

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ АЭРОМЕХАНИКИ ГИБКОГО ДЕФОРМИРУЕМОГО ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА

С. П. Казаков, Б. А. Гриценко

Новокузнецкий институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Кемеровский государственный университет»
bgnkfi@gmail.com

Гибкий шахтовый вентиляционный трубопровод предназначен для начального проветривания подготовительных выработок угольных шахт. Он состоит из двадцатиметровых звеньев, изготовленных из гибкого деформируемого материала с продольными швами и оборудованных концевыми металлическими кольцами. Концевые элементы вставляются один в другой и закрепляются бандажем. Швы и стыки допускают утечки воздуха, подчиняющиеся квадратичному движению. Деформируемость тела труб изменяют его аэродинамические сопротивления по длине [1]. Решение задачи аэродинамики такого трубопровода является актуальной.

Дифференциальное уравнение, определяющее закономерность движения воздуха по трубопроводу базируется на использовании уравнения Бернулли, составленного для условной трубки тока, учете деформируемости тела труб, утечек воздуха через швы и стыки, его дифференцировании и приведении к безразмерному виду. Уравнение принимает вид

$$2 \frac{dy}{dt} \frac{d^2 y}{dt^2} \approx \frac{\beta y}{(1 + \alpha y^2)^5}. \quad (1)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$$y = Q / Q_0, \quad t = x / L,$$

где L – длина трубопровода, м;

x – расстояние от конца трубопровода до забоя, м;

Q_0 – расход воздуха у забоя, м³/с;

Q – расход воздуха в выработке, м³/с.

Параметры α и β являются безразмерными величинами и определяются по формулам [2]

$$\alpha = (1 - \nu) \frac{d_0 r_0 Q_0^2 L}{4 E \delta}; \quad \beta = \frac{\pi d_0 l_{зв} r_0 L^3}{r_{cm}}$$

где r_0 – удельное аэродинамическое сопротивление трубопровода, кг·с²/м⁹;

d_0 – диаметр труб, м;

$l_{зв}$ – длина звена трубопровода, м;

r_{cm} – коэффициент сопротивления путей утечек воздуха в стыке трубопровода и по телу звена трубы, кг·с²/м⁴;

E – модуль Юнга трубной ткани, кг/м²;

δ – толщина стенок труб, м;

ν – коэффициент Пуассона для трубного материала.

Начальные условия для решения этого уравнения $y(0) = 1, \frac{dy}{dt} \Big|_0 = 0$.

Его приближенное решение имеет вид

$$K_{ym}(L) = [1 + 0,33\sqrt{\beta}]^3. \quad (1)$$

Падение давления по длине трубопровода описывается формулой

$$p_{mp} = \frac{6,5\psi}{d^5} L Q_0^2 K_{ym}^{1,25} e^{\alpha^{2\beta}}, \quad (2)$$

где ψ - коэффициент аэродинамического сопротивления материала труб, $\text{кг}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$.

На рисунке 1 показана зависимость коэффициента утечек от длины выработки

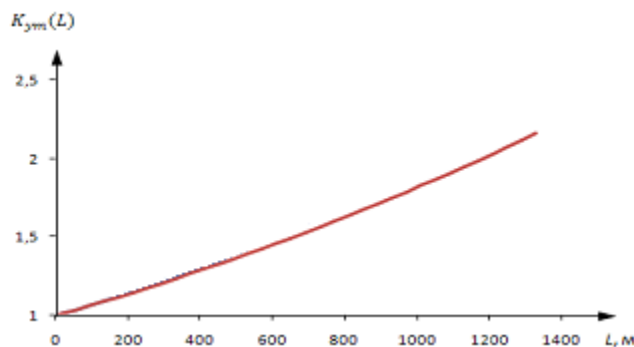


Рисунок 1 – Зависимость $K_{ym}(L)$

На рисунке 2 приведены зависимости $R_{mp}(d, L)$ при усредненных значениях аэродинамических параметров вентиляционных трубопроводов для произвольного d

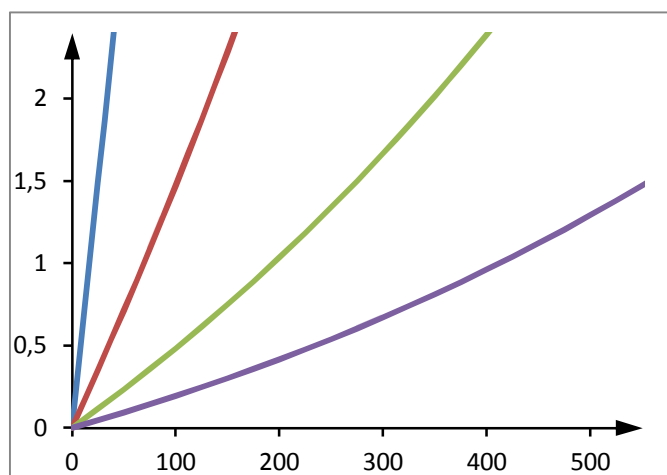


Рисунок 2 – Аэродинамические сопротивления вентиляционных трубопроводов

Полученные соотношения (1) и (2) позволяют осуществить идентификацию аэродинамических и механических параметров трубопроводов, а также позволят выбрать ВМП для проветривания подготовительной выработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мясников А.А., Казаков С.П. Проветривание подготовительных выработок при проходке комбайнами. М.-Недра. 1980, 279 с.
2. Казаков С.П. Расчет системы «Вентилятор-трубопровод» для современных средств проветривания подготовительных выработок шахт. / Казаков С.П., Гриценко Б.А., К.Х. Ли и другие: Кемерово, Вестник НЦ ВОСТНИИ, №2, 2012.
3. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт, Донбасс-Макеевка, 1989 г.