверстия i–го участка разделим на ряд малых шагов. Примем допущение, что на каждом шаге

$$\Delta x_j = x_{j+1} - x_j\,; \quad j = 1\ldots\ n \qquad (44)$$

значение пьезометрического напора будет практически постоянным, то есть

$$P_x/\rho_x = \mathrm{const.}$$

Кроме того, на каждом шаге $\rho_x = \rho_{xj}$. Тогда аналитическое решение данной задачи будет следующим:

$$P_{x_{j+1}} = P_{нx_j} - A^{-1}\left[C\left(BJ^2-DJ\right)+\frac{g\Delta Z}{l}\left(x_{j+1}-x_j\right)+\frac{1}{K^2}\left(BJ^2-DJ+Q_{нi}^2\right)\right]. \qquad (45)$$

Расход смеси $Q_{x_{j+1}}$ вычисляется по формуле

$$Q_{x_{j+1}} = Q_{x_j} - 2\mu\sqrt{2\frac{P_{нx_j}}{\rho_{нx_j}}}J\ . \qquad (46)$$

В выражениях (45) и (46) приняты обозначения:

$$J=\frac{R_i^2}{2}\left(\arcsin\frac{x^{j+1}-a_x}{R_i}-\arcsin\frac{x^j-a_x}{R_i}\right)+\frac{x^{j+1}-a_x}{2}\sqrt{R_i^2-\left(x^{j+1}-a_x\right)^2}-$$

$$-\frac{x^j-a_x}{2}\sqrt{R_i^2-\left(x^j-a_x\right)^2}; \qquad (47)$$

$$A=\frac{\gamma}{\rho_o(\gamma-1)}\left(\frac{\rho_o}{\rho_{нx_j}}-\alpha_2\right)+\frac{\alpha_2}{\rho_o}; \qquad (48)$$

$$B=8\mu^2\frac{P_{нx_j}}{\rho_{нx_j}}; \qquad (49)$$

$$C=\frac{\alpha_o}{F^2}; \qquad (50)$$

$$D=4Q_{нi}\mu\sqrt{2-\frac{P_{нx_j}}{\rho_{нx_j}}}. \qquad (51)$$

В частном случае, при $\alpha_1 = 0$, получим уравнение движения жидкости переменной массы, приведенное в работе [6].

Для теоретического исследования процесса движения двухкомпонентной смеси по трубопроводу разработан алгоритм и составлена программа решения задачи.

Достоверность теоретических результатов проверялась сопоставлением с данными экспериментальных исследований, полученными при определении напоров пенопровода с переменным вдоль его пути расходом смеси.

Геометрические характеристики трубопровода следующие: общая длина 8 м, количество отводов 3, расстояние между ними 2 м, диаметры участков труб 0,08; 0,032 и 0,025 м, расстояние между манометрами 2,25 и 4,57 м.

Экспериментальные исследования проводили при максимальных и минимальных значениях напора жидкости и воздуха P_o, при которых образовывался устойчивый пенный поток.

Результаты теоретических и данные экспериментальных исследований приведены таблице.

Результаты исследований распределения напоров
по трубопроводу гидравлического стенда

P_0, МПа		P_1, МПа		P_2, МПа		P_3, МПа	
вода	воздух	теор.	эксп.	теор.	эксп.	теор.	эксп.
0,8	0,45	0,112	0,1	0,115	0,105	0,052	0,048
0,8	0,1	0,043	0,042	0,044	0,045	0,018	0,015
0,1	0,1	0,020	0,025	0,021	0,025	0,014	0,012

Анализ полученных результатов указывает на удовлетворительную сходимость, что подтверждает справедливость основных положений предлагаемого метода расчета. Максимальная погрешность в результатах составляет 20 %, причем относительно худшая сходимость наблюдается при минимальных значениях начальных напоров жидкости и воздуха.

Выводы. Полученные зависимости дают возможность рационально выбирать конструктивные параметры и определять гидравлические характеристики трубопроводной части любых стационарных установок пожаротушения – водяных, воздушно-пенных, порошковых. Это позволит повысить эффективность автоматической противопожарной защиты протяженных или крупногабаритных объектов хозяйства.

Список литературы

1. Берестенников В.В. Определение дальности пневмотранспортирования огнетушащего порошка по прямолинейному трубопроводу / В.В. Берестенников, Ю.П. Цыганков // Тактические приемы ведения горноспасательных работ и техническое оснащение ВГСЧ: сб. науч. тр. / ВНИИГД. – Донецк, 1982. – С. 94 – 100.
2. Бобровский С.А. Движение газа в газопроводах с путевым отбором / С.А. Бобровский. – М.: Наука, 1972. – 192 с.
3. Дикенштейн И.Ф. Средства автоматического пожаротушения в тупиковых выработках угольных шахт / И.Ф. Дикенштейн, А.А. Король, Н.С. Яковлева // Пути повышения безопасности горных работ в угольной отрасли: тез. докл. науч.-практ. конф. / МакНИИ. – Макеевка; Святогорск, 2004. – С. 345 – 347.
4. Курбацкий Е.В. Автоматические водопенные средства ликвидации пожаров на всем протяжении подземных ленточных конвейеров: дис. … канд. техн. наук: 05.26.01 / Е.В. Курбацкий. – Макеевка, 1988. – 239 с.
5. Ляхов Г.М. Основы динамики взрыва в грунтах и жидких средах / Г.М. Ляхов. – М.: Недра, 1964. – 216 с.
6. Поздняков К.И. Исследование параметров и разработка рекомендаций по повышению эффективности работы установок водяного пожаротушения для угольных шахт / К.И. Поздняков: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.26.01 / ВНИИГД. – Макеевка, 1981. – 17 с.

Получено 02.02.2012