

УДК 621.63:622.271

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБКИХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ ТУПИКОВЫХ ЗАБОЕВ

Руденко В. А., канд. техн. наук, КБ «Аэровент»,
Гордиенко Ю.А., канд. техн. наук, доц., Кондрахин П.В.,
аспирант, Донецкий национальный технический университет

Рассмотрен вопрос о представлении характеристики гибкого неплотного вентиляционного трубопровода в аналитическом виде

Analytical representation of leaky flexible ventilation duct characteristic is described

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Рост энерговооруженности и производительности проходческого оборудования обеспечил существенное повышение темпов проходки подготовительных и вскрывающих выработок. Так, опыт эксплуатации наиболее современных проходческих комбайнов (П110, П220, КПД) показал, что скорость проведения выработок возросла до 100-110 м/месяц по сравнению со средними по отрасли показателями 70-80 м/месяц [1]. Вместе с тем, основным фактором, сдерживающим дальнейший рост производительности и безопасности проходческих работ, является вентиляция. Особенно остро проблема обеспечения эффективной и экономичной вентиляции встает при проведении выработок длиной свыше 1 км на глубинах свыше 500 м. В этом случае, на фоне существенного ухудшения температурного и газового режима в выработке, уровень утечек из гибких трубопроводов достигает значительных величин, что снижает эффективность вентиляции призабойного пространства тупиковой выработки.

В настоящее время возникла необходимость в разработке ряда новых вентиляторов местного проветривания (ВМП), расчетные параметры которых (подача и давление в зоне максимума КПД) позволили бы обеспечить эффективную вентиляцию протяженных тупиковых забоев. Оптимальный выбор расчетных параметров ВМП необходимо проводить на основе полей вентиляционных режимов, характерных для тупиковых забоев оснащенных гибкими вентиляционными трубопроводами.

Таким образом, построение полей вентиляционных режимов, характерных для тупиковых выработок, является важной задачей.

Анализ исследований и публикаций.

Методика расчета характеристик гибких вентиляционных трубопроводов изложена в [2]. Предложенная методика позволяет рассчитать характеристику вентиляционного трубопровода, на основе значений коэффициентов утечек, заданных в табличном виде. Однако, предложенные значения коэффициентов утечек позволяют произвести расчет характеристик протяженных трубопроводов только для ограниченного диапазона подач вентилятора.

Постановка задачи.

Целью данной работы является выбор вида и вычисление коэффициентов аппроксимирующего уравнения для коэффициента утечек $\kappa_{y.mp}$. Критерием выбора вида уравнения является минимум среднеарифметического значения относительной погрешности аппроксимации. Представление коэффициента утечек в аналитическом виде позволит рассчитать значения депрессии трубопроводов для диапазона подач и длин, характерных при работе осевых ВМП.

Изложение материала и результаты.

Согласно [2], депрессия гибкого трубопровода с учетом утечек рассчитывается по формуле:

$$h_s = Q_s^2 R_{mp.z} \left(\frac{0,59}{\kappa_{y.mp}} + 0,41 \right)^2 \quad (1)$$

где $R_{mp.z}$ - аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода без учета утечек;

$$R_{mp.z} = r_{mp}(l_{mp} + 20d_{mp}n_1 + 10d_{mp}n_2) \quad (2)$$

здесь r_{mp} - удельное аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода без утечек, кц/м;

l_{mp} - длина трубопровода, м;

d_{mp} - диаметр трубопровода, м;

n_1, n_2 - число поворотов трубопроводов на 90° и 45° соответственно;

$\kappa_{y.mp}$ - коэффициент утечек воздуха. Значения коэффициента утечек воздуха в зависимости от расхода воздуха у забоя Q_3 и длины трубопровода l_{mp} приведены в таблице 1 [2].

Q_s - подача вентилятора, м³/с;

$$Q_s = Q_3 \cdot \kappa_{y.mp} \quad (3)$$

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта утечек $k_{y,mp}$ для трубопровода діаметром 1 м

		$k_{y,mp}$ при довжині трубопровода l_{mp} , м									
		50	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	2000
Расход воздуха в забое, Q_3 м ³ /с	1	1	1,03	1,09	1,17	1,27	1,4	1,55	1,72	1,92	2,42
	2	1	1,03	1,1	1,19	1,3	1,45	1,62	1,84	2,09	2,75
	3	1	1,03	1,1	1,2	1,33	1,5	1,71	1,96	2,27	3,13
	4	1	1,04	1,11	1,22	1,36	1,55	1,79	2,09	2,48	3,56
	5	1	1,04	1,12	1,23	1,39	1,61	1,88	2,24	2,69	
	6	1	1,04	1,12	1,25	1,43	1,66	1,98	2,39	2,93	
	7	1	1,04	1,13	1,27	1,46	1,72	2,08	2,55		
	8	1	1,04	1,14	1,28	1,49	1,78	2,18			
	9	1	1,04	1,14	1,3	1,53	1,84	2,29			
	10	1	1,04	1,15	1,31	1,56	1,91				

На рисунку 1 представлені розрахункові точки і побудовані по ним характеристики трубопроводів з $d_{mp} = 1$ м і $l_{mp} = 100, 500, 1400$ і 2000 м.

