

© О.В. Безщасний<sup>1</sup>. О.В. Столбченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРАХУНКУ ПРОМИСЛОВОЇ МЕХАНІЧНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ

© O. Bezshhasnyj<sup>1</sup>, O. Stolbchenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## SOFTWARE CALCULATION OF INDUSTRIAL MECHANICAL VENTILATION

**Метою роботи** є створення алгоритму оперативного розрахунку і планування вентиляційних систем діючих шахт для науково обґрунтованого вибору варіантів розвитку шахтної вентиляційної мережі і заходів щодо поліпшення провітрювання шахти.

**Методи дослідження.** Наведено опис програми VentProm, яка призначена для створення, поповнення та коригування бази даних аеродинамічних і енергетичних характеристик промислових вентиляторів, вибору і визначення їх фактичних режимів роботи.

Рішення завдань виконується в віконних формах, перехід між якими здійснюється за допомоги команд меню або кнопок швидкого доступу.

**Результати.** Розроблено алгоритм розрахунку необхідного для провітрювання промислового підприємства витрат повітря і напору вентилятора, згідно діючих нормативних документів. Наведено опис програми VentProm, яка призначена для створення, поповнення та коригування бази даних аеродинамічних і енергетичних характеристик промислових вентиляторів, вибору і визначення їх фактичних режимів роботи.

**Наукова новизна** розроблена програма VentProm, вирішує наступні завдання: розрахунок необхідної для провітрювання витрати повітря, розрахунок напору вентилятора, вибір вентилятора, визначення фактичних параметрів вентилятору; створення, поповнення та коригування БД аеродинамічних характеристик вентиляторів; перегляд, коригування та друк результатів розрахунку.

**Практичне значення.** Практична цінність результатів роботи полягає в тому, що використання розробленого алгоритму дозволяє підвищити ефективність вентиляції діючих шахт в процесі ведення гірничих робіт за рахунок науково обґрунтованого вибору заходів щодо вдосконалення шахтної вентиляційної мережі; впровадження результатів оптимізації розподілу повітря в шахтній вентиляційній мережі дозволяє тільки за рахунок внутрішньошахтних резервів повітря підвищити забезпеченість об'єктів провітрювання повітрям, і тим самим підвищити безпеку, покращити санітарно-гігієнічні умови праці гірників.

**Ключові слова:** алгоритм розрахунку, вентиляційна мережа, вибір вентилятора, база даних.

**Вступ.** У системах механічної вентиляції рух повітря здійснюється за допомогою вентиляторів. Механічна вентиляція може бути робочою або аварійною, яку проектують на тих виробництвах де можливе надходження у повітря значної кількості шкідливих або вибухонебезпечних речовин.

Аварійна вентиляція вмикається автоматично при досягненні граничної концентрації небезпечних речовин і має забезпечувати 8 - 12 кратний повітрообмін за годину.

Механічна робоча вентиляція може бути загальнообмінною, місцевою або комбінованою.

Щоб забезпечити нормальний повітрообмін необхідну кількість повітря визначають відповідно до наявних шкідливих чинників характерних для конкретного виробництва.

Необхідний повітрообмін ( $\text{м}^3/\text{год}$ ) є основною величиною для визначення параметрів вентиляційної системи та вибору необхідного вентиляційного обладнання.

Загальнообмінна вентиляція забезпечує створення відповідного мікроклімату у всьому об'ємі приміщення. Цей вид вентиляції має дві системи – припливну й витяжну, які одночасно подають у приміщення чисте повітря у нижню частину, а з верхньої зони видаляють забруднене.

Для приміщень в яких має бути надійний повітрообмін влаштовують припливно-витяжну загальнообмінну вентиляцію. Цей вид вентиляції облаштовують у приміщенні, де виділяється значна кількість шкідливих речовин і де витяжка має бути на 10% більшою ніж приплив, щоб шкідливі речовини не витіснялися у сусідні приміщення.

Припливна механічна вентиляція проектується в приміщеннях зі значними тепловиділеннями і невисокою концентрацією шкідливих речовин. Ця система вентиляції забезпечує подачу чистого зовнішнього повітря у приміщення, а видалення забрудненого повітря здійснюється через вентиляційні отвори, фрамуги, дефлектори.

Витяжна загальнообмінна вентиляція проектується там де відсутні викиди шкідливих речовин та невелика кратність повітрообміну, а також у допоміжних, побутових та складських приміщеннях.

