

РАСЧЁТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ВЫРАБОТКАХ АВАРИЙНОГО УЧАСТКА

При возникновении пожара в лаве и невозможности его оперативного тушения прибегают к изоляции прилегающей части горных выработок для прекращения доступа кислорода к месту пожара и ограничения его распространения. Если по прошествии определённого времени, включающего в себя инкубационный период, прогнозируемый период остывания массива и т.п., необходимость ведения работ в данной области осталась или возникла вновь по каким-либо причинам, то при наличии соответствующих предпосылок (спокойном фоне индикаторных газов в окрестности изолированной области и т.п.) требуется принять технически обоснованное решение о вскрытии и возможности ведения работ в изолированном участке. Для выбора того или иного варианта вскрытия и соответствующих параметров вентиляции необходимо иметь возможность рассчитать влияние повышенных температур окружающих пород на температуру проходящего по этим выработкам воздуха для каждой выработки индивидуально, изменение вследствие этого плотности воздуха для каждой отдельной выработки и влияние образовавшейся тепловой депрессии на распределение воздуха как в выработках аварийного участка, так и во всей шахтной сети.

При движении по горным выработкам воздух изменяет свои термодинамические параметры и, в первую очередь, температуру вследствие теплообмена между воздухом и окружающими выработки горными породами. Чем больше разница между температурой поверхности стенок выработки и температурой воздуха, движущегося по этой выработке, тем больше переходит тепла от окружающих пород к воздуху в единицу времени и тем больше изменяются его параметры.

Для определения температуры воздуха при его движении в горной выработке в [1] предлагается следующая формула:

$$\tau = t - (t - \tau_0) e^{-\frac{\sigma}{\rho c} l}, \quad (1)$$

где τ - температура воздуха в конце участка, град; τ_0 - температура воздуха в начале участка, град; t - температура породы, град; σ - коэффициент температурного процесса, дж/(м·с·К); l - длина участка, м; ρ - плотность воздуха в выработке, кг/м³; c - удельная теплоёмкость воздуха, дж/(кг·К); q - количество воздуха, проходящее по горной выработке, м³/с. Как видно из приведённой формулы (1), в ней не предполагается изменения температуры вмещающих пород.

С глубиной температура горных пород возрастает. Это возрастание характеризуется геотермическим градиентом, который выражает число градусов, на которое повышается температура пород при углублении на один метр. На величину геотермического градиента влияют теплофизические свойства горных пород и различного рода экзотермические и эндотермические процессы, происходящие в недрах [2,3]. Многочисленные исследования геотермии показали [4], что температура пород с глубиной неуклонно возрастает по практически линейному закону.

Предположим, что для рассматриваемой конкретной ограниченной области свойства массива вмещающих горных пород относительно распределения температур однородны во всех направлениях, т.е. что изменение температуры массива вдоль прямой линии, соединяющей две точки массива, будет подчиняться тоже линейному закону. Рассмотрим выработку АВ, в которой воздух движется от точки А к точке В. Введём ось координат ОХ, направление которой совпадает с выработкой АВ, а начало координат точка О – с началом выработки, - точкой А. Схема выработки приведена на рисунке.

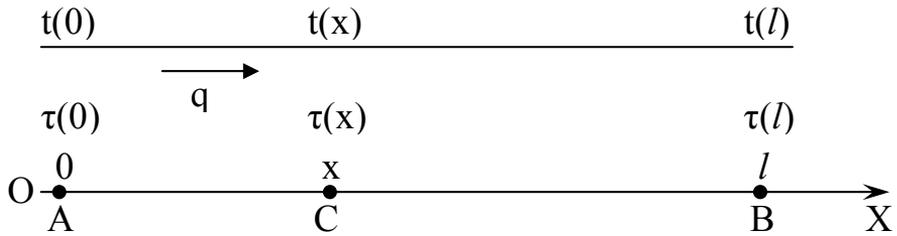


Рис. Схема выработки

Поскольку длина выработки равна l м, то координата точки В будет равна l . Обозначим температуру стенок выработки в точке А через t_0 градусов, а в точке В - через $t(l)$ градусов $^{\circ}\text{C}$. Введём для рассматриваемой выработки температурный градиент, показывающий число градусов, на которое изменяется температура стенок выработки, при движении от начала выработки точки А к концу выработки точке В и обозначим его v град/м. Тогда вычислить его можно будет следующим образом:

$$v = \frac{t(l) - t_0}{l}, \quad (2)$$

а температура стенок выработки в произвольной точке, находящейся на расстоянии x м от точки А (на отрезке АВ), будет определяться как

$$t(x) = t(0) + vx = t_0 + vx.$$

Для сокращения записи и упрощения последующих вычислений положим

$$\alpha = \frac{\sigma}{\rho c},$$

где σ , ρ и c определены выше. Размерность α равна $\text{м}^2/\text{с}$.

Будем обозначать через $\tau(x)$ температуру воздуха в произвольной точке С, находящейся на расстоянии x от начала выработки – точки А, град, а через $t(x)$ – температуру стенок выработки в этой же точке, град.

