

УДК 622.817.4

В.Н. КОЧЕРГА, зав. лаб.,
Б.П. ЮРЧЕНКО, ст. науч. сотрудник,
Н.Л. ТИМОФЕЕВА, науч. сотрудник; МакНИИ, Макеевка

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ДЕБИТА
МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ, КАПТИРУЕМОЙ
ДЕГАЗАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ С АВАРИЙНОГО УЧАСТКА,
ПУТЕМ ОТКЛЮЧЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЕТВЕЙ ГАЗОПРО-
ВОДА И ПОДКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВНОГО ВАКУУМ-НАСОСА**

Изложена методика оценки возможности увеличения дебита метановоздушной смеси, каптируемой дегазационной системой с аварийного участка, путем отключения параллельных ветвей газопровода и подключения резервного вакуум-насоса.

Ключевые слова: дегазационная сеть, эквивалентный диаметр, вакуум-насос, расход метановоздушной смеси.

При подземном пожаре применение дегазации позволяет сократить поступление метана в горные выработки и улучшить условия ведения горноспасательных работ, а при горении метана - уменьшить его приток к очагу пожара.

Важно оценить возможность дегазационной системы участка и шахты, обеспечить требуемый расход метановоздушной смеси, определить возможные пути усиления дегазации на аварийном участке. Одним из путей усиления эффективности дегазации на аварийном участке является отключение параллельных ветвей газопровода и подключение резервного насоса.

Целью настоящей работы является оценка возможности увеличения дебита метановоздушной смеси, каптируемой дегазационной системой с аварийного участка, путем отключения параллельных ветвей газопровода и подключения резервного насоса.

Для оценки возможности увеличения дебита метановоздушной смеси, каптируемой дегазационной системой с аварийного участка, путем подключения резервного насоса и отключения параллельных ветвей газопровода используются график характеристики вакуум-насосов, работаю-

щих в режиме всасывания, и график аэродинамической характеристики газопровода.

Если дегазационная сеть состоит из труб разного диаметра и дегазируется несколько участков, то вначале определяются эквивалентные диаметры отдельных ветвей и всей дегазационной сети для последовательного и параллельного соединения труб по формулам [1]:

$$d_{\text{экв}} = \left(\frac{(d_n \cdot d_{n+1})^{5,33} (l_{n+1} + l_n)}{l_{n+1} \cdot d_n^{5,33} + l_n \cdot d_{n+1}^{5,33}} \right)^{0,188}, \quad (1)$$

где d_n – диаметр участка трубопровода, м;

d_{n+1} – диаметр последующего участка, м;

l_n – длина участка трубопровода, м;

l_{n+1} – длина последующего участка, м.

$$d_{\text{экв}} = \frac{(d_n^{2,67} \cdot l_{n+1}^{0,5} + d_{n+1}^{2,67} \cdot l_n^{0,5})^{0,375} \cdot l_{n+1}^{0,187}}{(l_n \cdot l_{n+1})^{0,187}}, \quad (2)$$

где l_n , l_{n+1} и d_n , d_{n+1} – длины и диаметры двух ветвей трубопровода, м.

Затем строятся график характеристики вакуум-насосов, работающих в режиме всасывания, и график аэродинамической характеристики газопровода.

По оси ординат откладывается давление на всасе вакуум-насоса и давление в газопроводе, а по оси абсцисс – расход метановоздушной смеси.

Для построения графика характеристики вакуум-насосов используется формула:

$$P_{\text{вс}} = k_1 + \frac{k_2 \cdot Q_H}{n_H}, \quad (3)$$

$k_1 = 38$; $k_2 = 14,4$ – коэффициенты уравнения характеристики насосов производительностью 50 м³/мин;

$k_1 = 10$; $k_2 = 5$ – коэффициенты уравнения характеристики насосов производительностью 150 м³/мин.

График аэродинамической характеристики газопровода строится по формуле:

$$P_K = \sqrt{P_H^2 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 \cdot l \cdot \gamma}{d_{\text{экв}}^{5,33}} \cdot k_H}, \quad (4)$$

где P_K и P_H - давление метановоздушной смеси в конце и начале газопровода, мм рт.ст.;

k_H - коэффициент, учитывающий разность глубин начала и конца ветви (в случае, когда $\Delta H > 400$ м).

Построение графиков производится на ПК по программе Excel.

