Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLVI, вып. 1, 1962 г.

ВЕНТИЛЯЦИЯ КАРЬЕРОВ ЭНЕРГИЕЙ ВЕТРА

Н. З. Битколов, Н. Г. Фатуев

Воздухообмен в карьерах формируется под действием энергии ветра и конвективных потоков, возникающих в результате температурной неоднородности атмосферы по высоте. Эти факторы могут действовать совместно и раздельно.

При наличии ветра и развитых конвективных потоков воздухообмен осуществляется наиболее полно и активно. Наличие только конвективных потоков воздуха при отсутствии ветра несколько ухудшает воздухообмен, но обеспечивает активный перенос вредных примесей из нижней части карьера в верхнюю зону и за пределы карьерного пространства.

Иногда энергию ветра считают достаточной для осуществления воздухообмена в карьерах. Однако решающую роль в осуществлении воздухообмена в карьерах играют конвективные потоки, формирующиеся за счет определенной температурной стратификации атмосферы [2].

Иногда обмен воздуха осуществляется только за счет ветровой энергии. Больше того, определенная температурная стратификация атмосферы в такой период, характеризующаяся понижением температуры с глубиной, создает условия, препятствующие проветриванию карьерного пространства вследствие наличия более тяжелого воздуха в нижней части карьера.

Движение поверхностного воздушного потока в пределах карьерного пространства можно рассматривать как начальный участок плоско-параллельной свободной струи. При этом профиль карьера в определенной степени изменяет структуру воздушного потока и схему его развития. На рис. 1 показано развитие воздушного потока в пределах карьерного пространства. Угол раскрытия свободной струи 15°. Если принять, по аналогии со свободной струей, развивающейся в неограниченном пространстве, внешнюю границу свободной струи прямолинейной, то она распространится до точки сопряжения с наветренным бортом карьера.

По Г. Н. Абрамовичу, центр беспредельной плоско-параллельной струи находится в точке A, т. е. в точке срыва поверхностного воздушного потока с борта карьера [1]. Применяя теорию беспредельной плоско-параллельной струи к карьерам, В. С. Никитин определяет величину скорости по оси X постоянной и равной [3]

$$u_x = 0{,}67u_0,$$

где u_0 — скорость ветра на поверхности, *м/сек*.

Размеры карьера обусловливают циркуляцию в нем только части воздуха, движущегося на поверхности.

Как показали экспериментальные данные, скорость воздушного потока u в направлении X возрастает (рис. 2). В проветривании карьерного пространства принимает участие поверхностный поток определен-

ных размеров, мощность которого зависит от протяженности карьера в направлении ветра, угла наклона наветренного борта и глубины.

Таким образом, мощность воздушного потока, участвующего в проветривания, может быть определена для каждого карьера в зависимости

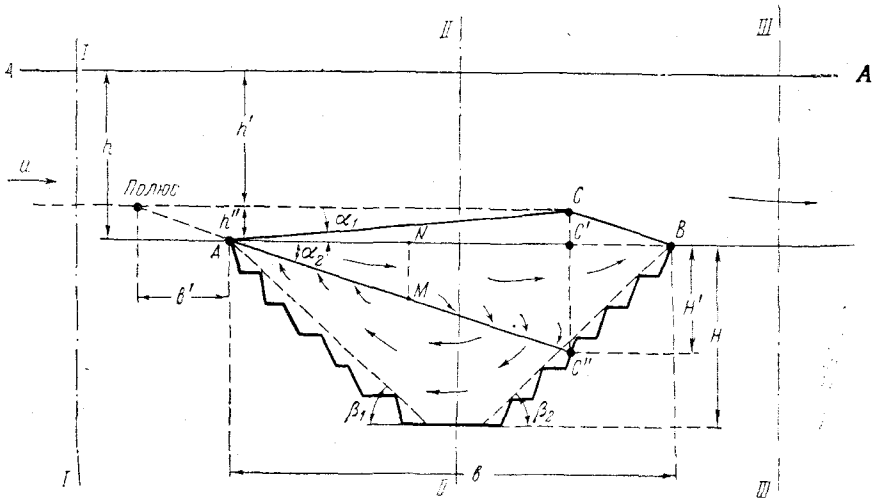


Рис. 1. Схема движения поверхностного воздушного потока в пределах карьера

от его параметров. Если из точки сопряжения C'' внешней границы свободной струи с наветренным бортом восстановить перпендикуляр до пересечения с внутренней границей ядра постоянных скоростей (прямая AC), то отрезок CC' будет определять мощность слоя воздушного потока, участвующего в проветривании карьера.

