

Трофимов В.А. (доцент кафедры «Охрана труда и аэрология», к.т.н., Донецкий национальный технический университет)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ НА ШАХТАХ УКРАИНЫ

В статье рассматриваются особенности измерений и вентиляционных расчетов, связанных с определением сопротивлений отдельных элементов вентиляционной сети.

Анализ действующих нормативных документов и литературных источников [1-6] показал, что общие теоретические положения, изложенные в них, искажают или не в полной мере отражают специфику вентиляционных расчетов и измерений, связанных с определением режимов проветривания шахты и работы вентиляторов главного проветривания. Это приводит к ошибкам при подготовке исходной информации для компьютерных моделей шахтных вентиляционных сетей (ШВС) и, как следствие, к погрешностям в расчетах распределения воздуха в шахте.

Пути внешних подсосов (утечек) воздуха формируются в надшахтных зданиях стволов и вентиляторных установках (рис.1). При этом воздух поступает в канал вентилятора, минуя ШВС через неплотности в элементах конструкции этих сооружений. В надшахтных зданиях такими элементами являются окна, двери, разгрузочные устройства и т.п. В вентиляторных установках – ляды в обводных каналах, атмосферные ляды, смотровые ходки, люки и т.п.

Рассмотрим особенности измерений и расчетов на примере шахты с одним осевым вентилятором (рис.1). Сразу следует отметить, что стационарная система контроля аэродинамических параметров вентилятора позволяет измерять только депрессию вентилятора и его подачу, а аналогичные параметры ШВС остаются неизвестными. Кроме того, в отдельных случаях, подача и депрессия вентилятора определяется с большими погрешностями. Это объясняется отсутствием текущего контроля, за состоянием приборов и оборудования или несовершенством самой измерительной системы. Так, например, в тех вентиляторных установках, где для реверсирования используются обводные каналы, депрессия вентилятора измеряется в месте сопряжения обводного канала с основным. В результате, измеряемая депрессия вентилятора, занижена по сравнению с ее фактической величиной. В нормальном режиме проветривания измеряемая депрессия будет меньше фактической на величину депрессии участка между местом входа

воздуха в вентилятор и сопряжением основного канала с обводным. В реверсивном режиме работы, такая система измерений не учитывает потери давления в обводном канале вентиляторной установки.

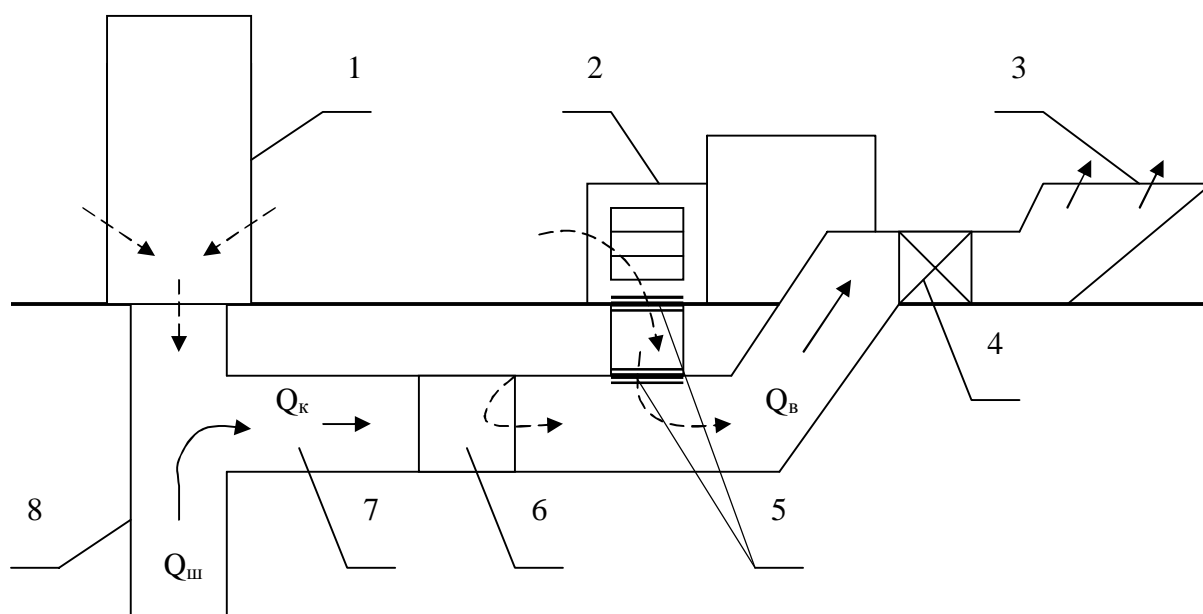


Рис.1 Упрощенная схема путей движения воздуха через надшахтное здание и вентиляторную установку