Из точки пересечения характеристики вакуум-насоса и газопровода опускается перпендикуляр на ось абсцисс и определяется расход метановоздушной смеси на всасе вакуум-насоса, которая может быть каптирована дегазационной сетью с расчетным эквивалентным диаметром.

Для более точного определения расхода метановоздушной смеси используются формулы, полученные при совместном решении уравнений, описывающих характеристики работающих насосов и газопровода:

$$Q_H = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}; \quad (5)$$

$$a = \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_{mp} \cdot \gamma}{d_{\text{экв}}^{5,33}} + \frac{k_2^2}{n^2}; \quad (6)$$

$$b = \frac{2 \cdot k_1 \cdot k_2}{n}; \quad (7)$$

$$c = 577600 - k_1^2, \quad (8)$$

где l_{mp} - длина всасывающей части газопровода, м;

γ - плотность метановоздушной смеси, кг/м³;

$d_{\text{экв}}$ - эквивалентный диаметр газопровода, м;

n - количество одновременно работающих насосов.

Затем производится расчет расхода метановоздушной смеси на выемочных участках. Если дегазируется один участок – расход метановоздушной смеси определяется с учетом нормативных подсосов воздуха в газопровод, который составляет 1 м^3 на 1000 м газопровода:

$$Q_{уч} = Q_{ВНС} - l_{mp} \cdot 10^{-3}. \quad (9)$$

Если дегазируются несколько выемочных участков, вначале рассчитывается расход метановоздушной смеси до первой узловой точки от вакуум-насосной станции (ВНС) с учетом нормативных подсосов воздуха в газопровод:

$$Q_{уз.м} = Q_{ВНС} - l_{mp.уз.м} \cdot 10^{-3}.$$

Затем рассчитывается распределение метановоздушной смеси для двух ветвей газопровода, которые подходят к этой узловой точке. Расчет производим из условия, что давление в узловой точке 3 для обеих параллельных ветвей газопровода 1-3 и 2-3 равно:

$$P_{уз.м} = \sqrt{P_{m_1}^2 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_1 \cdot Q_1^2}{d_1^{5,33}}};$$

$$P_{уз.м} = \sqrt{P_{m_2}^2 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_2 \cdot Q_2^2}{d_2^{5,33}}}.$$

Следовательно:

$$\sqrt{P_{m_1}^2 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_1 \cdot Q_1^2}{d_1^{5,33}}} = \sqrt{P_{m_2}^2 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_2 \cdot Q_2^2}{d_2^{5,33}}}.$$

Путем преобразования равенства получим:

$$\frac{l_1 \cdot Q_1^2}{d_1^{5,33}} = \frac{l_2 \cdot Q_2^2}{d_2^{5,33}}.$$

Зная расход метановоздушной смеси в узловой точке и подставляя числовые значения длин и диаметров газопроводов, которые подходят к узловой точке, составляем уравнение вида:

$$x + nx = Q_{уз.т.}$$

Затем рассчитываем расход метановоздушной смеси на участках с учетом нормативных подсосов воздуха в газопровод по формуле (9). Если дегазируются три и более участка, расчеты выполняют в вышеприведенной последовательности.

Так, например, на шахте дегазируется два выемочных участка поверхностной ВНС (рис. 1), оснащенной вакуум-насосами производительностью 50 м³/мин. Каптируется 41 м³/мин метановоздушной смеси с концентрацией 40%. С участка №1 отводится 20,2 м³/мин метановоздушной смеси, с участка №2 – 16,4 м³/мин метановоздушной смеси.

