Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LV, вып. 1, 1968 г.

УДК 622.613.6

ЗАВИСИМОСТЬ ПЫЛЕОПАСНОСТИ АТМОСФЕРЫ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ВЫСОТНОЙ ОТМЕТКИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В. С. Вепров, В. И. Коротков

Гигиенические нормативы запыленности воздуха в производственных помещениях и подземных выработках, утвержденные Госсанинспекцией СССР, дифференцируются по виду и составу пыли (СН 245—63). Они не учитывают ряда факторов, которые влияют на количество пыли, проникающей в человеческий организм: разновысотность расположения шахт и рудников, климатические условия, степень тяжести выполняемой работы, продолжительность пребывания человека в запыленной среде.

При нормальных атмосферных условиях (давление $B_0 = 760$ *мм рт. ст.* и температура $t_0 = 15°$ С) человек, находясь в покое, вдыхает воздуха 5—8 *л/мин.* С увеличением тяжести выполняемой работы интенсивность дыхания возрастает до 60—120 *л/мин.* Количество вдыхаемого в 1 *мин* воздуха (легочная вентиляция) находится в прямой зависимости от парциального давления кислорода p или, что то же самое, от весового содержания этого газа в окружающей атмосфере. При уменьшении p учащается дыхание и возрастает легочная вентиляция, которая компенсирует недостаток кислорода в воздухе. С увеличением p дыхание человека становится спокойнее, вентиляция легких снижается [Скочинский, Комаров, 1959; Маршак, 1959].

Вдыхаемый воздух очищается от пыли в основном в носоглотке и верхних дыхательных путях, где задерживается крупная фракция пыли (5 *мк* и выше). Более мелкая пыль проникает в легкие и, осаждаясь там, оказывает воздействие на легочную ткань.

Количество пыли, попадающей в легкие человека в 1 *мин*,

$$N = d_д n V 10^{-3},\ мг/мин, \qquad (1)$$

где n — запыленность воздуха, *мг/м*^{3}; $d_д$ — весовая доля пылевых частиц размером менее 5 *мк*, *мг*; V — легочная вентиляция, *л/мин.*

При одинаковой запыленности воздуха высокогорные районы вследствие низкого парциального давления кислорода в атмосфере более пылеопасны, чем равнинные.

Попытаемся установить влияние высоты расположения разработки месторождения над уровнем моря на степень пылеопасности окружающей среды. В дальнейшем под степенью пылеопасности будем понимать отношение

$$C = \frac{N_i}{N_0},$$

где N_0 и N_i — количество пыли, вдыхаемое человеком в 1 *мин* соответственно при нормальных атмосферных условиях B_0 и t_0 и при давлении B и температуре t, *мг/мин.*

В том и другом случае запыленность воздуха примем одинаковой. Допустим, что отметка рабочих горизонтов шахты, расположенной на рав-

нине, совпадает с уровнем моря. Температура воздуха в этом районе и на высокогорье одинакова и равна 15° С. Тогда при запыленности воздуха n в легкие за 1 *мин* поступит пыли при работе на равнине

$$N_0 = d_д n V_0 10^{-3}, \tag{2}$$

в высокогорном районе

$$N_h = d_д n V_h 10^{-3}, \tag{3}$$

где V_0 и V_h — легочная вентиляция, соответственно, при нормальных атмосферных условиях и на высоте h.

Величина V_h находится из выражения, полученного аппроксимацией данных исследований М. Е. Маршака [1959],

$$V_h = V_0 \frac{p_0}{p_h}, \tag{4}$$

где p_0 и p_h — парциальные давления кислорода при атмосферном давлении B_0 и B_h.

Атмосферное давление воздуха складывается из парциальных давлений его газовых компонентов. Исходя из этого,

$$p_0 = B_0 - p_0' \tag{5}$$

и

$$p_h = B_h - p_h', \tag{6}$$

где B_0 и B_h — атмосферное давление на уровне моря и высоте h; p_0' и p_h' — парциальные давления инертной части воздуха (азота, углекислого газа и др.) при атмосферном давлении соответственно B_0 и B_h.

При $h < 9 \div 11$ *км* парциальное давление любого компонента газовой смеси можно выразить через общее давление смеси и объем данного компонента. Тогда уравнения (5) и (6) после небольших преобразований будут иметь вид

$$p_0 = B_0 (1 - L) \tag{7}$$

и

$$p_h = B_h (1 - L), \tag{8}$$

где L — объем инертной части воздуха, который остается практически постоянным в атмосфере при высоте до 9—11 *км*.