Загальнообмінну припливно-механічну вентиляцію приміщень без природного провітрювання проектують так, щоб забезпечувати в них не менше двох припливних і двох витяжних вентиляційних установок, з продуктивністю кожної не менше 50% потрібного повітрообміну. Об'єм подаваного повітря засобами механічної вентиляції має становити не менше  $60 \text{ м}^3/\text{год}$  на одного працюючого, але не менше однократного повітрообміну за годину. Дозволяється проектувати по одній припливній і одній витяжній установці тільки тоді, коли вони забезпечені резервним вентилятором, який автоматично включається при зупинці робочого. [1, 2]

**Постановка проблеми.** В процесі функціонування гірничорудного підприємства порушується закладений в проект вентиляційний режим, що обумовлено розвитком шахтної вентиляційної мережі, зміною аеродинамічних характеристик виробок. Для підвищення ефективності функціонування вентиляційних систем діючих шахт необхідно проводити оперативні розрахунки вентиляції в процесі ведення гірничих робіт і вибирати оптимальні варіанти розвитку вентиля-

ційної мережі. Розрахунок таких багатовимірних об'єктів, як шахтна вентиляційна мережа, вимагає великих витрат часу як на підготовку інформації, так і на обчислювальний процес. Тому для оперативних розрахунків і планування вентиляційних систем діючих шахт необхідна розробка нових методів і алгоритмів, що дозволяють скоротити обсяг обчислювальних робіт, а також кількість необхідної інформації про вентиляційну мережі. У зв'язку з цим, тема цієї статті є актуальною, являє науковий інтерес і має практичне значення.

**Мета роботи** створення алгоритму оперативного розрахунку і планування вентиляційних систем діючих шахт для науково обгрунтованого вибору варіантів розвитку шахтної вентиляційної мережі і заходів щодо поліпшення провітрювання шахти.

**Викладання основного матеріалу.** Згідно з діючими нормативними документами [1, 3] розрахунок промислової вентиляції включає визначення загальних витрат повітря  $Q$ , тиску  $H$  і вибору вентилятора, що пов'язано з великою кількістю багатоваріантних розрахунків і, як наслідок, вірогідністю помилок, які важко виявляються. Нами виконана формалізація процесу розрахунків и розроблена програма VentProm, яка вирішує наступні завдання:

- розрахунок необхідної для провітрювання витрати повітря;
- розрахунок напору вентилятора;
- вибір вентилятора;
- визначення фактичних параметрів вентилятору;
- створення, поповнення та коригування БД аеродинамічних характеристик вентиляторів;
- перегляд, коригування та друк результатів розрахунку.

Рішення перерахованих завдань виконується в віконних формах, перехід між якими здійснюється за допомогою команд меню або кнопок швидкого доступу.

Для зручності користувача всі клавіші мають пояснювальні написи, які з'являються після фіксації на них покажчика миші. Всі віконні форми забезпечені довідковою інформацією нею необхідною для роботи. Для захисту від помилкових дій користувача під час роботи з програмою VentProm частина даних вибирається із полів списків. Передбачена можливість корегування вихідних даних.

Вікно розрахунку витрат повітря (рис.1) складається з панелі управління, яка знаходиться у верхній частині віконної форми, панелі введення вихідних даних і розрахунку, і вікна результатів розрахунку.

На панелі управління розташовані кнопки «шрифт», «печать», «сохранить», «справка», функціональне призначення яких показує підказка.

Панель розрахунку витрат повітря виконує розрахунок по людям (за замовчуванням), по виділенню шкідливостей і по кратності повітрообміну [3]. Після введення всіх необхідних даних натискається кнопка «розрахунок» і у вікні виводу з'являються результати розрахунку необхідних витрат повітря  $Q_p$  для провітрювання об'єкту.