Количество воздуха, участвующего в проветривании карьера, определяется его геометрическими параметрами и скоростью ветра на поверхности u_0. Предположим, что воздушный поток, движущийся по поверхности, ограничен сверху на бесконечно большой высоте плоскостью AA, а снизу — плоскостью земной поверхности и карьера. Тогда количество воздуха, проходящего через любое сечение ($I—I$, $II—II$, $III—III$ и т. п.), будет одинаковым, т. е.

$$Q_I = Q_{II} = Q_{III} = \text{const}. \quad (1)$$

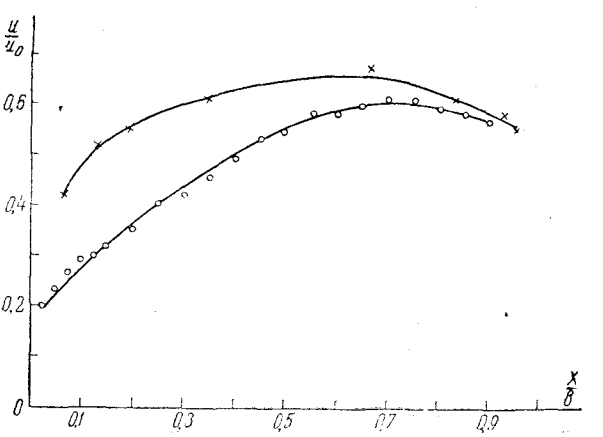


Рис. 2. Изменение скорости воздушного потока по оси X:

X — расстояние до точки измерения скорости u; $в$ — размер карьера в направлении ветра

Количество воздуха в сечениях $I—I$ и $III—III$ может быть подсчитано из выражения

$$Q_I = Q_{III} = u_0 L h, \ м^3/сек, \quad (2)$$

где L — длина карьера в направлении, перпендикулярном плоскости разреза, $м$;

h — расстояние до плоскости AA, $м$.

Для участка AB количество воздуха также является величиной постоянной, но складывается из алгебраических сумм объемов, движущихся в зоне прямых и обратных потоков.

Величина Q_I может быть представлена как (см. рис. 1)

$$Q_I = Q_{h'} + Q_{h''}, \tag{3}$$

откуда

$$Q_{h'} = Q_I - Q_{h''}. \tag{4}$$

С другой стороны,

$$Q_{h'} = u_0 L h', \tag{5}$$

$$Q_{h''} = u_0 L h''. \tag{6}$$

Мощность воздушного потока, участвующего в проветривании,

$$h'' = (b - H' \operatorname{ctg} \beta_2) \operatorname{tg} \alpha_1. \tag{7}$$

Но

$$H' = \frac{b}{\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_2} + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta_2}}, \tag{8}$$

а из теории турбулентной свободной струи

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = 0{,}96a, \quad a = 0{,}1; \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \text{const} = 0{,}268.$$

Тогда

$$h'' = 0{,}096b\left(1 - \frac{\operatorname{ctg} \beta_2}{3{,}74 + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta_2}}\right). \tag{9}$$

Подставляя значение h'' в формулу (6), получим выражение

$$Q_{h''} = 0{,}096 u_0 L b\left(1 - \frac{\operatorname{ctg} \beta_2}{3{,}74 + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta_2}}\right), \tag{10}$$

которое определяет количество воздуха, участвующего в проветривании карьера. При практических подсчетах необходимы средние значения величин L, b и β_2 по нескольким характерным профилям карьера.

Физическая картина проветривания нижней части карьера, находящейся за пределами внешней границы свободной струи, может быть представлена следующим образом. Поверхностный воздушный поток, начиная от точки A (см. рис. 1), расширяется по законам свободной струи. При этом количество воздуха в зоне прямых потоков увеличивается за счет присоединения объемов из зоны обратных потоков.

Величина приращения достигает максимума в точке M. По мере перемещения воздушного потока вправо от точки M количество воздуха в зоне прямых потоков начинает убывать и в точке C достигает своего первоначального значения.

Таким образом, на участке AC количество воздуха, проходящего в зоне обратных потоков, изменяется от нуля до максимума в точке M и затем вновь падает до нуля. Для любого сечения, расположенного в пределах участка AC, в зоне обратных потоков количество проходящего в единицу времени воздуха будет зависеть от объема воздуха, участвующего в воздухообмене карьера в целом и геометрического местоположения рассматриваемого сечения.

Поскольку приращение воздушных масс в пределах карьера имеет место на первой половине участка AC', то количество воздуха, определяющего величину приращения, должно быть половиной объема, участвующего в воздухообмене всего карьера.

