

УДК 621.63:622.271

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ВЕНТИЛЯТОР МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ – ГИБКИЙ НЕПЛОТНЫЙ ТРУБОПРОВОД»

Кондрахин П.В., аспирант.

Донецкий национальный технический университет

Предложена математическая модель системы «вентилятор местного проветривания (ВМП) - неплотный гибкий трубопровод», позволяющая проанализировать режимы работы ВМП и энергозатраты на проветривание тупиковых выработок при их проведении.

Mathematical model (MM) of "Local fan – flexible duct with leakages" system is represented.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Проветривание тупиковых выработок длиной свыше 1000 м является энергоемким процессом. Мощность двигателей современных ВМП, предназначенных для проветривания протяженных выработок, превышает 100 кВт. Таким образом, вопрос оценки эффективного расходования электроэнергии при вентиляции тупиковых выработок является актуальным в настоящее время. Существующие методы анализа [1], [2] не позволяют оценить энергозатраты и их эффективность. Поэтому актуальным вопросом является разработка ММ позволяющей провести анализ рабочих параметров и энергопотребления ВМП.

Анализ исследований и публикаций. Решение задачи моделирования вентиляционных систем тупиковых забоев «ВМП - гибкий неплотный трубопровод» приведено в [1]. Однако данная методика обладает рядом существенных недостатков. Во-первых, в данной методике предложено описывать аэродинамическую характеристику ВМП в виде квадратичной зависимости. Такое представление характеристики ВМП обладает простотой математического описания, но, вместе с тем, имеет недостаточную точность (погрешность достигает 10%). Во-вторых, методика [1] не позволяет получить количественную оценку затрат электроэнергии на проветривание тупиковых забоев подготовительных выработок за весь период их проведения. Эти оценки необходимы для оптимального проектирования ВМП, обеспечивающих минимальные энергозатраты на вентиляцию.

Постановка задачі. Целью данной работы является разработка математической модели (ММ) вентиляционной системы «ВМП – гибкий неплотный трубопровод». Данная ММ должна адекватно описывать аэродинамическую и мощностную характеристики ВМП, а также позволять определять параметры рабочего режима, такие как: подача, развиваемое давление, мощность и КПД ВМП и энергозатраты на проветривание. Реализация такой ММ позволит провести анализ рабочих режимов серийно выпускаемых ВМП с точки зрения эффективности и экономичности вентиляции и выявить особенности работы ВМП на неплотные трубопроводы изменяющейся длины.

Изложение материала и результаты. Как известно, рабочая характеристика вентилятора определяется точкой пересечения его характеристики с характеристикой вентиляционной сети. Для ВМП сетью является гибкий неплотный вентиляционный трубопровод, длина которого увеличивается по мере продвижения проходческого забоя. Таким образом, параметры рабочего режима ВМП являются решением системы уравнений при заданной длине трубопровода l :

$$\begin{cases} h_g = f(q_g, l) \\ h_g = g(q_g) \end{cases} \quad (1)$$

где $h_g = f(q_g, l)$ – уравнение характеристики гибкого неплотного трубопровода;

$h_g = g(q_g)$ – уравнение характеристики ВМП;

q_g – подача вентилятора, м³/с;

l – длина трубопровода, км;

Решением данной системы являются подача q и развиваемое давление h вентилятора при заданной длине трубопровода l . Определим вид уравнений системы (1).

Согласно действующему нормативному акту [2], характеристика гибкого вентиляционного трубопровода имеет вид:

$$h_g = q_g^2 R_{mp.z}(l) \left(\frac{0,59}{k_{y.mp}} + 0,41 \right)^2$$

где $k_{y.mp}$ – коэффициент утечек, заданный таблично. В работе [3] предложено описывать $k_{y.mp}$ в виде функции двух переменных l и Q_g (подача в конце трубопровода).

Используя подход, описанный в [3], представим $k_{y.mp}$ как функцию от q_g и l вида:

$$k_{y.mp} = a_7 + a_8 q_g + a_4 l + a_9 q_g^2 + a_3 l^2 + a_{10} q_g^3 + a_2 l^3 + a_5 q_g l + a_6 q_g^2 l + a_1 q_g l^2$$

где $a_1 - a_{10}$ – коэффициенты уравнения аппроксимации.