Як видно з рисунка 1, значення депресії h_b , розраховані по формулі (1) і табличним значенням $k_{y,mp}$, отримані для обмеженого діапазона подач.

Для побудови характеристик трубопровода для більш широкого діапазона подач, проведемо апроксимацію значень коефіцієнта утечек $k_{y,mp}$. Згідно (2) $k_{y,mp}$ представляє собою функцію двох змінних l_{mp} і Q_3 . В якості рівнянь регресії приймаємо поліноми, відповідно 2-ої, 3-ої степені і поліном 3-ої степені без урахування похідних аргументів. Дані поліноми мають вигляд:

$$k_{y,mp} = a_0 + a_1 l_{mp} + a_2 Q_3 + a_3 l_{mp}^2 + a_4 Q_3^2 + a_5 Q_3 l_{mp} \quad (4)$$

$$k_{y,mp} = b_0 + b_1 l_{mp} + b_2 Q_3 + b_3 l_{mp}^2 + b_4 Q_3^2 + b_5 l_{mp}^3 + b_6 Q_3^3 + b_7 l_{mp} Q_3 + b_8 l_{mp} Q_3^2 + b_9 l_{mp}^2 Q_3 \quad (5)$$

$$k_{y,mp} = b_0 + b_1 l_{mp} + b_2 Q_3 + b_3 l_{mp}^2 + b_4 Q_3^2 + b_5 l_{mp}^3 + b_6 Q_3^3 \quad (6)$$

де a_i, b_i – коефіцієнти поліномів, відповідно 2-ої і 3-ої степеней.

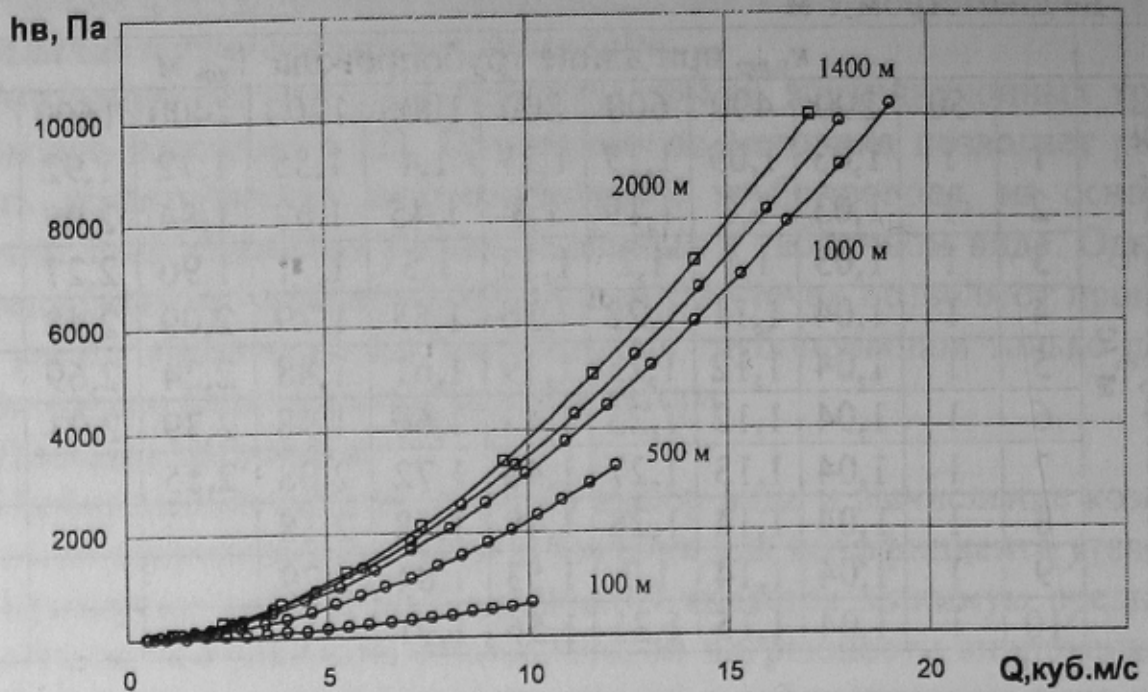


Рисунок 1 – Характеристики трубопровода діаметром 1 м

Результати аппроксимации для трубопровода с $d_{тр} = 1$ м, которыми являются значения коэффициентов a_i , b_i , приведены в таблице 2. Также в таблице 2 приведены максимальные значения относительной погрешности e_{max} и среднеарифметические значения относительной погрешности аппроксимации \bar{e} для каждого из полиномов, которые вычислялись по формуле:

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|k_{утр}(l_{тр}, Q_{з})_{табл i} - k_{утр}(l_{тр}, Q_{з})_i|}{k_{утр}(l_{тр}, Q_{з})_{табл i}}$$

где $k_{утр}(l_{тр}, Q_{з})_{табл i}$ — i -ое табличное значение коэффициента утечек;

n — число табличных значений коэффициента утечек;

$k_{утр}(l_{тр}, Q_{з})_i$ — расчетное значение коэффициента утечек, полученное по формулам (4)-(6).