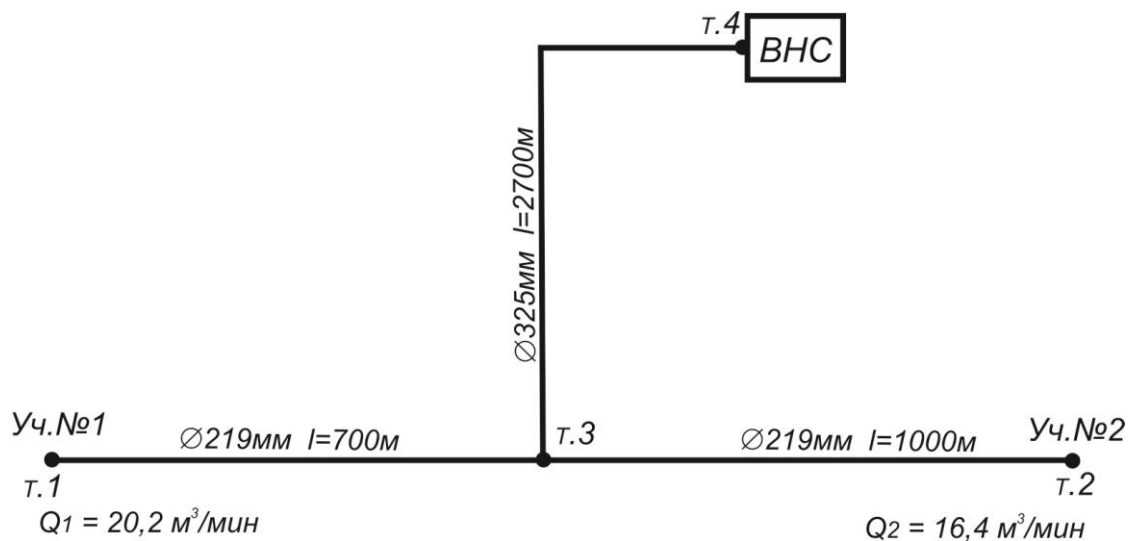


Рис. 1. Схема дегазационного трубопровода

Аварийный участок № 2.

1. Определяем эквивалентный диаметр двух параллельных ветвей 1-3 и 2-3. Так как диаметры участков газопроводов одинаковы, формула для определения эквивалентного диаметра упрощается:

$$d_{\text{экв}} = \frac{0,205(700^{0,5} + 1000^{0,5})^{0,375}}{700^{0,187}} = 0,274 \text{ м.}$$

2. Определяем эквивалентный диаметр сети при двух дегазируемых участках:

$$d_{\text{экв.2-4}} = \left(\frac{(0,274 \cdot 0,31)^{5,33} (1000 + 2700)}{2700 \cdot 0,274^{5,33} + 1000 \cdot 0,31^{5,33}} \right)^{0,188} = 0,2965 \text{ м.}$$

3. Определяем эквивалентный диаметр сети в ситуации отключения дегазации на участке №1:

$$d'_{\text{экв.2-4}} = \left(\frac{(0,205 \cdot 0,31)^{5,33} (1000 + 2700)}{2700 \cdot 0,205^{5,33} + 1000 \cdot 0,31^{5,33}} \right)^{0,188} = 0,2488 \text{ м.}$$

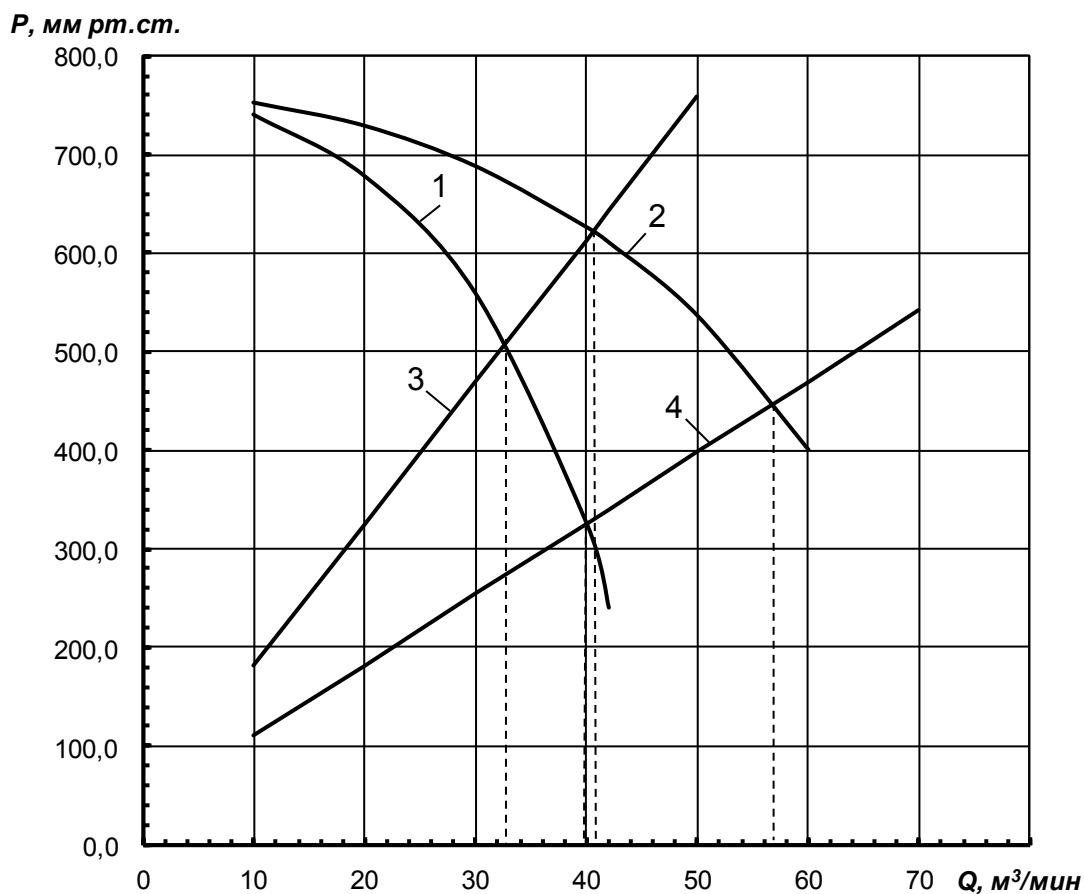
4. Определяем расход метановоздушной смеси на всасе вакуум-насоса при подключении второго насоса для двух дегазируемых участков.