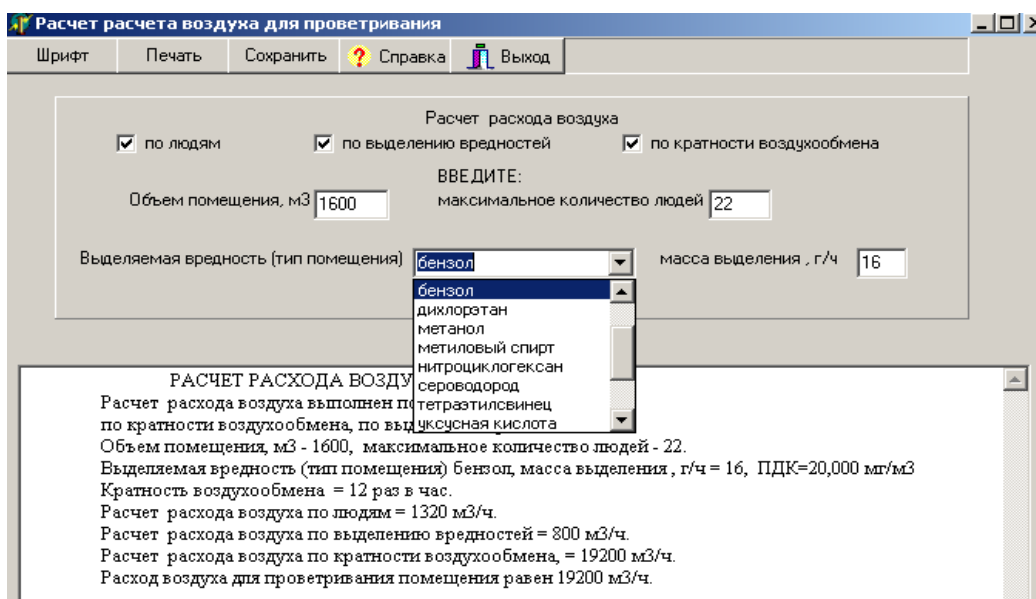


Рис. 1. Вікно розрахунку витрат повітря

Вікно розрахунку напору вентилятора (рис. 2.) складається з навігатора і кнопок управління, розташованих у верхній частині віконної форми, а також вікон введення вихідних даних у табличній формі та результатів розрахунку, розташованих нижче.

Підготовка вихідних даних для розрахунку напору вентилятора полягає в відцифровці схеми вентиляції, тобто кожна ділянка схеми повинна мати свій номер. а також номер початкового і кінцевого вузлів.

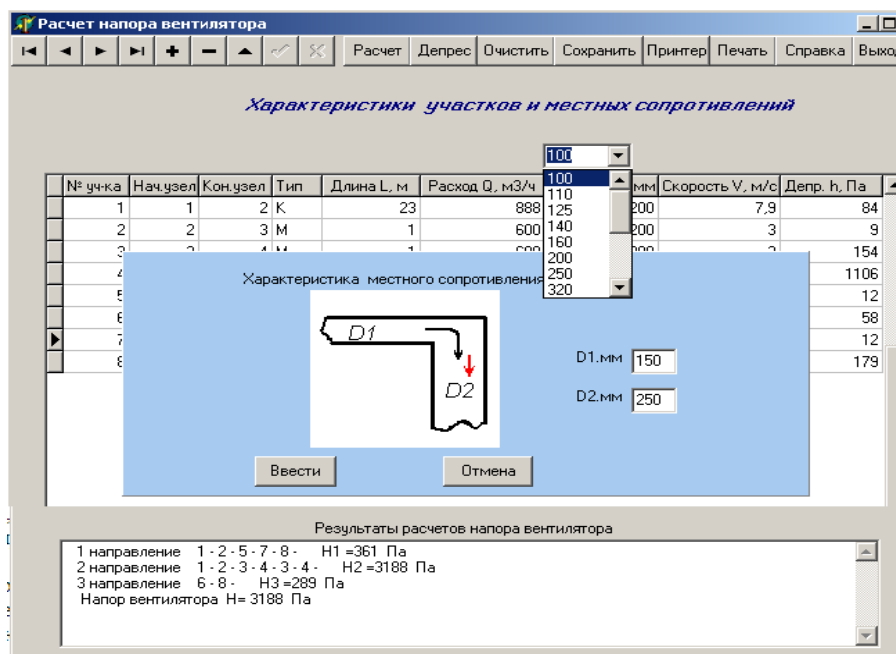


Рис. 2. Вікно розрахунку напору вентилятора

Загальна кількість ділянок в схемі не повинно перевищувати 300. Порядкування ділянок і вузлів довільний, але повітряподавальна ділянка повинна

мати номер 1 і початковий вузол 1. Якщо повітряподавальних ділянок декілька, то початковим вузлом для них є одиниця. Забороняється пропускати цифри в нумерації. Для прямолінійних ділянок вказується тип К, для ділянок місцевого опору – тип М. По розробленому алгоритму знаходяться всі можливі напрямки руху повітря і, по кожному з них, рахуються сумарні витрати тиску  $H_j$  за формулою

$$H_j = \sum h_{m.o} + \sum h_\tau, \text{ Па} \quad (1)$$

де  $h_{m.o}$  – витрати тиску на переборення місцевого опору в окремих вузлах повітропроводу, Па;  $h_\tau$  – витрати тиску на окремих прямолінійних ділянках повітропроводу, Па.