Таким образом, уравнение характеристики гибкого неплотного трубопровода системы (1) является функцией двух переменных $q_в$ и l и имеет вид:

$$h_в(q_в, l) = q_в^2 R_{мп.з}(l) \left(\frac{0,59}{\kappa_{у.мп.}} + 0,41 \right)^2$$

где:

$$\kappa_{у.мп.} = a_7 + a_8 \cdot q_в + a_4 \cdot l + a_9 \cdot q_в^2 + a_3 \cdot l^2 + a_{10} \cdot q_в^3 + a_2 \cdot l^3 + a_5 \cdot q_в \cdot l + a_6 \cdot q_в^2 \cdot l + a_1 \cdot q_в \cdot l^2 \quad (2)$$

Аэродинамическую и мощностную характеристики вентилятора представим в виде полиномов n -ой степени вида:

$$h_в = \sum_{i=1}^n b_i \cdot q_в^i \quad (3)$$

$$N_в = \sum_{i=1}^n c_i \cdot q_в^i \quad (4)$$

Коэффициенты полинома определяются из условия прохождения кривой полинома через узловые точки. Координаты узловых точек $(Q_в, P_в)$ и $(Q_в, N_в)$ определяются по графикам характеристик ВМП. Таким образом, аэродинамическая и мощностная характеристики ВМП представлены в виде полиномиальных функций степени n (причем, n равняется числу узловых точек) от подачи.

На рисунках 1 и 2 показаны аэродинамическая и мощностная характеристики вентилятора ВМЭ2-10 в виде графиков функций (2) и (3). Также на рисунке 1 показаны узловые точки.

Как видно из рисунков 1, 2 представление характеристик ВМП в виде (3) и (4) позволяет с высокой точностью задавать характеристики вентиляторов в аналитическом виде.

Таким образом, работа вентиляционной системы «ВМП – гибкий неплотный трубопровод» описывается системой, в которую входят уравнения (2) и (3).

Решение системы при заданной длине трубопровода l определит положение рабочей точки $(q_в^P, h_в^P)$.

Мощность, развиваемая двигателем ВМП при $q_в^P$ определяется выражением:

$$N_в(q_в^P) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot (q_в^P)^i$$

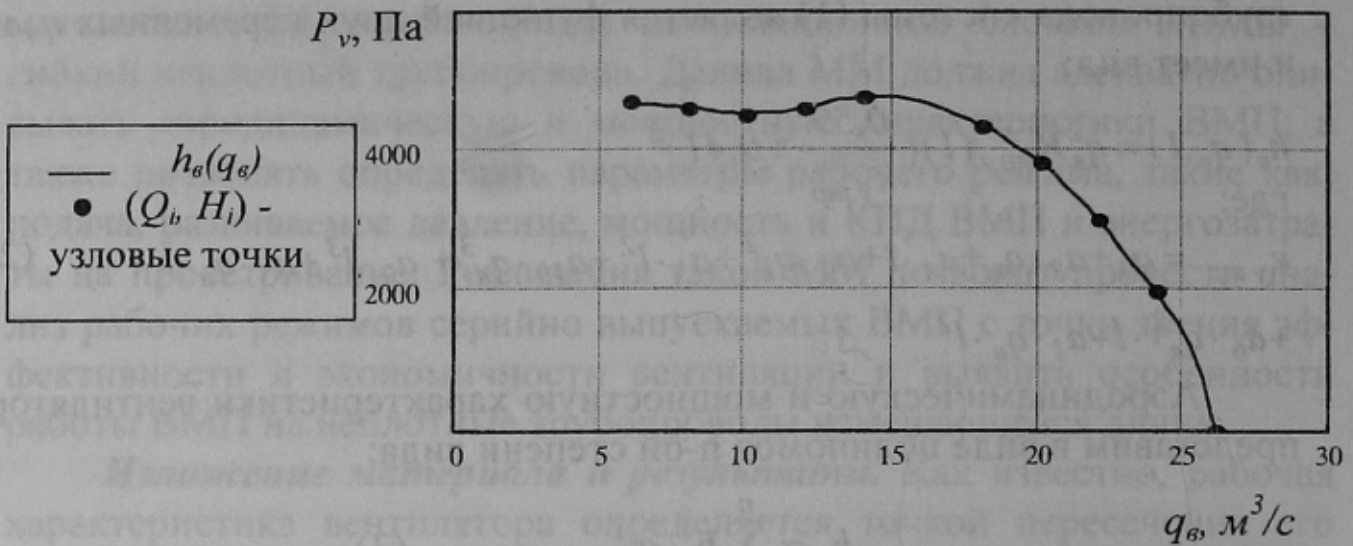


Рисунок 1 - Аэродинамические характеристики ВМЭ2-10, рассчитанные по формуле (3), и узловые точки

