

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ДЕПРЕССИИ  
ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ В ШАХТНОЙ  
ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ

Назаренко В.И., Почтаренко Н.С., Иванов А.Ю.  
ДонНТУ

*Рассмотрено два способа учета естественной тяги в шахтной вентиляционной сети, применяемые в известной программной системе РЕВОД. В первом случае депрессия естественной тяги вычисляется для каждой ветви, используя для этого значения температуры и геодезической высоты, во втором случае применяется термодинамический метод расчета. Производится сравнение достоинств и недостатков каждого метода.*

В программной системе РЕВОД [1] предусмотрено два способа учета естественной тяги: явный и неявный.

В первом случае в каждой ветви шахтной вентиляционной сети (ШВС) определяется депрессия естественной тяги

Для произвольной выработки мы имеем

$$h_e = g \rho_{cp} \Delta z,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $м/с^2$ ;

$\rho_{cp}$  – средняя плотность воздуха в данной выработке,  $кг/м^3$ ;

$\Delta z = H_2 - H_1$  – разность высотных отметок в конечной и начальной точках ветви,  $м$ .

Для определения параметра  $\rho_{cp}$  используется уравнение газового состояния [2]

$$P_{cp} V_{cp} = R_2 T_{cp}, \quad (1)$$

где  $P_{cp} = P_0 - \rho g (H_1 + H_2)$  – среднее давление в выработке,  $Па$ ;

$P_0$  – давление на нулевом геодезическом уровне, принятое равным  $101700 Па$ ;

$H_1, H_2$  – геодезические высотные отметки в начальном и конечном узлах ветви,  $м$ ;

$V_{cp} = \frac{1}{\rho_{cp}}$  – средний удельный объем воздуха,  $м^3/кг$ ;

$R_2$  – газовая постоянная, равная  $287,1 Дж/(кг \cdot К)$ ;

$T_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} + 273$  - средняя абсолютная температура в ветви, градус  $K$ ;

$t_1, t_2$  - температуры в начальной и конечной точках ветви,  $^{\circ}C$ .

Тогда, используя (1), для каждой ветви вычисляется

$$h_e = 0,1 g P_{cp} \frac{H_1 - H_2}{R_2 T_{cp}}, \text{ даПа}$$

В каждом контуре сети (узловые и контурные уравнения к этому моменту уже автоматически построены) алгебраически суммируются депрессии  $h_e$  ветвей, входящих в контур. Контурная депрессия естественной тяги в дальнейшем используется как источник тяги с постоянным напором.

Явный способ учета естественной тяги в значительной мере адекватен физическим процессам, имеющим место в ШВС. При этом обеспечивается моделирование как глобального, так и локального действия естественной тяги, в частности, опрокидывание воздушных потоков в некоторых ветвях или возникновение рециркуляции этих потоков. Однако на практике явному способу присущ серьезный недостаток: пользователь должен указать высотные отметки и температуры для всех ветвей сети, в том числе предусмотреть изменение сезонных значений температур.

В связи с вышесказанным при расчетах реальных больших сетей предпочитают более грубый способ, требующий однако значительно меньшее количество исходных параметров. В данном случае речь идет о термодинамическом методе расчета [3 - 5].

В отличие от явного способа учета естественной тяги здесь отдельно для каждого ВГП определяется некоторое интегральное (эквивалентное) значение депрессии естественной тяги. Это значение программой устанавливается перед ветвью, которая имитирует канал ВГП.

При использовании данного метода для каждого ВГП определяется маршрут от входного до выходного узлов поверхности, причем при разветвлении в каком-либо узле следующей ветвью маршрута назначается ветвь с наибольшим расходом воздуха.

В принципе при неявном способе определения естественной тяги используются те же параметры, что и при явном способе, а именно средняя температура в ветви и абсолютная высотная отметка. Однако количество этих параметров определяется лишь количеством ветвей, входящих в определенный маршрут, а это в 10 – 20 раз меньше, чем общее количество ветвей в сети. Не подлежит сомнению также то, что корректировать температуры при их сезонных

изменениях в столь ограниченном количестве ветвей значительно легче, чем в целом в сети.