1 – надшахтное здание; 2 – здание вентиляторной установки; 3 – диффузор вентилятора; 4 – вентилятор; 5 – атмосферные ляды; 6 – сопряжение с обводным каналом; 7 – канал соединяющий ствол с вентиляторной установкой (основной канал); 8 – ствол шахты

Практика обследования вентиляторных установок показывает, что не всегда удается однозначно выделить все пути подсосов воздуха, измерить депрессию или расходы воздуха на отдельных участках канала. Чаще всего причиной этого являются сложные условия измерений: большая высота каналов, наличие в воздухе взвеси из воды и угольной пыли, влияние местных сопротивлений, небольшая длина каналов и т.п. По этим причинам, в большинстве случаев, схемы вентиляционных соединений включающих пути внешних подсосов воздуха и элементов вентиляторной установки представляют в виде параллельно - последовательных соединений (рис.2). В первом случае (рис.2а) внешние подсосы воздуха через устье ствола определяют как разницу расходов воздуха в шахте ($Q_{ш}$) и на участке канала от ствола до сопряжения с обводным каналом (Q_k)

$$q_y = Q_k - Q_{ш}, \quad (1)$$

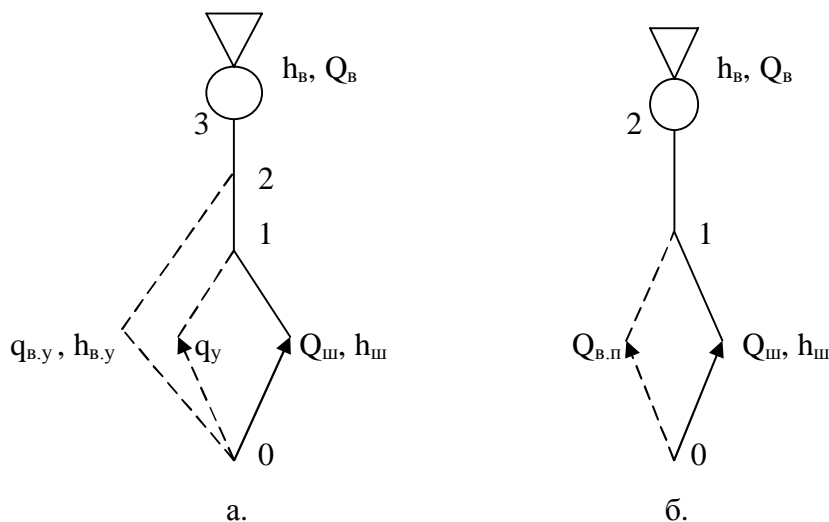


Рисунок 2 Схемы вентиляционных соединений шахты с одним вентилятором
 а – схема вентиляционных соединений с разделением внешних подсосов воздуха;
 б – упрощенная схема вентиляционной сети

а подсосы воздуха в вентиляторной установке ($q_{в.у}$) - как разницу между подачей вентилятора (Q_B) и расходом воздуха в начале канала (Q_K)

$$q_{в.у} = Q_B - Q_K \quad (2)$$

Анализ результатов измерений и расчетов, связанных с определением аэродинамических параметров элементов ШВС, позволяет считать, что для решения задач регулирования распределения воздуха в этих сетях достаточно общей информации о параметрах канала вентилятора и внешних подсосах воздуха. Такая точка зрения нашла свое отражение в документах регламентирующих измерения и расчеты, связанные с определением аэродинамических сопротивлений путей внешних подсосов и каналов вентиляторов [1,2]. В соответствии с этими документами принята единая расчетная схема вентиляционной сети шахты (рис.2б) представляющая собой последовательно – параллельное соединение. К сожалению, принятые при этом упрощения расчетной схемы вентиляционных соединений, не обоснованы соответствующими теоретическими положениями, что привело к искажению расчетной методики [1,2]. Так, например, для расчетов сопротивлений отдельных элементов вентиляционной сети, авторы ввели в расчетные зависимости ранее не известные в рудничной вентиляции понятия: «средний» расход воздуха в канале вентилятора и «средняя» депрессия путей внешних подсосов воздуха. Смысл этих понятий не отражает сложившиеся представления о закономерностях формирования режима проветривания ШВС и режима работы вентилятора главного проветривания.

Рассмотрим особенности принятых упрощений и последствия их использования в вентиляционных расчетах.