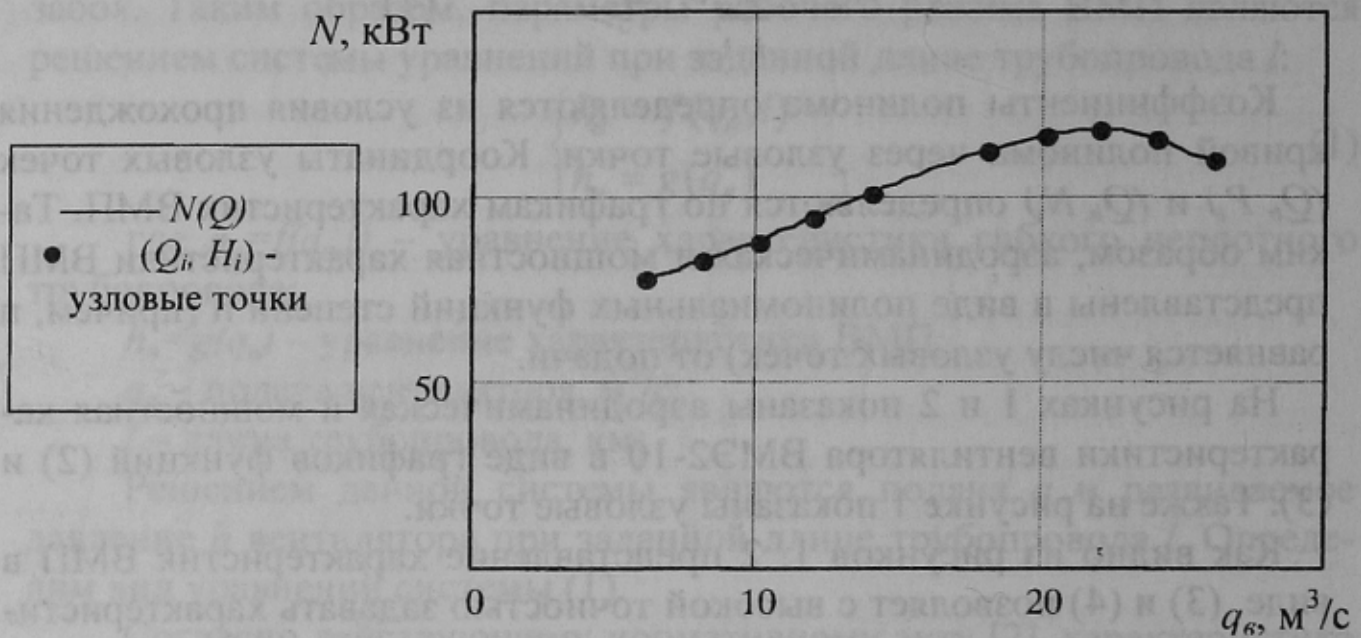


Рисунок 2 – Мощностные характеристики ВМЭ2-10, рассчитанные по формуле (4), и узловые точки

КПД ВМП при данных q_6^P и h_6^P определяется выражением:

$$\eta(q_6^P, h_6^P) = \frac{q_6^P \cdot h_6^P}{N(q_6^P)}$$

Расход воздуха в конце трубопровода (в забое):

$$Q_3 = \frac{q_B^p}{a_7 + a_8 q_B^p + a_4 l + a_9 (q_B^p)^2 + a_3 l^2 + a_{10} (q_B^p)^3 + a_2 l^3 + a_5 q_B^p l + a_6 (q_B^p)^2 l + a_1 q_B^p l^2}$$

По мере продвижения забоя, длина трубопровода дискретно увеличивается на длину Δl . Расход электроэнергии вентилятором за время, при котором длина, а, следовательно, и рабочий режим ВМП остается постоянным определяется выражением:

$$dE_i = N(q_B^p) \cdot \frac{\Delta l}{v}$$

где v – скорость проведения выработки, м/ч

Суммарные затраты электроэнергии на вентиляцию за время проведения выработки на всю проектную длину L_{max} определяются выражением:

$$E = \sum_{i=1}^{L_{max}-2} E_i$$

Приведенная выше ММ использована для моделирования проветривания тупиковой выработки максимальной длиной 2000 м при скорости проходки 100 м/мес. В качестве ВМП принят вентилятор ВМЭ2-10, трубопровод диаметром 1 м. На рисунке 3 приведен характер изменения основных рабочих параметров системы по мере продвижения проходческого забоя.

