

УДК 662.42

**В.А. Стукало (канд. техн. наук)**

Донецкий национальный технический университет, Донецк

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ДЕПРЕССИИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ В ШАХТАХ**

Рассмотрены методы экспериментального определения депрессии естественной тяги в шахтах и даны рекомендации по их совершенствованию.

**Ключевые слова:** совершенствование, метод, эксперимент, определение, депрессия, природа, тяга, уголь, шахта, проветривание, вентилятор.

Естественная тяга, являясь аккумулятором тепловой энергии, накопленной воздухом, играет важную роль в проветривании угольных шахт и рудников. При этом в зависимости от направленности тепловых потоков от источников тепла к воздуху (или наоборот) депрессия с естественной тяги может увеличивать или уменьшать подачу воздуха для проветривания шахт и рудников. В связи с этим одной из важных задач депрессионных съемок шахт и рудников является определение величины депрессии естественной тяги и ее направленности по отношению к потоку воздуха в горных выработках за счет энергии вентилятора.

В настоящее время для опытного определения величины и знака депрессии естественной тяги используется два основных метода: гидростатический и термодинамический [1,3].

Гидростатический метод [2,3] предусматривает использование геодезических отметок, и результатов последовательного измерения, температур, давления и относительной влажности воздуха в вентиляционных узлах по маршруту от устья воздухопадающего ствола до вентилятора главного проветривания. На основе этих данных и определения плотности воздуха в вентиляционных узлах рассчитывают давление в нисходящем и восходящем столбах воздуха одинаковой высоты в вентиляционной сети по исследуемому маршруту движения воздушного потока. По разности давлений воздуха в нисходящем и восходящем потоках определяют величину и знак депрессии естественной тяги по формуле:

$$h_e = P_{i.н.ст.} - P_{i.в.ст.}, \quad (1)$$

где  $P_{н.ст.}$  – давление столба воздуха в нисходящем потоке по исследуемому маршруту, Па;

$P_{в.ст.}$  – давление  $i$ -го столба воздуха в восходящем потоке по исследуемому маршруту, Па.

Величина давлений столбов воздуха в нисходящем и восходящем потоках зависит от давления воздуха на поверхности шахты  $P_a$  (Па), плотности воздуха в каждом столбе  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>) и высоты столбов  $H$  (м).

При гидростатическом методе величина приращения давления воздуха в вертикальных и наклонных выработках  $\Delta P$  (Па) определяется по выражению

$$\Delta P = \rho_i g \Delta H_i, \quad (2)$$

где  $\rho_i$  – средняя плотность воздуха в  $i$ -ой выработке, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta H_i$  – высота столба в  $i$ -ой выработке, м;

$g$  – ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ .

Термодинамический метод, разработанный проф. А.Ф. Воропаевым [1], основан на представлении депрессии естественной тяги как работы, производимой единицей объема воздуха в результате его нагрева на пути движения от входа в шахту до выхода на поверхность. Для определения депрессии естественной тяги этим методом рекомендована следующая формула

$$h_e = \rho_{\text{ср}} \cdot g \frac{\sum S_i}{\rho_{\text{ср}} \cdot g}, \quad (3)$$

где  $\rho_{\text{ср}}$  – средняя плотность воздуха в горных выработках по маршруту,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\sum S_i$  – алгебраическая сумма площадей фигур, оконтуренных в координатах геодезической глубины расположения вентиляционного узла и абсолютной температуры воздуха в нем,  $\text{м}^2$ ;

$T_{\text{ц.т.ф.}}$  – абсолютная температура центра тяжести площади фигуры, К; определяется по выражению

$$T_{\text{ц.т.ф.}} = 0,5 (T_{\text{min}} + T_{\text{max}}), \quad (4)$$

где  $T_{\text{min}}$ ,  $T_{\text{max}}$  – соответственно минимальная и максимальная абсолютная температура воздуха в пределах фигуры, К.

Для гидростатического и термодинамического методов определения депрессии естественной тяги в шахтах при нормальных условиях работы общим недостатком является одновременное измерение температуры (а при гидростатическом также давления и влажности) воздуха вентиляционных узлах по исследуемому маршруту при температурной или депрессионной съемках, хотя в течение суток они изменяются. В гидростатическом методе это приводит к погрешностям при определении плотности воздуха в вентиляционных узлах и средней плотности воздуха в вентиляционных ветвях по исследуемому маршруту. При термодинамическом методе определения депрессии естественной тяги вносятся погрешности в значения площадей фигур, образованных на плоскости в координатах геодезических глубин и абсолютных температур воздуха в вентиляционных узлах по исследуемому маршруту от входа воздуха в шахту и до выхода его из горных выработок на поверхность. Кроме того, при использовании термодинамического метода в формулу (3) подставляется постоянное значение плотности воздуха по исследуемому маршруту в диапазоне  $1,2, \dots, 1,3 \text{ кг/м}^3$  и среднеарифметическое значение абсолютной температуры воздуха для фигуры, образованной при соединении точек с координатами  $T_i$  (К),  $H_i$  (м). При этом не обосновывается математически принимаемые постоянные значения плотности воздуха в целом по исследуемому маршруту и абсолютной температуры воздуха в центре тяжести фигуры. Принятие при расчете депрессии естественной тяги по формуле (3) необоснованного для всего маршрута постоянного значения плотности воздуха и приближенного значения абсолютной температуры воздуха в центре тяжести фигуры вносит определенные погрешности в получаемую величину депрессии естественной тяги и возможно даже ее знак.