По данным таблицы 2 можно сделать вывод, что наименьшие показатели e_{max} и \bar{e} имеют место при представлении коэффициента утечек в виде полинома 3-ей степени по формуле (3). Принимаем (5) в качестве уравнения для определения коэффициента утечек трубопровода заданного диаметра.

Таблица 2 – Значения коэффициентов полиномов, максимальных относительных погрешностей e_{max} и среднеарифметические значения относительной погрешности \bar{e}

Коэффициенты уравнений аппроксимации	Полином 2-ой степени (формула (2))	Полином 3-ей степени (формула (3))	Полином 3-ей степени (формула (4))
a_0, b_0	1,113	0,95	0,95
a_1, b_1	$-5,313 \cdot 10^{-4}$	$5,329 \cdot 10^{-4}$	$5,329 \cdot 10^{-4}$
a_2, b_2	$-3,704 \cdot 10^{-3}$	$3,863 \cdot 10^{-3}$	$3,863 \cdot 10^{-3}$
a_3, b_3	$6,117 \cdot 10^{-7}$	$-3,167 \cdot 10^{-7}$	$-3,167 \cdot 10^{-7}$
a_4, b_4	$-2,504 \cdot 10^{-3}$	$1,008 \cdot 10^{-3}$	$1,008 \cdot 10^{-3}$
a_5, b_5	$1,055 \cdot 10^{-4}$	$1,718 \cdot 10^{-10}$	$1,718 \cdot 10^{-10}$
b_6	-	$-5,218 \cdot 10^{-5}$	$-5,218 \cdot 10^{-5}$
b_7	-	$-7,459 \cdot 10^{-5}$	0
b_8	-	$4,569 \cdot 10^{-7}$	0
b_9	-	$1,197 \cdot 10^{-7}$	0
e_{max}	0.117 (11.7%)	0.031 (3.1%)	0.405 (40.5%)
\bar{e}	0.033 (3.3%)	0.0089 (0.89%)	0.115 (11.5%)

Подставив (2) и (3) в (1) и выполнив простейшие преобразования, получим:

$$h_v = Q_3^2 \cdot r_{mp} (l_{mp} + 20d_{mp}n_1 + 10d_{mp}n_2) (0,59 + 0,41 \cdot \kappa_{y_{mp}})^2 \quad (7)$$

Подставив (5) в (7), получим:

$$h_v = Q_3^2 \cdot r_{mp} (l_{mp} + 20d_{mp}n_1 + 10d_{mp}n_2) \cdot (0,59 + 0,41 \cdot (b_0 + b_1 l_{mp} + b_2 Q_3 + b_3 l_{mp}^2 + b_4 Q_3^2 + b_5 l_{mp}^3 + b_6 Q_3^3 + b_7 l_{mp} Q_3 + b_8 l_{mp} Q_3^2 + b_9 l_{mp}^2 Q_3))^2 \quad (8)$$

Как видно, данное выражение представляет собой характеристику трубопровода, которая для данного диаметра вентиляционной трубы зависит только от l_{mp} и Q_3 . Для расчета характеристики относительно Q_v , необходимо решать (8) совместно с (3).

Выводы и направление дальнейших исследований

По результатам данной работы можно сделать следующие выводы:

- Существующая методика расчета характеристик гибких вентиляционных трубопроводов не позволяет производить расчет для диапазона подач от 0 до 25 м³/с.

- Для обеспечения возможности расчета характеристик в диапазоне подач современных ВМП коэффициент утечек представлен в виде полиномиальной функции двух переменных, коэффициенты которой определялись путем аппроксимации имеющихся табличных значений для трубопровода диаметром 1 м.

- Анализ максимальных значений относительной погрешности e_{max} и среднеарифметических значений относительной погрешности аппроксимации \bar{e} показал, что наименьшие значения данных параметров имеют место при представлении $K_{y,mp}$ в виде полинома 3-ей степени по формуле (3).

- Предложена формула (8), которая представляет характеристику гибкого вентиляционного трубопровода заданного диаметра как функцию двух переменных - l_{mp} и Q_3 . Представление характеристики в таком виде удобно для построения и проведения анализа полей вентиляционных режимов, характерных для тупиковых выработок.

Дальнейшие исследования необходимо вести в следующих направлениях:

- Определить коэффициенты аппроксимации для трубопроводов диаметром 0,6 и 0,8 м. Трубопроводы данных диаметров широко применяются в настоящее время.

- Произвести построение полей вентиляционных режимов тупиковых забоев в диапазоне подач, характерных для современных ВМП.

- Произвести анализ полей режимов на основе статистических данных о количестве и длине проводимых в настоящее время выработок с целью определения расчетных параметров перспективных ВМП.

Список источников.

1. Мизин В. А. Анализ состояния и тенденции развития комбайновой проходки выработок. Уголь Украины №9, 2003 г.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Под ред. Г. П. Яковенко. - К. «Основа», 1994 г. -315 с. С. 82-96.