

дов по производству свинца и цинка, энергопотребление возрастает на 50-60 МВт, что потребует строительства дополнительных ВЛ-220 кВ, новой понизительной ПС и реконструкции существующих подстанций каскада до источников электроэнергии.

Список литературы

1. Технический проект строительства обогатительной фабрики на 4 млн тонн руды в год.
- Алма-Ата. Казмеханобр, 1986.

Получено 07.07.10

УДК 622.234:622.251(075)

Т.М. Кумыкова, В.Х. Кумыков
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРУБ ШАХТНОЙ ПНЕВМОСЕТИ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В результате анализа состояния теории и практики эксплуатации пневмоэнергокомплекса подземного рудника выявлено отсутствие данных, характеризующих гидравлические закономерности в полимерных трубах применительно к технике снабжения сжатым воздухом потребителей с пневмоприводом. Выявление и учет этих закономерностей при проектировании, строительстве и эксплуатации трубопроводов даст возможность улучшить работу последних.

В результате изучения современного состояния вопроса о гидравлическом расчете труб применительно к шахтным пневмосетям автор поставил перед собой цель: сопоставить основные гидравлические закономерности турбулентного потока сжатого воздуха в трубах из традиционных материалов (стали) и относительно новых перспективных материалов (полимеров) [1].

Объективная оценка гидравлических характеристик труб и надежные рекомендации по их расчету могут быть даны лишь в результате исследований пропускной способности труб, увязанной с характеристикой их внутренней поверхности, которая определяется как материалом и способом изготовления труб, так и продолжительностью их эксплуатации.

Разработанная математическая модель движения сжатого воздуха на участке шахтной пневмосети позволила установить взаимосвязь основных параметров сжатого воздуха (давления, скорости движения, расхода) с геометрическими параметрами трубопровода, такими, как площадь поперечного сечения трубы, а также выявить влияние коэффициента гидравлических сопротивлений на параметры сети в зависимости от относительной шероховатости внутренней поверхности труб.

На основе математической модели, анализа существующих методов расчета шахтных пневматических сетей и результатов обследования пневмосетей Тишинского (г. Риддер) и Иртышского (п. Глубокое) рудников в целях их оптимизации разработана методика гидравлического расчета труб шахтной пневмосети из различных материалов.

Основой предложенной методики послужили теоретические предпосылки и практические разработки известных ученых в области оптимизации гидро- и пневмосетей.

При этом устанавливаются значения трех основных характеристик:

- возможные потери давления;
- пропускная способность труб заданного диаметра при известной разности давлений;

– диаметр труб, обеспечивающий заданный расход воздуха.

Для вычисления значений указанных величин необходимо установить коэффициент гидравлического трения λ , который зависит от двух безразмерных параметров: числа Рейнольдса и относительной шероховатости трубопровода $\varepsilon = k_s / D$.

Известно множество формул для определения коэффициента гидравлического сопротивления. Все они являются эмпирическими и полуэмпирическими, полученными на основе обработки результатов экспериментов. При расчетах рудничных пневмосетей из стальных трубопроводов хорошо зарекомендовала себя зависимость

$$\lambda = \frac{0,016}{D^{0,3}} . \quad (1)$$

Достоверность результатов, полученных с применением формулы (1), подтверждается практическими данными. Поэтому для определения гидравлических сопротивлений в металлическом трубопроводе воспользуемся ею как наиболее простой и наилучшим образом отвечающей современному уровню теории турбулентного движения и опытным данным в шахтных воздухопроводах.

М.М. Сапожниковым были проведены исследования турбулентного движения в трубах из различных материалов, в частности полимерных, для систем водоснабжения [2]. Эксперименты подтвердили выводы опытов Никурадзе [3], что при уменьшении относительной шероховатости увеличение коэффициента гидравлического сопротивления замедляется и даже падает при очень малых значениях относительной шероховатости, т.е. коэффициент гидравлического трения полимерных труб практически соответствует λ для гладких труб и его значения изменяются по уравнению

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} . \quad (2)$$

Установим закономерности изменения коэффициента Дарси полимерных труб на основе этой аналитической зависимости применительно к условиям шахтной пневмосети.