Витрати тиску на окремих прямолінійних ділянках повітропроводу визначається за формулою

$$h_\tau = \Delta h_\tau \times l, \text{ Па} \quad (2)$$

де  $\Delta h_\tau$  – питомі витрати тертя на 1 м повітропроводу, Па/м.

Значення  $\Delta h_\tau$  залежать від форми повітропроводу, площі поперечного перерізу і швидкості руху повітря в ньому. Для найбільш поширених круглих повітропроводів ця залежність наведена в табличній формі [4]. Нами ця залежність описана поліномом другого ступеня для діапазону швидкості в межах 0,5 – 250 м/с і діаметрах – 100 – 1600 мм. Тому, для розрахунку  $h_\tau$ , достатньо вести значення діаметру, довжини і витрат повітря у повітропроводі. Враховуючи, що значення діаметру носять дискретний характер, необхідно, на відповідній ячейці таблиці вихідних даних, виконати подвійне клацання мишкою і, в вікні зі списком, яке з'явиться над стовпцем "діаметр", вказати необхідний діаметр (рис.2). При цьому для ділянок типу "К" виконується розрахунок швидкості і витрати тиску.

Витрати тиску в місцевих опорах підраховуються за формулою

$$h_{m.o} = \varepsilon \frac{\rho V^2}{2}, \text{ Па} \quad (3)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт місцевого опору;  $\rho$  - густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – швидкість повітря, м/с.

Для місцевих опорів (ділянки типу "М") необхідно ввести швидкість, потім клацанням правої клавіші мишки на цьому рядку викликати контекстне меню, вибрати відповідний місцевий опір і ввести необхідні дані (рис.2). Після натискання кнопки «расчет» визначаються всі напрямки руху повітря, для кожного із них рахуються сумарні витрати тиску  $H_j$  (1) і розрахунковий тиск вентилятора  $H_p$

Вибір вентилятора складається з 2-х етапів: спочатку визначається вентилятор, в робочу область якого потрапляють розрахункові значення тиску  $H_p$  і витрати повітря  $Q_p$ , потім визначаються фактичні ККД вентилятора, число обертів і очікувана потужність.

На аеродинамічній характеристиці вентилятора (рис. 3) робоча область обмежена правою, лівою, верхньою та нижньою межами.