В упрощенной схеме вентиляционных соединений (см.рис.2б) все внешние подсосы вентиляторной установки отнесены к подсосам воздуха через устье ствола. Это означает, что подсосы воздуха, рассредоточенные по длине канала ($q_y, q_{в.у}$), заменяются одной ветвью с расходом воздуха равным сумме всех внешних подсосов ($Q_{в.п}$)

$$Q_{в.п} = q_y + q_{в.у}, \quad (3)$$

и депрессией ($h_{ш}$), измеренной через устье ствола (депрессия шахты). В параллельном соединении «шахта – внешние подсосы» депрессия устья ствола (депрессия шахты) равна депрессии путей внешних подсосов. В тоже время, канал вентилятора состоящий из нескольких участков (см. рис.2а, участок 0-1-2) заменяется одной ветвью с депрессией (h_k), равной потере давления между местом сопряжения канала со стволом шахты и входом воздуха в вентилятор – разница между депрессиями вентилятора ($h_в$) и шахты ($h_{ш}$)

$$h_k = h_в - h_{ш}. \quad (4)$$

В этом случае расход воздуха в канале вентилятора (Q_k) равен сумме расходов воздуха в шахте ($Q_{ш}$) и внешним подсосам ($Q_{в.п}$) т.е. подаче вентилятора ($Q_в$)

$$Q_в = Q_k = Q_{ш} + Q_{в.п}. \quad (5)$$

В этой расчетной схеме сопротивления путей внешних подсосов и канала вентилятора являются фиктивными. Это не аэродинамические сопротивления, а их математические аналоги, позволяющие описать связь между режимом проветривания шахты и режимом работы вентилятора. Другими словами, использование понятия фиктивных сопротивлений [3] позволяет упростить решение различных вентиляционных задач, связанных с регулированием режима работы вентилятора и ШВС. Таким образом, с учетом принятых упрощений (3-5), фиктивное сопротивление путей внешних подсосов ($R'_{в.п}$) определится из равенства

$$R'_{в.п} = h_{ш} / Q_{в.п}^2, \quad (6)$$

где $h_{ш}$ – депрессия шахты измеренная через устье ствола; $Q_{в.п}$ – внешние подсосы воздуха (определяются как разница между подачей вентилятора и расходом воздуха в шахте).

Фиктивное сопротивление канала вентилятора определяется из следующего уравнения

$$R'_k = (h_в - h_{ш}) / Q_в^2, \quad (7)$$

Величина депрессии вентилятора (h_b), должна определяться не по показаниям шахтного манометра, а с помощью датчика давления установленного непосредственно у входа в колесо вентилятора. Депрессия вентилятора, нагнетающего воздух в шахту, должна измеряться с помощью датчика давления установленного у выхода воздуха из корпуса вентилятора. Подачу вентилятора (Q_b) лучше не измерять непосредственно (чтобы исключить погрешность стационарных измерительных приборов), а определять по величине измеренной депрессии (h_b) с помощью графика, описывающего рабочую характеристику вентилятора.

Отдельного внимания заслуживает методика [1,2] определения сопротивления шахты ($R_{ш}$) и сети вентилятора главного проветривания (R_b).

К сожалению, в рудничной аэрологии сложилось искаженное представление о характере взаимодействия естественной тяги (h_e) и вентилятора. Это нашло свое отражение не только в нормативных документах, но и в учебниках [3-6] по рудничной аэрологии. Главной причиной сложившейся ситуации можно считать не совсем корректное применение уравнения Бернулли для условий угольных шахт. Это выражается в том, что изначально [4] оно было записано для шахты, в которой вентилятор установлен непосредственно на устье ствола (рис.3).

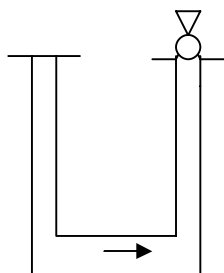


Рис. 3 Упрощенная схема шахты

В такой «идеальной» схеме вентиляции отсутствуют внешние подсосы воздуха и канал вентилятора и именно для такой схемы, в которой вся вентиляционная сеть представлена одной ветвью, было записано уравнение Бернулли в упрощенной форме [4]

$$h_b \pm h_e = h_c \pm h_d, \quad (8)$$

где h_c – депрессия затрачиваемая на перемещение воздуха в вентиляционной сети; h_d – динамический напор при выходе воздуха из вентилятора в атмосферу.

В дальнейшем (на протяжении почти 60 лет) эта запись (8) автоматически тиражировалась, перемещаясь из учебника в учебник [4-6], без какого либо осмысления условий ее применения. Кроме того, из гидравлики в вентиляцию было привнесено понятие о некой абстрактной плоскости сравнения, которое теряет всякий физический смысл для условий шахты, так как плотность воздуха изменяется по длине горной

выработки. В шахтной вентиляции необходимо вести речь только о средней величине плотности воздуха и о высотных отметках, в местах измерения (определения) физических параметров рудничного воздуха [11].