Запишем уравнение (1) для бесконечно малого участка выработки dx , на котором изменением температуры стенок выработки можно пренебречь:

$$\tau(x + dx) = t(x) + (\tau(x) - t(x))e^{-\frac{\alpha dx}{q}}. \quad (3)$$

Для бесконечно малых dx с точностью до малых более высокого порядка

$$e^{-\frac{\alpha dx}{q}} = 1 - \frac{\alpha dx}{q}.$$

Подставляя это выражение в (3), получим:

$$\tau(x + dx) = t(x) + \tau(x) - t(x) - \tau(x) \cdot \frac{\alpha dx}{q} + t(x) \cdot \frac{\alpha dx}{q}. \quad (4)$$

Температура стенок выработки в начале выработки точке А равна t_0 , Расстояние между началом выработки – точкой А и рассматриваемой точкой С равно x , тогда (4) можно переписать в следующем виде:

$$\tau(x + dx) - \tau(x) = -\tau(x) \cdot \frac{\alpha dx}{q} + (t_0 + vx) \cdot \frac{\alpha dx}{q}.$$

Разделив обе части на dx и устремив dx к нулю, получаем дифференциальное уравнение:

$$\tau'(x) = -\tau(x) \cdot \frac{\alpha}{q} + t_0 \cdot \frac{\alpha}{q} + \frac{\alpha vx}{q}, \quad (5)$$

решая которое, получим:

$$\tau(x) = t_0 + vx - \frac{q v}{\alpha} + C \cdot e^{-\frac{\alpha}{q}x},$$

где C – некоторая постоянная.

Обозначим температуру воздуха в начале выработки через τ_0 , тогда постоянная C будет равна

$$C = \tau_0 - t_0 + \frac{q v}{\alpha},$$

а решение уравнения (5) при таких начальных условиях будет иметь следующий вид:

$$\tau(x) = (\tau_0 - t_0 + \frac{q v}{\alpha}) \cdot e^{-\frac{\alpha}{q}x} + t_0 - \frac{q v}{\alpha} + vx. \quad (6)$$

Дополнительные по сравнению с формулой (1) члены формулы (6) позволяют более точно учесть влияние температуры вмещающих пород и объема проходящего воздуха на изменение температуры воздуха.

Поступая в узлы сопряжения выработок, воздух имеет температуру, сформировавшуюся к концу исходящей выработки (6), а не усреднённую по выработке (1) (если под температурой породы в формуле (1) понимать среднюю температуру стенок выработки). В узле сопряжения поступивший воздух перемешивается, и температура исходящей из этого узла струи воздуха становится равной средневзвешенной величине t_c :

$$t_c = \frac{\sum_{i=1}^n q_i t_i}{\sum_{i=1}^n q_i},$$

где q_i – объём воздуха, исходящий из i -й выработки, $\text{м}^3/\text{с}$; t_i – температура исходящего воздуха, град С° ; n – число выработок, воздух из которых поступает в рассматриваемый узел.

Температура воздуха при прочих одинаковых условиях напрямую определяет его плотность. В таблице 1 приведены значения плотности воздуха для некоторых температур для нормального атмосферного давления (101,3 кПа или 760 мм рт. ст.).

Таблица. Значения плотности воздуха для некоторых температур при нормальном атмосферном давлении

Температура, С°	0	10	20	30	40	50
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	1,293	1,247	1,205	1,165	1,127	1,093

Как следует из таблицы, даже в сравнительно небольшом диапазоне температур плотность воздуха может изменяться на 10 ... 15 %. Если в рассматриваемой области горных выработок имеются перепады температур, это приводит к возникновению тепловой депрессии, которая может повлиять на формирование распределения воздуха по крайней мере в этой части вентиляционной сети. Поэтому её обязательно нужно учитывать при расчёте воздухораспределения и температур в рассматриваемой области.

Описанный подход был использован при разработке модели расчёта распределения воздуха в выработках горного предприятия с учётом тепловой депрессии. Разработанная модель была реализована на ПЭВМ и использовалась для промышленных расчётов [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухан Л., Байер М. Термодинамика рудничной атмосферы. – М.: Недра, 1978. – 255с.
2. Воропаев А.Ф. Теория теплообмена рудничного воздуха и горных пород в глубоких шахтах. – М.: Недра, 1966. – 250с.
3. Справочник по рудничной вентиляции. /Под ред. Ксенофонтовой А.И. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 692с.
4. Кузнецова А.А., Голицын М.В., Крылова Н.М. Атлас палеозойских углей Карагандинского бассейна. – М.: Наука, 1976. – 144с.
5. Емелин П., Попов С., Габайдуллин Р., Кокетаев А. Теоретическое обоснование вскрытия пожароопасного участка 21-К₁₂-ю шахты имени Костенко АО «Миттал Стил Темиртау» - Промышленность Казахстана, 2006, N5. – С.87-89.