Как видно из рисунка 3, при длине трубопровода свыше 800 м работа данного ВМП характеризуется КПД менее 60 %. При этом потребляемая приводным электродвигателем мощность для диапазона длин трубопровода 800-2000 м составляет 85-95 кВт. Расход воздуха в забое, обеспечиваемый ВМЭ2-10, составляет 5-10 м³/с для диапазона длин 600-1400 м, менее 5 м³/с при длине трубопровода свыше 1400 м

На рисунке 4 показан график потребления электроэнергии вентилятором ВМЭ2-10. Как видно, зависимость $E(l)$ близка к линейной, причем угловой коэффициент зависит от скорости проходки. Затраты электроэнергии на вентиляцию при максимальной длине выработки 2000 м и скорости проходки 100 м/мес превышают $1.4 \cdot 10^6$ кВт·ч

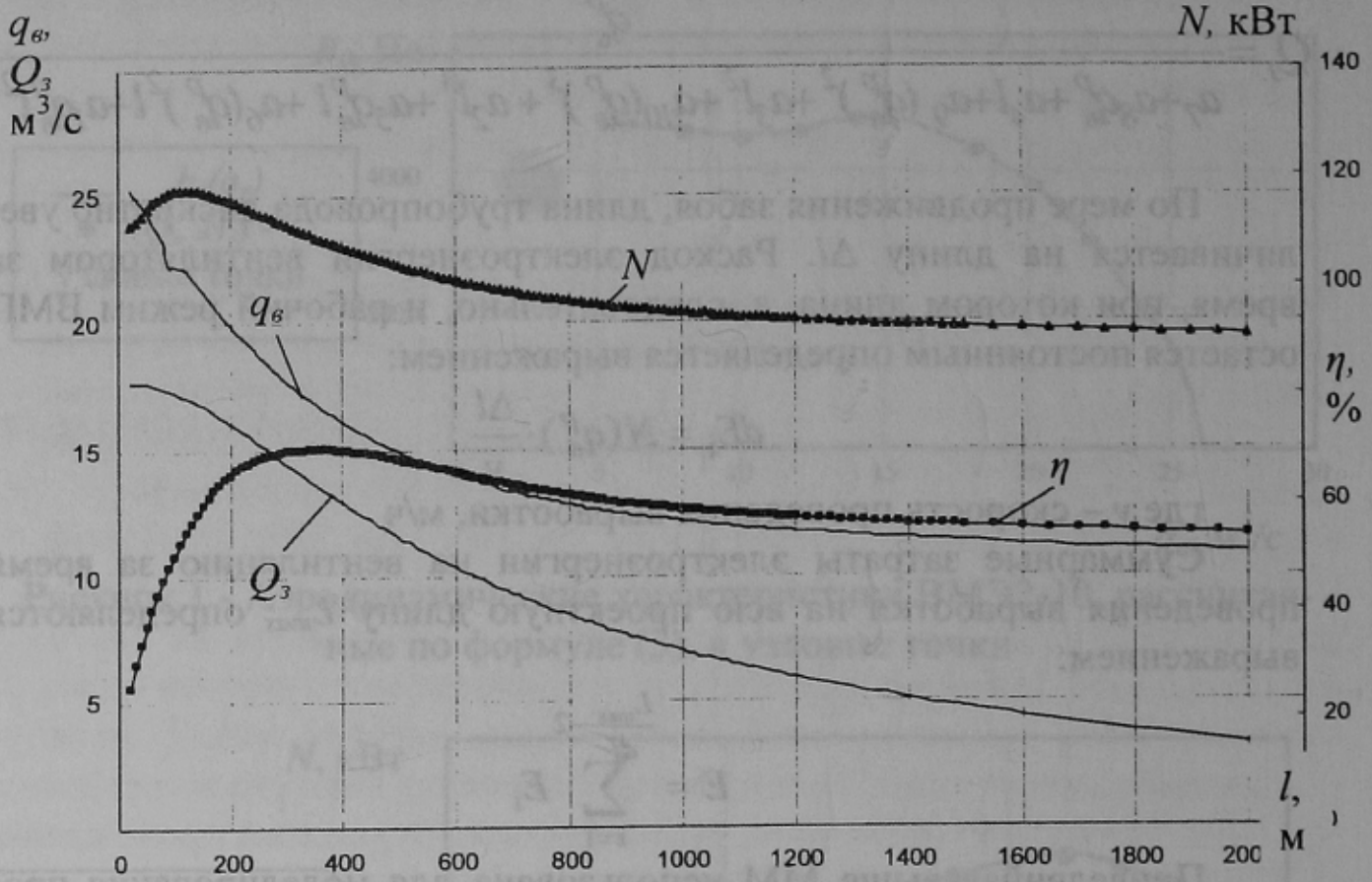


Рисунок 3 – Результати моделювання зміни основних робочих параметрів вентиляційної системи «ВМЭ2-10 – трубопровід діаметром 1 м»