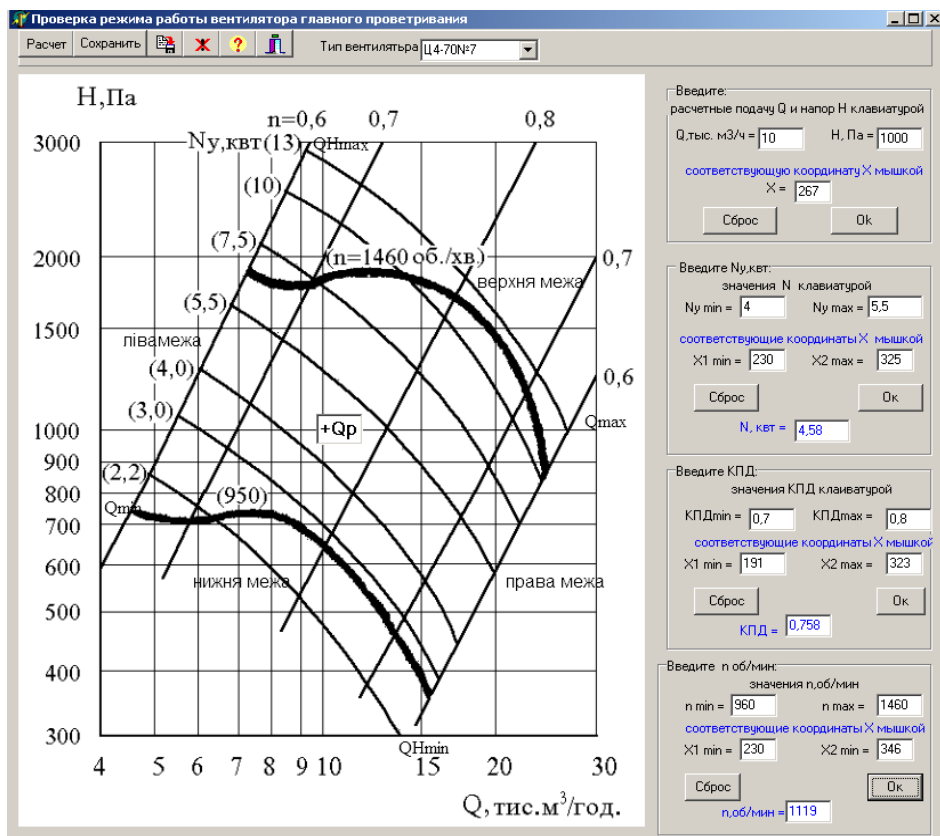


Рис. 3. Вікно визначення режимів роботи вентилятора

Для вибору вентилятора необхідною і достатньою умовою є наявність мінімальної  $Q_{min}$  і максимальної  $Q_{max}$  подач вентилятора, значення подач, що відповідають максимальному  $Q_{Hmax}$  і мінімальному  $Q_{Hmin}$  тиску, а також рівняння, які описують межі робочої зони.

Ліва і права межі робочої області це прямі лінії (рис.3), які описується рівняннями

$$H_l = A_l + B_l Q \quad (4)$$

Верхня і нижня межі - це відповідні енергетичні характеристики вентилятора, для апроксимації яких прийнятий поліном другої ступені, відносна помилка якого не перевершує 2% [2]

$$H = A + B Q + C Q^2 \quad (5)$$

Якщо є розрахункові значення подачі  $Q_p$  і напору  $H_p$  виконуються умови (6) –(8), то даний вентилятор може забезпечити заданий режим роботи.

$$Q_{min} \leq Q_p \leq Q_{max} \quad (6)$$

$$H_p \leq \left\{ \begin{array}{l} A_l + B_l Q_p, Q_p \leq Q_{H \max} \\ A_v + B_v + C_v Q_p^2, Q_p \notin Q_{H \max} \end{array} \right\} \quad (7)$$

$$H_p \geq \left\{ \begin{array}{l} A_l + B_l Q_p, Q_p \geq Q_{Hmin} \\ A_H + B_H + C_H Q_p^2, Q_p \leq Q_{Hmin} \end{array} \right\} \quad (8)$$

Таким чином для формалізації процесу вибору вентилятора достатньо для кожного вентилятора мати дві матриці  $M$  і  $K$

$$M = \begin{bmatrix} Q_{msn}, Q_{max} \\ Q_{H min}, Q_{H max} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$K = \begin{bmatrix} A_l, B_l \\ A_n, B_n \end{bmatrix}, K = \begin{bmatrix} A_v, B_v, C_v \\ A_H, B_H, C_H \end{bmatrix} \quad (10)$$

Матриця  $M$  (9) складається з граничних подач, а матриця  $K$  (10) – із емпіричних коефіцієнтів рівнянь, апроксимуючих межі аеродинамічних характеристик

Нами створена база даних (БД), матриць  $M$  і  $K$  для всіх промислових вентиляторів серії Ц4-70. Програма VentPro передбачає можливість поповнення (рис.4) і корегування (рис.5) БД. Для цього достатньо вести координати для прямої лінії 2-х точок, для верхньої і нижньої меж 5-ти точок і методом Гауса розраховуються відповідні коефіцієнти матриці  $K$ .