Для повышения точности экспериментального определения депрессии естественной тяги необходимо при проведении температурной или депрессионной съемки выполнить ряд требований.

Температуру, давление и влажность воздуха в вентиляционных узлах по намеченному маршруту необходимо измерять одновременно или в течение небольшого промежутка во времени (0,5-1 час), чтобы на их значения не повлияли изменения этих параметров на поверхности шахты и под действием тепломассообменных процессов в выработках. Для определения средней по исследуемому маршруту плотности воздуха необходимо сначала определить давления, температуры, относительные влажности и плотности воздуха в вентиляционных узлах (как при гидростатическом методе), а затем по выражению (5) вычислить средневзвешенную по высоте вентиляционных ветвей исследуемого маршрута плотность воздуха

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\sum \rho_i H_i}{\sum H_i}, \quad (5)$$

где  $\rho_i$  – среднеарифметическая плотность воздуха в  $i$ -й вертикальной (наклонной) вентиляционной ветви (выработки),  $\text{кг/м}^3$ ;

$H_i$  – среднее значение вертикальной высоты для  $i$ -й вентиляционной ветви (выработки) в исследуемом маршруте, м.

По выражению (4) получаем среднеарифметическое значение абсолютной температуры воздуха в пределах исследуемого вентиляционного маршрута. Однако получаемое при этом значение абсолютной температуры воздуха не учитывает распределение составляющих частей общей площади фигуры (в координатах ТН) в пространстве и не соответствует значению абсолютной температуры воздуха в центре тяжести фигуры  $T_c$  (К).

Для определения величины  $T_c$  предлагается сначала измерить (или рассчитать) величину общей площади фигуры (в координатах ТН) полученной на основе значений геодезических отметок и измеренных температур в вентиляционных узлах по исследуемому маршруту. Затем методом последовательных определений площади фигуры при постепенном увеличении абсолютной температуры воздуха, находят температурную координату, при которой общая площадь фигуры вертикальной линией делится на две равные части. Значение такой температурной координаты будет соответствовать абсолютной температуре воздуха  $T_c$  (К), являющейся средней в центре тяжести плоской и однородной фигуры и ее величину следует использовать при расчете депрессии естественной тяги, в исследуемом маршруте шахты. Такой метод определения величины абсолютной температуры в центре тяжести плоской однородной фигуры (в координатах ТН) не противоречит рекомендации проф. А.Ф. Воропаева [1].

При всасывающем способе проветривания угольной шахты вентилятор главного проветривания увеличивает расход и снижает давление воздуха в горных выработках по сравнению с проветриванием шахты только за счет естественной тяги при остановленном вентиляторе. Это безусловно влияет на температуру и плотность воздуха, увеличивая или уменьшая их значения и, следовательно, создает дополнительную величину депрессии естественной тяги положительного или отрицательного знака. Однако относительно величины этой дополнительной депрессии естественной тяги и необходимости ее учета среди ученых нет единого мнения. Так А.Ф. Воропаев [1] с одной стороны считает, что тепловая депрессия, вызванная работой вентилятора, незначительна и при инженерных расчетах ею можно пренебрегать. С другой стороны для учета дополнительной тепловой де-

прессии, вызываемой работой вентилятора, им предлагается при построении графика плоской фигуры в координатах ТН по оси Н откладывать не геодезические, а пьезометрические высоты. При этом пьезометрическая высота какого-либо пункта (вентиляционного узла)  $H_{п.i}$  (м) определяется путем алгебраического сложения геодезической высоты рассматриваемого пункта и депрессии выработки (ветви) между начальным и конечным пунктами, деленных на среднюю плотность воздуха в выработке и ускорение силы тяжести по выражению

$$H_{п.i} = H_{г.i} + \frac{h_i}{\rho_{\text{ср}} g}, \quad (6)$$

где  $H_{п.i}$  – пьезометрическая высота  $i$ -го пункта, м;

$H_{г.i}$  - геодезическая высота  $i$ -го пункта, м;

$h_i$  - депрессия (перепад давления воздуха) в выработке Па;

$\rho_{\text{ср}}$  - средняя плотность воздуха в выработке, кг/м<sup>3</sup>;

Использование для построения плоской фигуры в координатах ТН вместо геодезических высот пьезометрических [1] не только усложняет определение, но и искажает величину депрессии естественной тяги в угольных шахтах, так как диаграмма должна отражать состояние воздуха только в пределах маршрута и не учитывать изменение физических параметров воздуха после выдачи его из шахты вентилятором. Усложнение обусловлено необходимостью определения пьезометрической высоты, вызванной работой вентилятора, и ее распределения по отдельным выработкам для корректирования геодезических высот вентиляционных узлов и дальнейшего их использования при построении диаграммы плоской фигуры в координатах ТН.