Строим графики характеристик вакуум-насосов производительностью 50 м³/мин и газопровода с использованием формул (3) и (4) (рис. 2).

Из точки пересечения характеристики двух работающих вакуум-насосов и газопровода опускается перпендикуляр на ось абсцисс и определяется расход метановоздушной смеси на всасе вакуум-насоса, которая может быть каптирована дегазационной сетью с расчетным эквивалентным диаметром 0,2965 м. Расход метановоздушной смеси на всасе вакуум-насоса составляет 57,0 м³/мин (см. рис. 2).

С учетом нормативных подсосов воздуха в газопровод расход метановоздушной смеси в точке 3 составит:

$$Q_{m3} = Q_{ВНС} - l_{mp.4-3} \cdot 10^{-3} = 57 - 2700 \cdot 10^{-3} = 54,3 \text{ м}^3/\text{мин.}$$



- 1 – Аэродинамическая характеристика газопровода длиной 3700 и экв. диаметром 0,2488 м;
 2 – Аэродинамическая характеристика газопровода длиной 3700 и экв. диаметром 0,2965 м;
 3 – Характеристика одного работающего вакуум-насоса ВВН 2-50;
 4 – Характеристика двух работающих вакуум-насосов ВВН 2-50

Рис. 2. Совместные характеристики дегазационного трубопровода и вакуум-насосов производительностью 50 м³/мин:

Рассчитаем распределение метановоздушной смеси между участковыми газопроводами. Расчет выполняем из условия, что давление в узловой точке 3 для обеих параллельных ветвей газопровода 1-3 и 2-3 равно:

$$P_{m3} = \sqrt{P_{m1}^2 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_{1-3} \cdot Q_{1-3}^2}{d_{1-3}^{5,33}}};$$

$$P_{m3} = \sqrt{P_{m2}^2 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_{2-3} \cdot Q_{2-3}^2}{d_{2-3}^{5,33}}}.$$

Следовательно:

$$\sqrt{P_{m_1}^2 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_{1-3} \cdot Q_{1-3}^2}{d_{1-3}^{5,33}}} = \sqrt{P_{m_2}^2 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_{2-3} \cdot Q_{2-3}^2}{d_{2-3}^{5,33}}}.$$

Путем преобразования равенства получим:

$$\frac{l_{1-3} \cdot Q_{1-3}^2}{d_{1-3}^{5,33}} = \frac{l_{2-3} \cdot Q_{2-3}^2}{d_{2-3}^{5,33}}.$$

Так как диаметры труб участковых газопроводов одинаковы:

$$l_{1-3} \cdot Q_{1-3}^2 = l_{2-3} \cdot Q_{2-3}^2.$$

Подставляем значения длин участковых газопроводов:

$$700 \cdot Q_{1-3}^2 = 1000 \cdot Q_{2-3}^2.$$

Путем преобразования получаем:

$$\begin{aligned} Q_{1-3}^2 &= 1,429 \cdot Q_{2-3}^2, \\ Q_{1-3} &= 1,195 \cdot Q_{2-3}. \end{aligned}$$