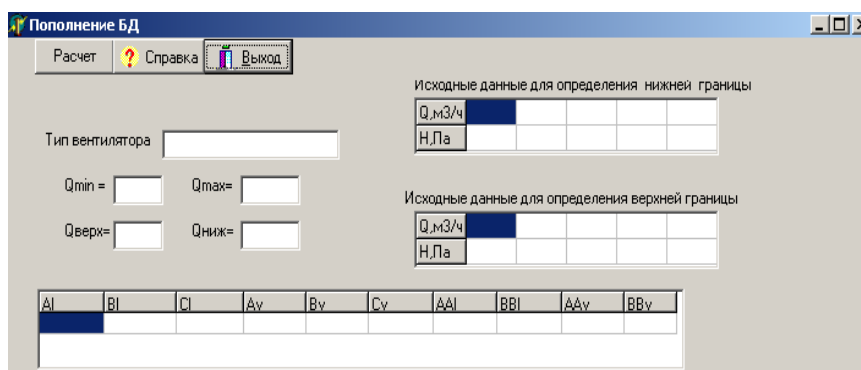


Рис. 4. Вікно поповнення БД

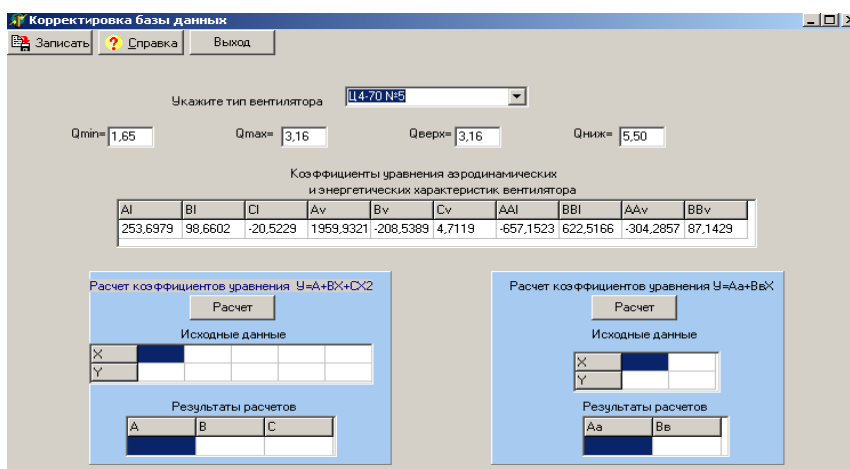


Рис. 5. Вікно корегування БД

Для визначення вентиляторів, які забезпечать потрібний режим лостатньо ввести значення  $Q_p$  та  $H_p$  і у вікні результатів з'явиться перелік усіх вентиляторів, які відповідають умовам: (6) – (8).

Енергетичні характеристики вентилятора (потужності  $N$ , кВт, коефіцієнта корисної дії «ККД» та визначення числа обертів  $n$ , об/хв.) наведені на аеродинамічних характеристиках (див. рис. 3) і носять дискретний характер. Тому у більшості випадків розрахункова точка не співпадає ні з одною із характеристик. У цьому випадку для отримання фактичних значень  $N$ ,  $\eta$ ,  $n$  потрібно виконувати досить складні розрахунки. Тому ми формалізували цей процес. Визначення енергетичних характеристик вентилятора здійснюється у вікні «перевірка вентилятора» (див. рис. 3). Після вибору потрібного вентилятора, з переліку тих вентиляторів, що знаходяться у БД, з'являється його аеродинамічна характеристика. В поля введення вводять розрахункові значення подачі  $Q_p$ , витрат тиску  $H_p$  і проводиться клацання миші по точці з зазначеними координатами на характеристиці вентилятора (розрахункова точка). При цьому у вікні виводу з'являється відповідне значення координати  $X$ .

Після натискання клавіші "Ок". з'являється наступна панель для розрахунку потужності  $N$ . В вікна вводу заносяться відповідні значення кривих потужності  $N_{ymin}$  і  $N_{ymax}$ , між якими знаходиться розрахункова точка. Візуально, а краще за допомогою смужки паперу, означається лінія, яка проходить через розрахункову точку  $Q_p$  і перетинає вказані криві потужностей. Клацанням миші на характеристиці вказуються координати відповідних точок перетину віртуальної прямої із зазначеннями кривими потужностей. Потім натискається клавіша "Ок" і у вікні виводу з'являються значення потужності вентилятору  $N_p$ .

Аналогічно проводиться розрахунок коефіцієнта корисної дії «кпд» та визначення числа обертів  $n$ . При необхідності можна кнопкою "сброс" відмовитися від введених значень.

Результати розрахунків записуються у підсумковому файлі, який можна роздрукувати будь-яким шрифтом за бажанням користувача як із програми так і за допомогою редактора Word.

**Висновки.** Розроблено алгоритм розрахунку необхідних для провітрювання промислового підприємства витрати повітря і напору вентилятора згідно діючих нормативних документів. Наведено опис програми VentProm, яка призначена для створення, поповнення та коригування бази даних аеродинамічних і енергетичних характеристик промислових вентиляторів, вибору і визначення їх фактичних режимів роботи.