В каждом узле по выбранному маршруту определяется геодезическая высота  $H$  и температура  $t$  (последняя как температура в начальной точке ветви). Параметры  $t$  и  $H$  рассматриваются как абсцисса и ордината, после чего на такой плоскости отмечаются полученные точки и строится замкнутый многоугольник (рис.1). В дальнейшем вычисляются:

- площадь многоугольника  $S$ ;
- центр тяжести  $(t_c, H_c)$  однородной пластины, образованной рассматриваемым многоугольником;
- температура  $t_c$  в центре тяжести.

Тогда значение депрессии естественной тяги вычисляется по формуле [4]

$$h_e = \frac{S}{T_c} \rho_{cp}, \quad (2)$$

где  $T_c = t_c + 273$  - абсолютная температура в центре тяжести однородной пластины;

$\rho_{cp}$  - средняя плотность воздуха, принимаемая в диапазоне 1,2 .. 1,3 кг/м<sup>3</sup>.

Площадь многоугольника с вершинами в точках  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  вычисляется по формуле

$$S = 0,5 \sum_{i=1}^n (x_{i+1} - x_i)(y_{i+1} + y_i),$$

где  $x_{n+1} = x_1; y_{n+1} = y_1$ .

Несколько сложнее обстоит дело с определением центра тяжести однородной пластины. С этой целью можно было бы вычисления производить по точным формулам

$$x_c = \frac{\iint x d\sigma}{\iint d\sigma} = \frac{\iint x dx dy}{S}; \quad y_c = \frac{\iint y d\sigma}{\iint d\sigma} = \frac{\iint y dx dy}{S}$$

Однако численное определение двойного интеграла, хотя и возможно, но сопряжено с рядом трудностей.