Поделив (7) на (8), получим

$$\frac{p_0}{p_h} = \frac{B_0}{B_h}. \tag{9}$$

Уравнение (4) с учетом этого выражения принимает вид

$$V_h = V_0 \frac{B_0}{B_h}. \tag{10}$$

Согласно формуле Бабине [Кедроливанский, Стеризат, 1953]

$$\frac{B_0}{B_h} = \frac{15982\,(1 + \alpha t_{ср}) + h}{15982\,(1 + \alpha t_{ср}) - h}, \tag{11}$$

где 15982 — эмпирический коэффициент; α — температурный коэффициент, равный 0,00366; $t_{ср}$ — среднеарифметическое значение температуры воздуха на уровне моря и высоте h, равное 15° С.

Подставим значение $\frac{B_0}{B_h}$ из (11) в уравнение (10). После небольших преобразований получим формулу для определения легочной вентиляции при нахождении человека на высоте h

$$V_h = V_0 \frac{16850 + h}{16850 - h}. \tag{12}$$

Несмотря на относительную приближенность (здесь не учтено влияние водяного пара), эта формула достаточно точна для практических расчетов.

Подставив значение $\frac{B_0}{B_h}$ из (12) в (3), получим уравнение функциональной зависимости количества вдыхаемой человеком пыли от высоты h при $n =$ = const

$$N_h = N_0 \frac{16850+h}{16850-h} d_д n 10^{-3}, \text{ мг/мин}. \quad (13)$$

Делением уравнения (13) на (2) определим степень пылеопасности окружающей среды по высоте h при разработке месторождения над уровнем моря

$$C_h = \frac{N_h}{N_0} = \frac{16850+h}{16850-h}. \quad (14)$$

Следовательно, для месторождения, расположенного в высокогорном районе, когда $h = +1500$ м, $C_h = 1{,}2$. При добыче угля в шахтах Донбасса на глубине $h = -1000$ м соответственно $C_h = 0{,}89$. Таким образом, в первом случае степень пылеопасности окружающей среды в 1,35 раза выше, чем во втором.

Степень пылеопасности атмосферы для человека зависит не только от высоты, но и температуры воздуха t, величина которой, так же как и h, влияет на легочную вентиляцию.

При повышении температуры весовое количество кислорода в воздухе уменьшается, вследствие чего учащается дыхание. В условиях пониженных температур весовое содержание кислорода в воздухе увеличивается, в результате чего вентиляция легких снижается.

При температуре воздуха t в легкие человека в 1 мин поступает пыли

$$N_t = d_д n V_t 10^{-3}, \text{ мг/мин}, \quad (15)$$

где V_t — легочная вентиляция при температуре t, л/мин,

$$V_t = V_0 \frac{273+t}{273+15}. \quad (16)$$

С учетом (16) уравнение (15) принимает вид

$$N_t = d_д n V_0 \frac{273+t}{273+15} 10^{-3}, \text{ мг/мин}. \quad (17)$$

Поделив (17) на (2), получим выражение для определения степени пылеопасности атмосферы, в зависимости от ее температуры

$$C_t = \frac{N_t}{N_0} = \frac{273+t}{288}, \quad (18)$$

при $t = -43°$ С $\quad C_t = 0{,}8$,
при $t = +30°$ С $\quad C_t = 1{,}05$.

Таким образом, при отработке месторождений, расположенных в области многолетней мерзлоты, открытым способом степень пылеопасности атмосферы в карьерах в жаркие летние дни при $t = 30°$ С в 1,3 раза выше, чем зимой, когда температура воздуха снижается до $-43°$ С.

При совместном воздействии величин t и h степень пылеопасности атмосферы

$$C = C_h C_t = \frac{16850+h}{16850-h} \cdot \frac{273+t}{288}. \quad (19)$$

При решении вопросов, связанных с определением вредности по пыли тех или иных производственных помещений и подземных выработок, несомненно, надо учитывать и тяжесть выполняемой работы, поскольку с повышением физической нагрузки на человека резко возрастает легочная вен-

тиляция, а следовательно, и количество пыли, проникающей в человеческий организм. Следует также учитывать профессию трудящегося, от которой зависит продолжительность его пребывания в запыленной атмосфере.

Выводы

1. Действующие санитарно-гигиенические нормы запыленности воздуха в производственных помещениях и горных выработках не учитывают влияния климатических условий и различия в высотных отметках районов.

2. Степень пылеопасности окружающей среды увеличивается с повышением температуры и высотной отметки разрабатываемого месторождения.

3. Для определения степени пылеопасности атмосферы в зависимости от температуры воздуха и высотной отметки разрабатываемого месторождения следует пользоваться формулой (19).

ЛИТЕРАТУРА

Кедроливанский В. И. и Стеризат М. С. Метеорологические приборы. Гидрометеоиздат, 1953.

Маршак М. Е. Регуляция двыхания у человека. Медгиз, 1959.

Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий (СН—245—63). Госстройиздат, 1963.

Скочинский А. А., Комаров В. Б. Рудничная вентиляция. Углетехиздат, 1959.