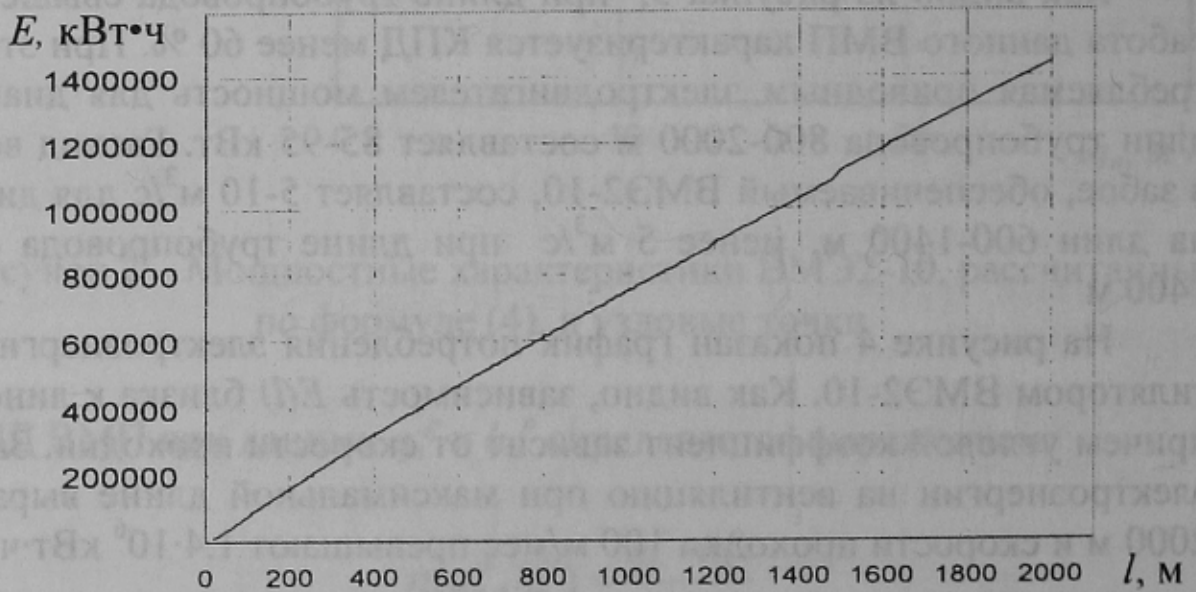


Рисунок 4 – Потребление електроенергії вентилятором ВМЭ2-10

Выводы и направление дальнейших исследований

По результатам данной работы можно сделать следующие выводы:

- Разработана и реализована в виде компьютерной программы математическая модель вентиляционной системы «ВМП – гибкий вентиляционный трубопровод». Рабочий режим системы определяется численным решением системы нелинейных уравнений, описывающих характеристики неплотного трубопровода и ВМП. Данная ММ позволяет определять такие параметры рабочего режима системы, как подача, давление, мощность, расход электроэнергии и КПД вентилятора, а также подачу воздуха в конце трубопровода (в забой) для заданной длины трубопровода.

- С помощью разработанной программы проведен расчет и анализ параметров рабочих режимов ВМП ВМЭ2-10. Анализ показал, что для диапазона длин 800-2000 м работа ВМП характеризуется не достаточно высоким КПД – менее 60%, при этом потребляемая мощность составляет 85 – 95 кВт. Расчет энергопотребления показал, что для вентиляции выработки длиной 2000 м при скорости проходки 100 м/мес расход электроэнергии составит $4 \cdot 10^6$ кВт·ч.

Список источников.

1. Мясников А. А., Казаков С. П. Проветривание подготовительных выработок при проходке комбайнами. – М.: Недра, 1981 г. -269 с. С. 137-141.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Под ред. Г. П. Яковенко. - К. «Основа», 1994 г. -315 с. С. 82-96.
3. Руденко В. А., Гордиенко Ю. А., Кондрахин П. В. Аналитическое представление характеристик гибких вентиляционных трубопроводов, предназначенных для проветривания типовых забоев// Зб. наук. праць. ДонНТУ. Серія: гірничо електромеханічна. Вип. 99. Донецьк, -2005. –С. 189-194.