

УДК 622.831.325.3

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЧАСТКОВ ТРУБ ШАХТНЫХ СЕТЕЙ

Столбченко Е.В., Пугач С.И.

*Национальный технический университет «Днепровская
политехника»*

Разработана методика расчета неразветвленных газопроводов с изменяемой в процессе эксплуатации длиной.

Угольная промышленность является одной из основных отраслей народного хозяйства, требующей постоянного внимания и участия со стороны научно-исследовательских и проектных организаций. Увеличение глубины разработки угольных месторождений при существующей технологии добычи полезного ископаемого приводит к ухудшению санитарно-гигиенических условий труда горнорабочих и повышению опасности возникновения взрывоопасной смеси из угольной пыли и метана.

Повышение производительности и скорости подвигания забоев очистных и подготовительных выработок с применением новой техники и технологии ведения горных работ привело к росту интенсивности метановыделения. Все возможности борьбы с метаном путём вентиляции исчерпаны, и, вследствие этого, особое значение приобретают активные способы управления газовыделением. Имеющиеся в этом направлении достижения во многих случаях не обеспечивают норм концентрации метана в рудничном воздухе, предусмотренных правилами безопасности. Вследствие этого сдерживается внедрение или использование на полную мощность новейшей высокопроизводительной техники, и вопросы борьбы с газом приобретают значение не только с точки зрения безопасности и комфортности труда горнорабочих, но и возможности дальнейшего прогресса в механизации и автоматизации горных работ.

Существующие методики определения основных параметров дегазации основаны на базе натуральных исследований. При этом предлагаемые аналитические расчеты большинства опубликованных научных работ основаны на опытных данных, применительно к конкретным горно-геологическим условиям и носят рекомендательный характер. Несмотря на существующее разнообразие предлагаемых решений, практика исследований уровня

дегазации на угольных предприятиях указывает на несовершенство существующих методик расчета параметров дегазации. Фактические параметры работы дегазационной сети во многих случаях не отвечают расчетным. Поэтому уточнение действующих методик расчета параметров дегазации является актуальной научно-практической задачей, которая требует всестороннего изучения и решения.

Предлагается расчет участков трубопровода изолированного отвода метана, трубопровода местного проветривания тупиковых выработок, газопроводов дегазационных сетей.

Для сетей трубопроводов, длина которых в процессе эксплуатации меняется, целесообразно вести предварительный расчёт параметров простых (без разветвлений) участков, входящих в сеть.

При расчётах определяются оптимальные значения движения воздуха на участках, диаметр труб участка, аэродинамическое сопротивление 1 пог. м участка. Критерием оптимальности приняты стоимости амортизации и ремонта участка трубы в течение 1 года и стоимость электроэнергии, затрачиваемой вентиляторной установкой (вакуум-насосом) на продвижение воздуха (метановоздушной смеси (МВС)) на этом участке. Расходы на амортизацию и ремонт трубопровода принимаются в % от стоимости трубы. Стоимость 1 пог. м трубы определяется эмпирической формулой вида [1].

$$k_m = b_0 + b_1 D + b_2 D^2,$$

где D – диаметр трубы на участке,

m ; b_0, b_1, b_2 – коэффициенты эмпирической формулы.

Стоимость электроэнергии, затрачиваемой вентиляторной установкой на продвижение воздуха по участку с достаточной точностью можно определить по формуле [2]

$$Z_y = \frac{Q_y h_y}{1000 \eta_e} T_i c,$$

где Q_y – расход воздуха, проходящего на участке, m^3/c ;

h_y – депрессия участка, Па;

η_e – коэффициент полезного действия вентилятора;

T – число часов работы вентилятора в течение года;

C – стоимость 1 кВт·ч потребляемой энергии, грн.

При расчёте параметров участка определяется оптимальная скорость движения воздуха, оптимальный диаметр и оптимальные потери давления на 1 пог. м трубопровода.

Стоимость затрат электроэнергии в течение года вентилятором на продвижение МВС в простом участке трубопровода в сумме со стоимостью амортизации и ремонта участка трубы в течение года равна:

$$W = \frac{Q}{1000\eta_e} \left[\frac{4\alpha L}{D} U^2 TC \right] + 0,01rL(b_0 + b_1 D + b_2 D^2), \quad (1)$$

где α – коэффициент аэродинамического сопротивления трубопровода, Н·с²/м⁴;

r – процент стоимости участка трубы, отчисляемый на амортизацию и ремонт, %.