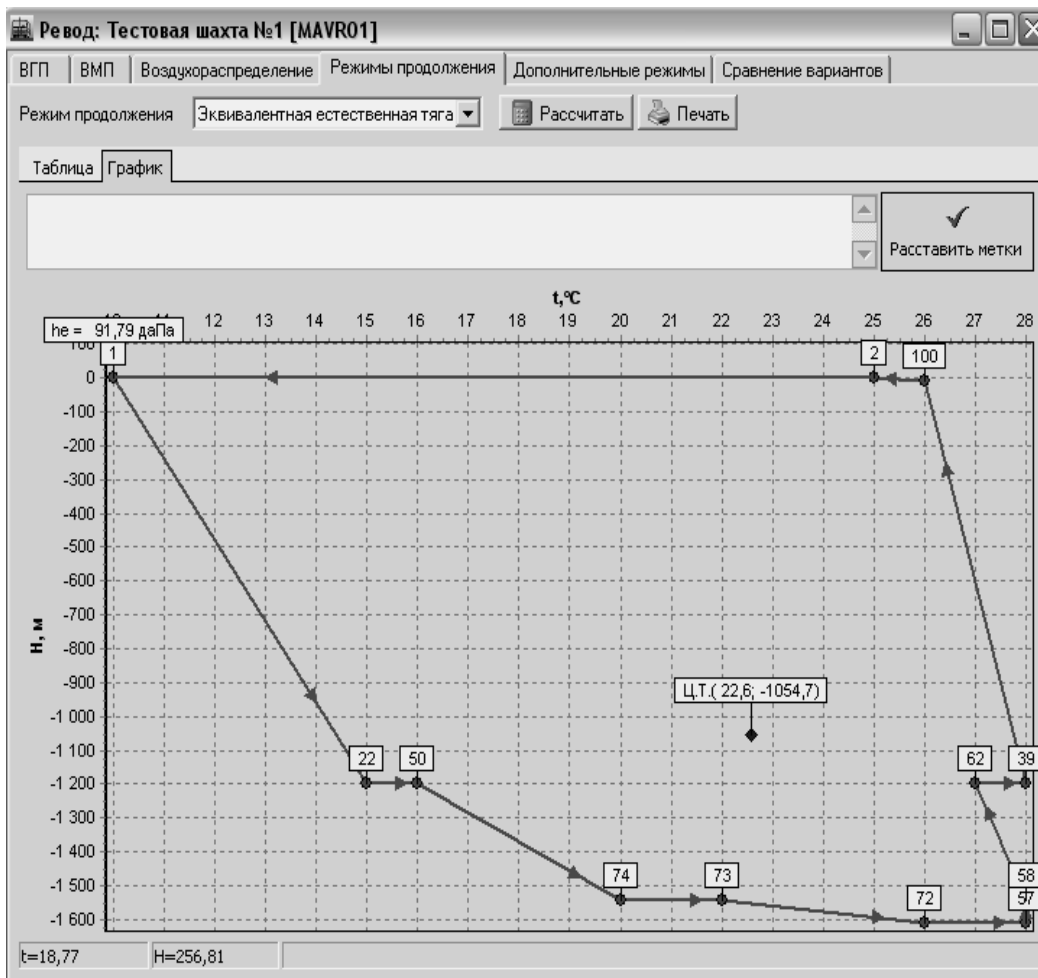


Рис.1. Многоугольник эквивалентной естественной тяги (пример 1)

Поскольку точность экспериментальных данных по шахтной вентиляционной сети сравнительно невысокая, то целесообразно точное вычисление центра тяжести однородной пластины заменить на приближенное, а именно

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

Эти формулы фактически определяют не центр тяжести однородной пластины, а центр тяжести массива материальных точек с координатами  $(x_i, y_i)$  и единичной массой.

Предположим, что по нижней границе пластины мы добавили несколько точек. Это не изменяет положения центра тяжести однородной пластины, но смещает вниз положение центра тяжести

массива материальных точек. Правда, при этом остается в основном прежним значение температуры  $T_c$  и депрессии  $h_e$ . Однако, если добавить точки на левой или на правой границе пластины, то при смещении центра тяжести массива точек влево или вправо изменяется также значение параметра  $T_c$ , что приведет в дальнейшем к получению неверных результатов.

Преимущество термодинамического способа: для расчета эквивалентной депрессии естественной тяги требуется информация о высотных отметках и температурах лишь для тех ветвей и узлов, которые входят в состав маршрута.

Недостаток: некорректное определение центра тяжести однородной пластины и произвольное задание средней плотности воздуха  $\rho_{cp}$  в целом по шахте.

Чтобы устранить грубые погрешности расчета, произведено объединение преимуществ метода определения естественной тяги по маршруту с термодинамическим способом. Здесь, как и было выше описано, строится маршрут от входного до выходного узлов поверхности, проходящий при этом через ветвь ВГП. Для каждой ветви маршрута по формулам, используемым при явном способе, вычисляется локальная депрессия естественной тяги  $h_e$ . Алгебраическая сумма значений  $h_e$  и составляет значение эквивалентной депрессии естественной тяги. Будем считать, что это модифицированный термодинамический метод.

*Примечание.* С экспериментальной целью на нескольких тестовых примерах было произведено сравнение результатов, получаемых по формуле (2), с модифицированным термодинамическим методом. В зависимости от принятого при этом значения  $\rho_{cp}$  расхождения между расчетами составляли от 4 до 12 %.

При активизации позиции «Эквивалентная естественная тяга» на экран выводится запрос о номере ветви объекта проветривания, а после ответа на запрос – многоугольник расчета эквивалентной естественной тяги (рис.1).

В строке заставки указанного многоугольника записано две позиции: «Таблица» и «График». Таблица – это координаты точек (температура и высотная отметка в узле), которые использованы для построения многоугольника при движении от входного узла поверхности до выходного с прохождением через заданный объект проветривания. В каждой строке таблицы указываются также номер ветви и плотность воздуха в данной ветви.

В нижней строке окна рассматриваемой таблицы указываются также значение эквивалентной естественной тяги  $h_e$ , координаты центра тяжести  $t_y$  и  $H_y$  многоугольника, его площадь  $S$ .

Наличие позиций «Таблица» и «График» позволяет осуществить произвольное количество раз переход от просмотра графика к просмотру таблицы и наоборот.

В строке заставки графика содержится клавиша «Печать» и полоса надписи, в которой можно указать наименование шахты, варианта и объекта проветривания.

На рис.2 с иллюстративной целью приведен многоугольник эквивалентной естественной тяги для маршрута, отличающегося от того, который изображен на рис.1.