Расход метановоздушной смеси в точке 3 составляет 54,3 м³/мин.

$$\begin{aligned} Q_{1-3} &= 54,3 - Q_{2-3}, \\ 1,195 \cdot Q_{2-3} &= 54,3 - Q_{2-3}, \\ 1,195 \cdot Q_{2-3} + Q_{2-3} &= 54,3, \\ 2,195 \cdot Q_{2-3} &= 54,3, \\ Q_{2-3} &= 24,74. \end{aligned}$$

Расход метановоздушной смеси со стороны участка №2 (Q_2) составит 24,74 м³/мин, со стороны участка №1 – $Q_1 = 24,74 \cdot 1,195 = 29,56$ м³/мин.

С учетом нормативных подсосов воздуха расход метановоздушной смеси на участках составит:

в точке 2:

$$Q_{m2} = Q_{m3} - l_{mp.1-2} \cdot 10^{-3} = 24,74 - 1000 \cdot 10^{-3} = 23,74 \text{ м}^3/\text{мин};$$

в точке 1:

$$Q_{m1} = 29,56 - 700 \cdot 10^{-3} = 28,86 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

Таким образом, при включении второго насоса прирост каптируемой метановоздушной смеси с аварийного участка составит:

$$23,74 - 16,4 = 7,34 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

При этом расход метановоздушной смеси с участка №1 увеличится на 8,6 м³/мин.

$$28,86 - 20,2 = 8,66 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

Путем регулирования расхода метановоздушной смеси со стороны участка №1 в сторону уменьшения с помощью газовой запорной задвижки до величины, необходимой для обеспечения эффективной дегазации (20,2 м³/мин), можно еще увеличить расход метановоздушной смеси со стороны аварийного участка № 2.

5. Определяем расход метановоздушной смеси на всасе вакуум-насосов в ситуации отключения дегазации на участке №1.

На графике (см. рис. 2) из точки пересечения характеристики работающих вакуум-насосов и газопровода опускается перпендикуляр на ось абсцисс и определяется расход метановоздушной смеси на всасе вакуум-насоса, которая может быть каптирована дегазационной сетью, с расчетным эквивалентным диаметром 0,2488 м. Расход метановоздушной смеси на всасе вакуум-насоса составляет 33 м³/мин при одном включенном вакуум-насосе и 40 м³/мин при двух включенных вакуум-насосах (см. рис. 2).

С учетом нормативных подсосов воздуха в газопровод расход метановоздушной смеси в точке 2 составит при одном включенном вакуум-насосе:

$$Q_{m2} = Q_{ВНС} - l_{mp.4-2} \cdot 10^{-3} = 33 - 3700 \cdot 10^{-3} = 29,3 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

При двух включенных вакуум-насосах расход метановоздушной смеси в точке 2 будет равен:

$$Q_{m2} = 40 - 3700 \cdot 10^{-3} = 36,3 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Таким образом, при полном отключении участка № 1 с участка № 2 возможно каптировать 29,3-36,3 м³/мин метановоздушной смеси.

ВЫВОДЫ

Предложена методика оценки возможности увеличения дебита метановоздушной смеси, капируемой дегазационной системой с аварийного участка, путем отключения параллельных ветвей газопровода и подключения резервного насоса.

Результаты работы использованы при разработке новой редакции НПАОП «Основні положення з використанням дегазації при пожежах у шахті».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации: СОУ 10.1.00174088.001-2004 – Офиц. изд. – К., 2004. – 162 с. – (Нормативный документ Минтопэнерго Украины).

2. Руководство по применению дегазации при ликвидации горения метана в шахтах. – М., 1983.

Получено: 11.10.2013

Викладено методику оцінки можливості збільшення дебіту метано-повітряної суміші, що каптується дегазаційною системою з аварійної ділянки шляхом відключення паралельних гілок газопроводу і підключення резервного вакуум-насосу.

Ключові слова: дегазаційна мережа, еквівалентний діаметр, вакуум-насос, витрата метаноповітряної суміші.

The methodic of the possibility assessment of the increase of the methane-and-air mixture discharge captured by degassing system from accidental area by means of shutdown of the parallel gas piping branches and connection of the reserved vacuum pump has been set out.

Keywords: degassing network, equivalent diameter, vacuum pump, flow rate of methane-and-air mixture.