Выражаем диаметр через расход и скорость движения МВС по трубе, используя закон непрерывности потока [3]

$$D = 1,13 \frac{Q^{0,5}}{V^{0,5}}, \quad (2)$$

тогда уравнение (1) запишется в виде

$$W = \frac{Q}{1000\eta_e} \left[\frac{2,12\beta L U^{0,5}}{Q^{0,5}} U^2 TC \right] + \frac{rL}{100} \left[b_0 + 1,13b_1 \frac{Q^{0,5}}{U^{0,5}} + 1,28b_2 \left(\frac{Q^{0,5}}{U^{0,5}} \right)^2 \right]$$

где β – безразмерный коэффициент трения; $\beta = 1,67\alpha$.

$$\frac{dW}{dU} = 2,5 \cdot 0,0021\beta L Q^{0,5} TC U^{1,5} - 0,0127Lb_2 \frac{Q}{U^2} - 0,5 \cdot 0,0113Lb_1 \frac{Q^{0,5}}{U^{0,5}} = 0.$$

Принимая исходные данные: $\beta = 0,03$; $L = 500$ м; $Q = 0,6$ м³/с; $T = 24 \cdot 365 = 8760$ ч; $C = 0,167$ грн, $b_2 = 24,365$, $b_1 = 111,35$

т. к. $\frac{d^2W}{dU^2} > 0$, оптимальная скорость будет $U_{opt} = 2,449$ м/с.

Для принятых исходных данных диаметр, соответствующий оптимальной скорости:

$$D = 1,130,6^{0,5} / 2,449^{0,5} = 0,56 \text{ м}$$

Если в состав простого участка трубы входит местное сопротивление, депрессия которого определяется по формуле [2]

$$h_{м.с.} = \xi \rho U^2 / 2 ,$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления, то суммарная стоимость затрат электроэнергии вентилятором на продвижение МВС на участке, включающем местное сопротивление в течение года в сумме со стоимостью амортизации и ремонта трубы в течение того же времени, будет определяться по формуле

$$W = \frac{Q}{1000\eta_e} \left[(4\alpha L D^{-1} U^2 + 0,5\xi \rho U^2) T C \right] + 0,01 r L (b_0 + b_1 D + b_2 D^2) \quad (3)$$

После исключения из формулы диаметра трубы согласно (2) и замены Q и α формула (3) примет вид

$$W = \frac{Q}{1000\eta_e \rho_{cp}} \left[\left(2,12\beta L (\rho_{cp} U M^{-1})^{0,5} + 0,5\xi \rho_{cp} U^2 \right) T C \right] + 0,01 r L (b_0 + b_1 D + b_2 D^2)$$

где M – массовый расход воздуха, кг/с; ($M = Q\rho_{cp}$).

Ушаков К.З. [2] считает, что если $\rho = var$, то расчет следует производить по массовому расходу воздуха в трубопроводе, который в соответствии с законом сохранения массы постоянен.

При решении уравнения, находим оптимальную скорость на участке трубы, включающей местное сопротивление

$$\frac{dW}{dU} = \frac{MTC}{1000\eta_e \rho_{cp}} \left(5,3\beta L (\rho_{cp} M^{-1})^{0,5} U^{1,5} + \xi \rho_{cp} U \right) + 0,01 r L (b_1 + 2b_2 D) = 0 . \quad (4)$$

Принимая ранее принятые исходные данные, а также $\rho_{cp} = 1,3$, $M = 0,6 \cdot 1,3$, $\xi = 0,7$ оптимальная скорость на участке будет $U_{opt} = 2,318$ м/с.

При определении оптимального диаметра простого участка трубы стоимость затраченной электроэнергии и амортизации с ремонтом трубы за год определяется по формуле (1).

Используя закон непрерывности, скорость воздуха в формуле (1) определяется выражением

$$U = 4Q / \pi D^2 = 1,27 Q / D^2 .$$

Годовые затраты на электроэнергию, амортизацию и ремонт участка трубы находится из уравнения

$$W = \frac{Q}{1000\eta_6} [3,87\beta L Q^2 D^{-5} TC] + 0,01rL(b_0 + b_1 D + b_2 D^2).$$

Оптимальный диаметр определяется при решении уравнения

$$\frac{dW}{dD} = \frac{5 \cdot 0,00387 Q^3 \beta}{\eta_6 D^6} TC + 0,01r(2b_2 D + b_1) = 0.$$

Величина оптимального диаметра при заданных исходных данных будет $D_{opt} = 0,37$ м.

При наличии местного сопротивления суммарные затраты определяются уравнением

$$W = \frac{QTC}{1000\eta_6} (2,48\alpha L Q^2 D^{-5} + 0,31\xi_p Q^2 D^{-4}) + 0,01rL(b_0 + b_1 D + b_2 D^2)$$

Оптимальное значение диаметра определяется при решении уравнения

$$\frac{dW}{dD} = \frac{Q}{1000\eta_6} [(-5 \cdot 3,87\beta L Q^2 D^{-6} - 4 \cdot 0,80\xi_p Q^2 D^{-5}) TC] + 0,01rL(2b_2 D + b_1) = 0$$

При заданных данных $D_{opt} = 0,732$ м.