Лепихов А.Г. и Шевченко В.Н. в статье [4] отмечают, что при применении гидростатического метода определяется величина депрессии естественной тяги с учетом доли, создаваемой при работе вентилятора главного проветривания, а при применении термодинамического метода влияние вентилятора не учитывается. Этими авторами предложено рассчитывать депрессию естественной тяги, обусловленную работой вентилятора, по выражению:

$$h_{е.в} = 8,7 \cdot 10^{-5} N h_{в}, \quad (7)$$

где  $N$  – глубина шахты, м

$h_{в}$  – депрессия вентилятора, Па

Доля депрессии естественной тяги, обусловленная работой вентилятора главного проветривания по данным авторов работы [5] составляет 2-12% от депрессии шахты. В этой же работе отмечается, что при использовании гидростатического метода получаемые значения депрессии естественной тяги учитывают влияние вентилятора главного проветривания.

В работе [5] указывается на расхождение расчетных значений депрессии естественной тяги, получаемых при применении гидростатического и термодинамического методов ее определения.

Медведев Б.И., Гущин А.М. и Лобов В.Л. в своей книге [6] отмечают, что дополнительная депрессия естественной тяги, обусловленная работой вентилятора главного проветривания, образуется и может составлять 2-4% от депрессии шахты. По их мнению для нормальных условий проветривания значение составляющей

депрессии естественной тяги, обусловленной различием химического состава воздуха в горных выработках и работой вентилятора, сравнительно невелико, и в большинстве случаев им можно пренебречь.

В работе [7] отмечается, что депрессия естественной тяги, обусловленная работой вентилятора главного проветривания, составляет 8% депрессии вентилятора.

Таким образом, при применении термодинамического метода определяемая депрессия естественной тяги не учитывает влияние вентилятора, поэтому к получаемому значению  $h_{e,т}$  необходимо добавлять долю депрессии естественной тяги, обусловленную работой вентилятора главного проветривания шахты.

Применение вышеприведенных рекомендаций позволит повысить точность экспериментального определения депрессии естественной тяги гидростатическим и термодинамическим методами.

### Список литературы

1. Воропаев А.Ф. Тепловая депрессия шахтной вентиляции / А.Ф. Воропаев. – М.-Л.: Изд-ва АН СССР, 1950.
2. Скочинский А.А. Рудничная вентиляция / А.А. Скочинский, В.Б. Комаров. – М.: Углетехиздат, 1959.
3. Комаров В.Б. Рудничная вентиляция / В.Б. Комаров, Ш.Х. Килькеев. – М.: Недра, 1969.
4. Лепихов А.Г. Естественная тяга, вызываемая работой вентилятора главного проветривания / А.Г. Лепихов, В.Н. Шевченко / «Вопросы проветривания и безопасности в угольных шахтах». – Донецк: Изд-во «Донбасс», 1970. – Ч 1.
5. Гращенков Н.Ф. Учет естественной тяги при производстве депрессионных съемок в шахтах с несколькими рабочими горизонтами – Т Р КПИ / Н.Ф. Гращенков // Вопросы горного дела. – 1980. – Вып. 4. – С. 17-21.
6. Медведев Б.И. Естественная тяга глубоких шахт / Б.И. Медведев, А.М. Гущин, В.Л. Лобов. – М.: «Недра», 1985. – 77 с.
7. Hall C.G. Thermodynamics of mine Ventilation / C.G. Hall // Colliery Engineering. – 1953. – №348. – P. 111.

*Надійшла до редколегії 25.03.2012*

В.А. Стукало

Донецький національний технічний університет, Донецьк

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ДЕПРЕСІЇ ПРИРОДНОЇ ТЯГИ В ШАХТІ

Розглянуто методи експериментального визначення депресії природної тяги в шахтах і дані рекомендації щодо їх вдосконалення.

Ключові слова: удосконалення, метод, експеримент, визначення, депресія, природа, тяга, вугілля, шахта, провітрювання, вентилятор.

V.A. Stukalo

Donetsk National Technical University, Donetsk

IMPROVING THE METHOD OF EXPERIMENTAL DETERMINATION OF NATURAL DRAFT DEPRESSION IN MINES.

The methods of experimental determination of the natural draft of depression in the mines and recommendations for their improvement are presented.

Keywords: improvement, method, texperiment, definition, depression, nature, rod, coal, mines, ventilation, fan.