Число Рейнольдса зависит от кинематической вязкости воздуха, представляющей собой отношение динамического коэффициента вязкости μ к плотности вещества (в данном случае к средней плотности воздуха ρ_{cp} на участке трубопровода).

Динамический коэффициент вязкости почти не зависит от давления, но на него большое влияние оказывает изменение температуры [4].

$$\mu = \mu_0 \cdot \frac{273 + C}{T_{cp} + C} \cdot \left(\frac{T_{cp}}{273} \right)^{3/2} , \quad (3)$$

где $\mu_0 = 1,71 \cdot 10^{-5}$ Па·с – коэффициент вязкости воздуха при $T = 273 K (0^{\circ}C)$;

$C = 117$ – постоянная Сатерленда;

T_{cp} – средняя температура воздуха на участке трубопровода $T_{cp} = 293 K (20^{\circ}C)$.

$$\mu = 1,71 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{273 + 117}{293 + 117} \cdot \left(\frac{293}{273} \right)^{3/2} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Средняя скорость потока по отношению к одним точкам поперечного сечения трубы будет больше, к другим – меньше. Из этого следует, что средняя скорость потока есть частное от деления расхода потока на площадь поперечного его сечения (живого сечения трубы).

Тогда скорость движения воздуха ϑ (м/с)

$$\vartheta = \frac{4 \cdot Q_{cж}}{\pi \cdot D^2} , \quad (4)$$

где $Q_{сж}$ - объемный расход сжатого воздуха по участку трубопровода, м³/с.

Для приведения величины $Q_{сж}$ к объемному расходу свободного воздуха воспользуемся зависимостью

$$Q_{сж} = \frac{\rho_0}{\rho_{cp}} \cdot Q, \quad (5)$$

где $\rho_0 = 1,293$ – плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м³;

Q - объемный расход воздуха при нормальных условиях, м³/с (так называемый расход свободного воздуха).

Таким образом, число Рейнольдса для воздуха в шахтной пневмосети определится из выражения

$$Re = 91507 \frac{Q}{D}.$$

Тогда из зависимости (2) коэффициент гидравлического сопротивления для полимерных труб λ_n

$$\lambda_n = 0,018 \cdot \sqrt[4]{\frac{D}{Q}}, \quad (6)$$

а для металлических труб коэффициент Дарси λ_m определяется зависимостью (1).

Установив значения коэффициента гидравлического трения для металлических и полимерных труб, рассчитаем потери давления в трубах, изготовленных из этих материалов.

Для решения поставленной задачи воспользуемся формулой потерь напора ΔP (МПа) в воздухопроводных сетях, преобразовав ее на основе приведенных ранее зависимостей

$$\Delta P = \frac{8 \cdot 10^{-6} \cdot \lambda \cdot \ell \cdot \rho_0^2 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot \rho_{cp} \cdot D^5}, \quad (7)$$

средняя плотность сжатого воздуха на участке с достаточной степенью точности может быть определена как

$$\rho_{cp} = \frac{P_h + P_k + 2P_a}{2P_a} \cdot \rho_0, \quad (8)$$

где P_a - атмосферное давление, МПа ($P_a = 101325$ Па $\approx 0,1$ МПа);

P_h – избыточное давление сжатого воздуха в начале участка, МПа;

P_k – избыточное давление сжатого воздуха в конце участка, МПа.