В уравнении (8), записанном для упрощенной схемы проветривания шахты (см. рис.3) депрессия шахты и вентилятора отождествляются ($h_b = h_{ш}$), также как сопротивление сети вентилятора и сопротивление шахты ($R_{ш} = R_b$). Внешние подсосы воздуха и канал вентилятора здесь отсутствуют ($Q_{в.п} = 0$; $R_k = 0$).

В условиях угольных шахт Украины уравнение Бернулли можно использовать только для шахтной вентиляционной сети (выработки лежащие ниже уровня канала вентилятора) с одним рабочим горизонтом и одной вентиляторной установкой главного проветривания или для элементарного вентиляционного контура с двумя вертикальными (наклонными) выработками [7,8] в которых формируется естественная тяга. В этом случае оно приобретает следующий вид

$$h_{ш} \pm h_e = h_{ш.с} \pm h_{д.с}, \quad (9)$$

где $h_{ш}$ – депрессия шахты (депрессия вентилятора приходящаяся на шахту; измеряется через устье ствола); $h_{ш.с}$ – депрессия затрачиваемая на перемещение воздуха в шахтной вентиляционной сети; $h_{д.с}$ – динамическое давление в стволе у канала вентилятора.

Поскольку, действие естественной тяги учтено при определении сопротивления шахтной сети, то его уже не нужно учитывать второй раз, при определении сопротивления сети вентилятора (как это делается сейчас в материалах депрессионных съемок). Поэтому фактическое сопротивление сети, на которую работает вентилятор, должно определяться из равенства

$$R_b = h_b / Q_b^2. \quad (10)$$

Все вышеизложенное (8-10) позволяет утверждать, что термины «сопротивление шахтной вентиляционной сети» и «сопротивление сети вентилятора», на шахте с глубокими стволами, не соответствуют понятию «аэродинамическое сопротивление сети», поскольку действие естественной тяги следует рассматривать как действие самостоятельного источника тяги со своей характеристикой. В этом случае можно говорить об активизированной характеристике сети шахты, т.е. характеристике учитывающей действие в этой сети других источников тяги [5]. Активизированную же характеристику вентилятора можно построить, только специальным пересчетом.

При решении вентиляционных задач, связанных с измерениями или вычислениями аэродинамических параметров горных выработок (элементов вентиляционной сети) необходимо применять графо-аналитические методы расчетов, основанные на использовании активизированных и приведенных характеристик, учитывающих

особенности применения уравнения Бернулли в выработках современных глубоких шахт Украины [7-11].

ВЫВОДЫ

1. Использование устаревших представлений о закономерностях формирования аэродинамических параметров угольных шахт, приводит к возникновению погрешностей в вентиляционных расчетах и искажает восприятие реальных условий проветривания шахт.
2. Существующая в учебной и научной литературе трактовка условий применения уравнения Бернулли в рудничной вентиляции не отражает особенностей проветривания глубоких угольных шахтах.
3. Необходима разработка нового учебника и практического пособия по рудничной вентиляции, учитывающего особенности современных угольных шахт Украины.

Библиографический список

1. Руководство по производству депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах. – Донецк. НИИГД: 1989. –74 с.
2. Руководство по производству депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах. – Донецк. ЦШ ГВГСС Украины: 2000. – 50 с.
3. Пигида Г.Л. Анализ совместной работы шахтных вентиляторов. – М.: Недра, 1975. – 206с.
4. Скочинский А.А., Комаров В.Б. Рудничная вентиляция. – М.: Углетехиздат, 1951. – 563 с.
5. Бодягин М.Н. Рудничная вентиляция. – М.: Недра, 1967. – 310 с.
6. Ушаков К.З. и др. Аэрология горных предприятий. – М.: Недра, 1987. - 421с.
7. Харьковской М.В., Трофимов В.А. Оценка влияния естественной тяги на проветривание глубоких шахт. Сборник докладов на 10-й сессии Международного бюро по Горной Теплофизике при Всемирном Горном Конгрессе, Глевице, Польша. 2005. – 512 с. – С.231-237
8. Трофимов В.А., Харьковской М.В. Особенности влияния естественной тяги и вентилятора на проветривание горных выработок //Известия Донецкого горного института.- Донецк, 2005,- № 1. – С.51-54.
9. Болбат И.Е., Лебедев В.И., Трофимов В.А. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах. – М.: Недра, 1992. - 206 с.

10. Трофимов В.А., Зюков Ю.Е., Харьковской М.В. Влияние естественной тяги на проветривание элементарного вентиляционного контура// Горноспасательное дело: сб.науч.трудов/ НИИГД,- 2003.-С.133-138
11. Медведев Б.И. и др. Аэрология горных предприятий. Сборник задач. – К.: Лыбидь, 1992. – 258 с.