Максимальное приращение объема воздуха по длине на участке AN, в соответствии с теорией плоско-параллельной свободной струи [1], составит

$$\Delta Q = 0{,}86 \frac{aX}{h''} \frac{Q_{h''}}{2} \qquad (11)$$

(X — абсцисса рассматриваемого сечения) и равно количеству воздуха в зоне обратных потоков

$$\Delta Q = Q_{\text{о. п}}. \qquad (12)$$

Максимальное приращение ΔQ имеет место в сечении, проходящем через точку M, делящую отрезок AC пополам.

Следовательно, приращение имеет место в интервале изменения X

$$0 \leqslant X \leqslant \frac{b \operatorname{ctg} \alpha_2}{2\left(\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_2} + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta_2}\right)}. \qquad (13)$$

На участке NC' количество воздуха в зоне обратных потоков убывает по зависимости

$$\Delta Q = Q_{\text{о. п}} = 0{,}86 \frac{a}{h''} \left(\frac{b \operatorname{ctg} \alpha_2}{\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_2} + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta_2}} - X \right) \frac{Q_{h''}}{2}. \qquad (14)$$

Переменная X для этого участка изменяется в пределах

$$\frac{b}{2\left(\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_2} + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta_2}\right)} \leqslant X \leqslant \frac{b \operatorname{ctg} \alpha_2}{\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_2} + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta_2}}. \qquad (15)$$

Подставив соответствующие значения $\operatorname{tg} \alpha_2$ и после сокращения для участка AN

$$Q_{\text{о. п}} = 0{,}43 \frac{aX}{h''} Q_{h''}, \qquad (16)$$

для участка NC'

$$Q_{\text{о. п}} = 0{,}43 \frac{a}{h''} \left(\frac{b \operatorname{ctg} \alpha_2}{3{,}74 + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta_2}} - X \right) Q_{h''}. \qquad (17)$$

Таким образом, карьерное пространство проветривается по двум основным схемам.

1. При углах откоса бортов карьера в пределах 15° воздухообмен осуществляется за счет прямых потоков. Объем воздуха, участвующего в проветривании, сохраняется постоянным и зависит только от скорости ветра на поверхности.

2. При углах откоса бортов карьера свыше 20° нижняя часть карьера, расположенная за пределами внешней границы свободной струи, проветривается за счет обратных потоков. Верхняя часть карьера проветривается за счет прямых потоков. Количество воздуха, участвующего в проветривании, определяется скоростью ветра на поверхности и геометрическими размерами карьера: чем больше длина карьера в направлении ветра, тем большее количество воздуха участвует в воздухообмене.

Карьеры с углами откоса в пределах 15—20° относятся к первой схеме.

С точки зрения интенсивности и степени воздухообмена в карьерном пространстве в целом при наличии прямых и обратных потоков можно выделить три участка. Первый участок, примыкающий к подветренному борту карьера, проветривается за счет обратных воздушных

потоков. Второй участок, находящийся в центре карьера, проветривается в верхней части прямыми потоками, в нижней — обратными. Воздушные массы, проветривающие зону обратных потоков на этом участке, последовательно проветривают и аналогичную зону, расположенную на подветренном борту. Третий участок, расположенный на наветренном борту, проветривается в основном за счет прямых воздушных потоков.

Таким образом, в наиболее неблагоприятных условиях находятся первый и второй участки в зоне обратных потоков. С ростом глубины карьера эффективность проветривания падает, так как количество воздуха в зоне обратных потоков не зависит от глубины.

При воздухообмене в карьерах только за счет энергии ветра выделяющиеся при производственных процессах вредные примеси переносятся в основном только в горизонтальном направлении, охватывая слой мощностью около 10 *м*. Это ведет к резкому снижению степени разжижения газов при наличии развитой зоны обратных потоков, обеспечивая достаточное удаление вредных примесей из карьера только при значительных скоростях движения воздуха.

Учитывая, что скорости движения воздуха в зоне обратных потоков в три-четыре и более раз меньше, чем на поверхности, естественный воздухообмен в карьерах за счет энергии ветра в достаточной степени возможен только при больших ветрах на поверхности. Следовательно, проблема проветривания карьера не может быть решена только за счет ветровой энергии.

В естественном проветривании карьера участвуют одновременно температурный фактор и ветровая энергия, причем первому принадлежит главная роль.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. Физматиздат, 1960.
2. Битколов Н. З. Состав атмосферы на Блявинском карьере. Изв. вузов. «Горный журнал», 1958, № 10..
3. Никитин В. С. Атмосфера карьеров и проветривание их ветром. Научные сообщения ИГД АН СССР, 1959, № 1.