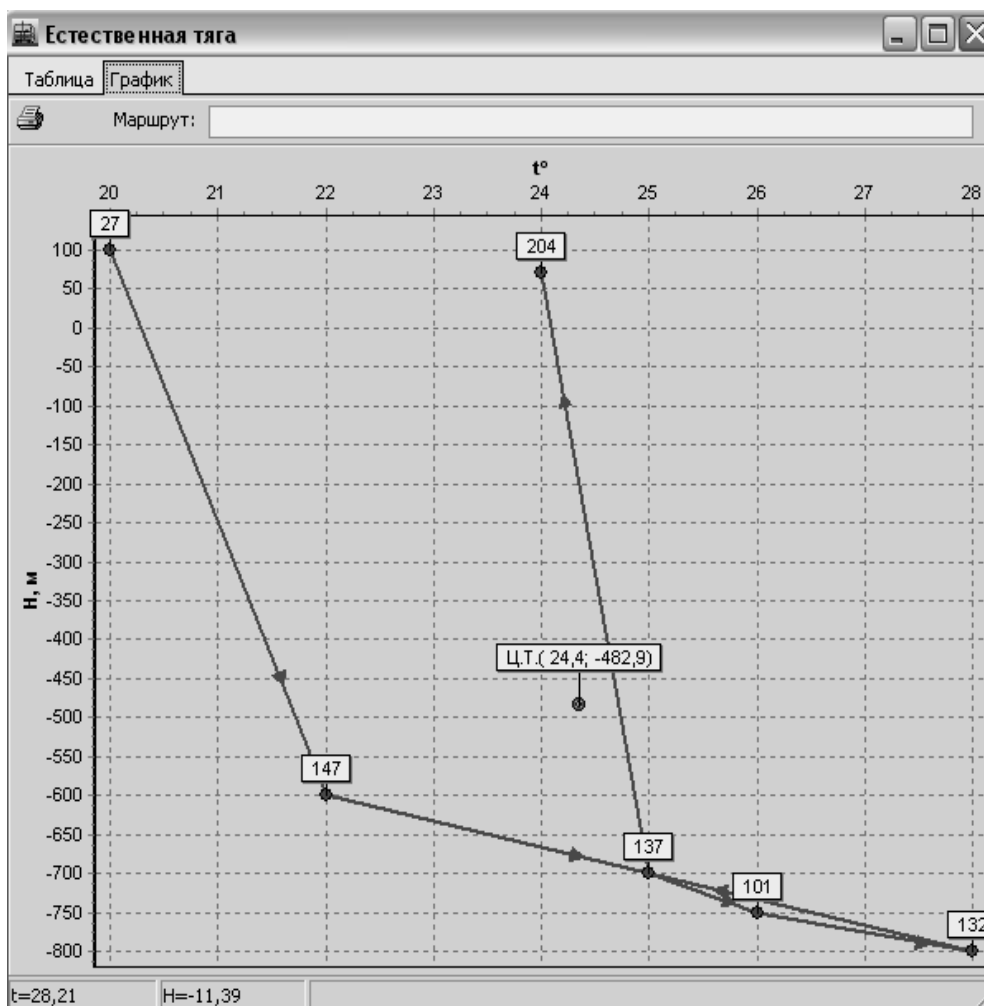


Рис.2. Многоугольник эквивалентной естественной тяги (пример 2)

## Библиографический список

1. Назаренко В.И., Почтаренко Н.С., Турута И.А. Программная система Ревод для расчета воздухо- и газораспределения в шахтной вентиляционной сети. – // Известия Донецкого горного института. – Донецк, 1999. - № 1. – С. 21 – 24.
2. Медведев Б.И., Павловский В.А. Расчет вентиляционных сетей шахт. – К.: Техніка, 1977. – 120 с.
3. Медведев Б.И. Тепловые расчеты вентиляции шахт при нормальных и аварийных режимах проветривания. – Киев-Донецк: Вища школа, 1978. – 154 с.
4. Медведев Б.И., Гуцин А.М., Лобов В.Л. Естественная тяга глубоких шахт. – М.: Недра, 1987. – 77 с.
5. Ушаков К.З. и др. Аэрология горных предприятий. – М.: Недра, 1987. – 421 с.

30.04.08