Подставив (8) в (7), получим

$$\Delta P = \frac{16 \cdot 10^{-6} \cdot \lambda \cdot \ell \cdot \rho_0 \cdot Q^2 \cdot P_a}{\pi^2 \cdot D^5 \cdot (P_h + P_k + 2P_a)}, \quad (9)$$

Подставив (1) в (9), получим потери давления в металлическом трубопроводе

$$\Delta P = \frac{0,256 \cdot 10^{-6} \cdot \ell \cdot \rho_0 \cdot Q^2 \cdot P_a}{\pi^2 \cdot D^{5,3} \cdot (P_h + P_k + 2P_a)}. \quad (10)$$

Подставив (6) в (9), получим потери давления в полимерном трубопроводе

$$\Delta P = \frac{0,288 \cdot 10^{-6} \cdot \ell \cdot \rho_0 \cdot Q^{1,75} \cdot P_a}{\pi^2 \cdot D^{4,75} \cdot (P_h + P_k + 2P_a)}. \quad (11)$$

При применении труб из любых материалов необходимо решать две задачи:

– задача синтеза (проектирования) рудничной пневматической системы;

– задача анализа режима работы рудничной пневматической системы.

В первом случае необходимо определить диаметры участков пневмосети при заданных расходах по участкам сети и давлениям в узловых точках.

В задачу анализа входит определение потерь давления на участках сети при заданных расходах воздуха и диаметрах трубопроводов.

При анализе режима работы рудничных пневматических сетей определяют обычно давление сжатого воздуха в начале участка. Для этого необходимо определить диаметр участка, расход сжатого воздуха на нем и давление в конце участка пневмосети.

Подставив постоянные величины, из (10) получим зависимости, позволяющие установить диаметры труб участков пневмосети из металлических труб

$$D_m = \left(\frac{3,35 \cdot 10^{-9} \cdot \ell \cdot Q^2}{(P_h + 0,1)^2 - (P_k + 0,1)^2} \right)^{0,19} \quad (12)$$

и давление сжатого воздуха в начале участка пневмосети

$$P_{h_m} = \sqrt{\frac{3,35 \cdot 10^{-9} \cdot \ell \cdot Q^2}{D^{5,3}} + (P_k + 0,1)^2} - 0,1 \quad (13)$$

Подставив постоянные величины, из (11) получим зависимости, позволяющие установить диаметры труб участков пневмосети из полимерных труб

$$D_n = \left(\frac{3,78 \cdot 10^{-9} \cdot \ell \cdot Q^{1,75}}{(P_h + 0,1)^2 - (P_k + 0,1)^2} \right)^{0,21} \quad (14)$$

и давление сжатого воздуха в начале участка пневмосети

$$P_{h_n} = \sqrt{\frac{3,78 \cdot 10^{-9} \cdot \ell \cdot Q^{1,75}}{D^{4,75}} + (P_k + 0,1)^2} - 0,1. \quad (15)$$

Разработанные основы методики гидравлического расчета труб шахтной пневмосети из различных материалов позволяют выявить рациональность замены применяемых традиционно стальных труб на трубы из полимерных материалов, снижающих металлоемкость пневматической сети и трудоемкость работ при ее монтаже.

Список литературы

1. Кумыкова Т.М. Некоторые закономерности движения потока воздуха в пневмосети подземных рудников из различных материалов // Проблемы комплексного освоения рудных и нерудных месторождений Восточно-Казахстанского региона: Материалы I Междунар. НТК (15-16 мая 2001 г.). - Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2001.- С. 124-126.
2. Сапожников М.М. Гидравлические закономерности турбулентного движения в трубах из различных материалов. - М.: Стройиздат, 1964. - 191 с.
3. Бай Ши-И. Турбулентное течение жидкостей и газов / Пер. с англ. М.Г. Морозова / Под ред. К.Д. Воскресенского. - М.: Иностранная литература, 1962. - 344 с.
4. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача: Учебник для неэнергетич. спец. втузов. - М.: Высшая школа, 1988. - 479 с.: ил.

Получено 5.07.10

УДК 543.272.6/68:669.536

М. Ю. Лопаткова, Н.Г. Серба, Т.А. Свиридова
ВКГУ им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕРОДА В ЦИНКОВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

Для металлургической и горно-перерабатывающей промышленности характерно зна-