Определяем оптимальную величину аэродинамического сопротивления 1 пог. м участка трубы.

Аэродинамическое сопротивление 1 пог. м трубы определяется формулой

$$R = 6,48\alpha/D^5 = 3,9\beta/D^5.$$

Диаметр трубы

$$D = \frac{1,31\beta^{0,2}}{R^{0,2}},$$

Подставляем в формулу (4) вместо диаметра и скорости движения воздуха расход воздуха и аэродинамические сопротивления.

Получим уравнение

$$W_1 = \frac{Q^3 TC}{1000 \eta_6} \left[\frac{2,4\beta \cdot 1,27^2}{\left(\frac{1,31\beta^{0,2}}{R^{0,2}}\right)^5} + \frac{0,5 \cdot 1,27^2 \xi_{\Phi}}{\left(\frac{1,31\beta^{0,2}}{R^{0,2}}\right)^4} \right] + 0,01rL \times \\ \times \left(b_0 + b_1 \left(\frac{1,31\beta^{0,2}}{R^{0,2}}\right) + b_2 \left(\frac{1,31\beta^{0,2}}{R^{0,2}}\right)^2 \right).$$

При решении уравнения, находим оптимальное аэродинамическое сопротивление 1 пог. м участка трубы

$$\frac{dW}{dD} = \frac{Q^3 TC}{1000 \eta_6} \left[\left[2,4 \cdot 1,27^2 / 1,31^5 \right] + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 1,27^2 \xi_{\Phi} R^{-0,2} / (1,31^4 \beta^{0,8}) \right] + \\ + 0,01rL \left(-0,4b_2 1,31^2 \beta^{0,4} R^{-0,6} - 0,2b_1 1,31 \beta^{0,2} R^{-0,8} \right) = 0.$$

При принятых исходных данных оптимальная величина аэродинамического сопротивления 1 пог. м участка трубы $R_{opt} = 122,5 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8$.

Количество воздуха выпускаемого (засасываемого) воздуха (МВС) в местах фланцевого соединения можно обозначить через q_1, q_2, \dots, q_n и Q_0 – количество воздуха (МВС) в начальном (конечном) сечении трубопровода.

Количество воздуха (МВС), проходящее на каждом из участков будет равно: участок первый Q_0 , участок второй $(Q_0 + q_1)$, участок третий $(Q_0 + q_1 + q_2)$, участок $n - (Q_0 + \sum_{i=1}^{n-1} q_i)$.

Длины участков обозначаются через L_1, L_2, \dots, L_n . Общее сопротивление сети равно сумме сопротивлений всех участков

$$H_0 = H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n = \sum_{i=1}^{n-1} H_i.$$

Стоимость воздухопровода равна сумме стоимости всех участков сети.

Стоимость ежегодных затрат для установки находится из выражения

$$W_{эл.} = \left(Q_0 + \sum_{i=1}^{n-1} q_i \right) H_i \frac{TC}{1000\eta} + 0,01rL_T n_y (b_2 D^2 + b_1 D + b_0),$$

где $Q_0 + \sum_{i=1}^{n-1} q_i$ – производительность установки, м³/с;

$\sum_{i=1}^n H_i$ – потери давления в сети, Па;

n_y – количество участков трубопровода.

Разработанная методика может быть использована при расчетах неразветвленных газопроводов. К ним относятся воздухопроводы местного проветривания тупиковых выработок, изолированного отвода МВС из тупика вентиляционной выработки и другие. В них выпуск или всасывание воздуха происходит в местах фланцевого соединения звеньев трубопровода по всей длине трубы. Расчет может вестись при постоянном сечении трубопровода по всей длине.

Материалы статьи рекомендуются проектным организациям для использования при проектировании шахтных вентиляционных систем, а также для вентиляционных расчетов на действующих шахтах при реконструкции систем изолированного отвода метана.

Библиографический список

1. Кременчуцкий Н. Ф., Муха О. А. *Определение оптимального диаметра дегазационного трубопровода при одновременном учете стоимости труб газопровода и расходуемой вакуум-насосом электроэнергии // Научн. тр. НГА Украины. – 2002. – № 13. – С. 212-218.*
2. *Аэрология горных предприятий / Ушаков К. З., Бурчаков А. С., Пучков Л. А., Медведев И.И. М.: – Недра, 1987. – 421 с.*
3. Лобаев Б.Н. *Расчет воздухопроводов. – К.: Госстройиздат, 1959. – 183 с.*