#### Перелік посилань

1. Опалення, вентиляція та кондиціонування. (2013) *ДБН В.2.5-67:2013*. Київ: Регіон України.
2. Бессчастный, А.В., Марченко, В.Г., & Столбченко Е.В. (2018) Разработка программного обеспечения выбора вентилятора главного проветривания. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, 53, 264-270.
3. Вентиляція громадських будівель. Вимоги до виконання систем вентиляції та кондиціонування повітря (2011) *ДСТУ Б EN 13779:2011 (EN 13779:2007, IDT)*.



4. Ананьев, В.А., Балуева, Л.Н., Гальперин, А.Д., Городов, А.К., Еремин, М.Ю., Звягинцева, С.М., Мурашко, В.Н., & Седых, И.В. (2003). *Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика*. Издательство ЗАО «Интердиалект», евроклимат.

### АННОТАЦИЯ

**Целью работы** является создания алгоритма оперативного расчета и планирования вентиляционных систем действующих шахт для научно обоснованного выбора вариантов развития шахтной вентиляционной сети и мероприятий по улучшению проветриванием шахты.

**Методы исследования.** Приведено описание программы VentProm, которая предназначена для создания, пополнения и корректировки базы данных аэродинамических и энергетических характеристик промышленных вентиляторов, выбора и определения режимов их работы. Решение задачи проводится в оконных формах, переход между которыми осуществляется с помощью команд меню или кнопок быстрого доступа.

**Результаты.** Разработан алгоритм расчета необходимый для проветривания промышленного предприятия: расхода воздуха и напора вентилятора, согласно действующим нормативным документам. Приведено описание программы VentProm, которая предназначена для создания, пополнения и корректировки базы данных аэродинамических и энергетических характеристик промышленных вентиляторов, выбора и определения их режимов работы.

**Научная новизна.** Разработана программа VentProm, которая решает следующие задачи: расчет необходимого для проветривания расхода воздуха, расчет напора вентилятора, выбор вентилятора, определение фактических параметров вентилятора, создание, пополнение и корректировка БД аэродинамических характеристик вентиляторов; просмотр, корректировка и печать результатов расчета.

**Практическое значение.** Практическая ценность работы заключается в том, что использование разработанного алгоритма позволяет повысить эффективность вентиляции действующих шахт в процессе ведения горных работ за счет научно обоснованного выбора мероприятий по совершенствованию шахтной вентиляционной сети; внедрение результатов оптимизации распределения воздуха в шахтной вентиляционной сети позволяет только за счет внутришахтных резервов воздуха повысить обеспеченность объектов проветривания воздухом, и тем самым повысить безопасность, улучшить санитарно-гигиенические условия труда горняков.

**Ключевые слова:** алгоритм расчета, вентиляционная сеть, выбор вентилятора, база данных.

### ABSTRACT

**The purpose of the work** is the creation of an algorithm for the operational calculation and planning of ventilation systems of existing mines for science-based selection of options for the development of mine ventilation networks and measures to improve the ventilation of the mine.

**Research methods.** A description given of the VentProm program, which is designed to create, supplement, and adjust the database of the aerodynamic and energy characteristics of industrial fans, select and determine their operating modes.

The solution of the problem carried out in window forms, the transition between which carried out using the menu commands or shortcut buttons.

**The results.** An algorithm for calculating the air flow and fan pressure required for ventilation of an industrial enterprise has been developed in accordance with the current regulatory documents. A description of the VentProm program, which is designed to create, supplement and adjust the database

of the aerodynamic and energy characteristics of industrial fans, select and determine their modes of operation.

**Scientific novelty.** A VentProm program has been developed that solves the following tasks: calculating the air flow required for ventilation, calculating the fan head, choosing a fan, determining the actual fan parameters, creating, replenishing and adjusting the aerodynamic characteristics of the fans; viewing, correction and printing of calculation results.

**The practical significance.** The practical value of the work lies in the fact that the use the developed algorithm allows to increase the efficiency of ventilation of existing mines in the process of mining operations through a scientifically based choice of measures to improve the mine ventilation network; the introduction of results of optimizing the distribution of air in the mine ventilation network makes it possible, only at the expense of internal mine reserves, to increase the availability of airing facilities, and thereby increase safety and improve the sanitary and hygienic working conditions of miners.

**Key words:** *calculation algorithm, ventilation network, fan selection, database.*