

Интенсификация аэрации карьеров с применением направляющих устройств

06, июнь 2013

DOI: 10.7463/0613.0577364

Старостин И. И., Бондаренко А. В.

УДК 622.4

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

anysabond@rambler.ru**Введение**

С развитием открытой разработки полезных ископаемых, на долю которых приходится до 80% объемов продукции, увеличиваются размеры карьеров, их глубина достигает 500-700 метров. Ведение вскрышных и работ по добычи полезных ископаемых (буровзрывных, когда количество одновременно взрываемых веществ достигает сотни тонн, погрузочно-транспортных и др.) сопровождается значительным пылегазовыделением и превышением предельно-допустимых концентраций вредных веществ в воздухе рабочих зон. Растёт нагрузка на окружающую воздушную среду. В последние годы отмечаются случаи образования таких аэрологических ситуаций, при которых возникает необходимость прекращения всех работ в карьере, что влечет за собой значительный экономический ущерб.

Ослабленная скорость ветра для большинства горнодобывающих районов страны составляет до 35% годового времени, что значительно затрудняет естественный воздухообмен в выработанном пространстве и приводит к отмеченным ситуациям.

Для интенсификации аэрации (организованный естественный воздухообмен) карьеров предложен ряд устройств, позволяющих повысить эффективность проветривания выработанного пространства [1, 2].

Известно устройство для аэрации карьеров [1], включающее возводимые на пути движения ветрового потока заграждения, в том числе отвалы горных пород, устанавливаемые на одной линии или под углом на расстоянии друг от друга и увеличивающие скорость ветрового потока при движении в суживающемся пространстве между заграждениями. Его недостатком является стационарность, что не позволяет управлять воздушными потоками при изменении их направления, а также невозможность изменения направления ветрового потока по вертикали вглубь карьера.

Другое предлагаемое устройство [2] представляет плавающие надувные заграждения в виде лопаток, устанавливаемых над выработанным пространством карьера, удерживаемых и управляемых с земли тросами передвижных лебедок и отклоняющих по вертикали ветровой поток вглубь карьера. К недостаткам этого устройства относятся: использование только одного из факторов повышения эффективности аэрации (изменение направления ветрового потока без его ускорения на срыве с верхней бровки подветренного бора карьера), сложности, связанные с эксплуатацией надувных конструкций (периодическое наполнение газом, снос при изменении направления и скорости ветра, взрывопожароопасность), недостаточная надежность при быстром изменении нагрузок.

Постановка задачи

Таким образом, целью работы является разработка конструкции устройства интенсификации аэрации карьеров, использующей совокупность факторов (изменение направления ветрового потока, увеличение скорости и объема воздушных масс на входе в карьер), повышающих эффективность аэрации карьеров, а также определение оптимальных параметров устройства и исследование аэродинамики воздушных течений в карьерах с различной геометрией выработанного пространства при его использовании.

Для интенсификации аэрации предложено устройство, включающее наклонные профилированные лопатки 1 на опорах 2, устанавливаемые стационарно или мобильно на железнодорожных платформах на верхней площадке подветренного борта карьера у бровки (Рис. 1). Поверхностный ветровой поток, попадая в устройство, увеличивает скорость в конструкциях конфузоров, образуемых лопатками и верхней площадкой подветренного борта карьера в результате его поджатия. Одновременно происходит изменение направления воздушного потока на наиболее эффективное для проветривания по подветренному борту в глубь карьера. Рекомендуемая конструкция устройства для аэрации карьеров защищена патентом на полезную модель [3].

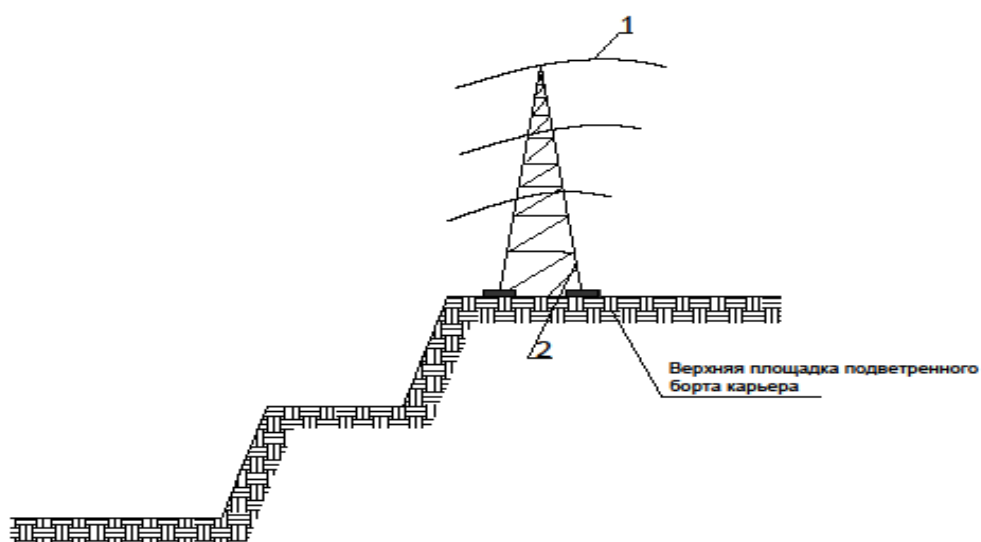


Рис. 1. Устройство для аэрации карьеров

Расчетная модель

Исследование эффективности применения направляющего устройства проводилась путём моделирования в аэродинамической трубе при числах Рейнольдса $Re = (0.6 - 2.14)10^5$, что соответствует развитому турбулентному течению. Использовался критерий равенства средних скоростей воздушных течений в модели и натуре ($U_m = U_n$) при изотермическом состоянии атмосферы. Модели карьеров выполнялись в масштабе $M 1:500$. Моделировались карьеры глубиной $H \leq 400$ м, шириной дна $E = 100 - 500$, с углами подветренного (α_n) и наветренного (α_n) бортов $20 - 80^\circ$. Скорость ветрового воздушного потока составляла $U_0 \leq 3$ м/с и измерялась термоанемометром.

Так как воздушные течения от направляющего устройства высотой менее 20 м, замыкаясь в пределах циркуляционных зон двух – пяти ближайших к нему уступов, характеризуются малой эффективностью аэрации, исследования проводились применительно к устройствам высотой $h = 20-100$ м. Ширина лопаток изменялась в пределах $l = 7.5 - 75$ м. При этом количество лопаток ($n=3$), их профили определялись с учётом минимизации потерь в устройстве [4].

Замеры проводились по центральной плоскости течений направляющего устройства. Рассматривалась наиболее затруднительная схема проветривания карьера - рециркуляционная, где присутствует зона циркуляции воздушных потоков, в которой накапливаются загрязнения (Рис. 2).

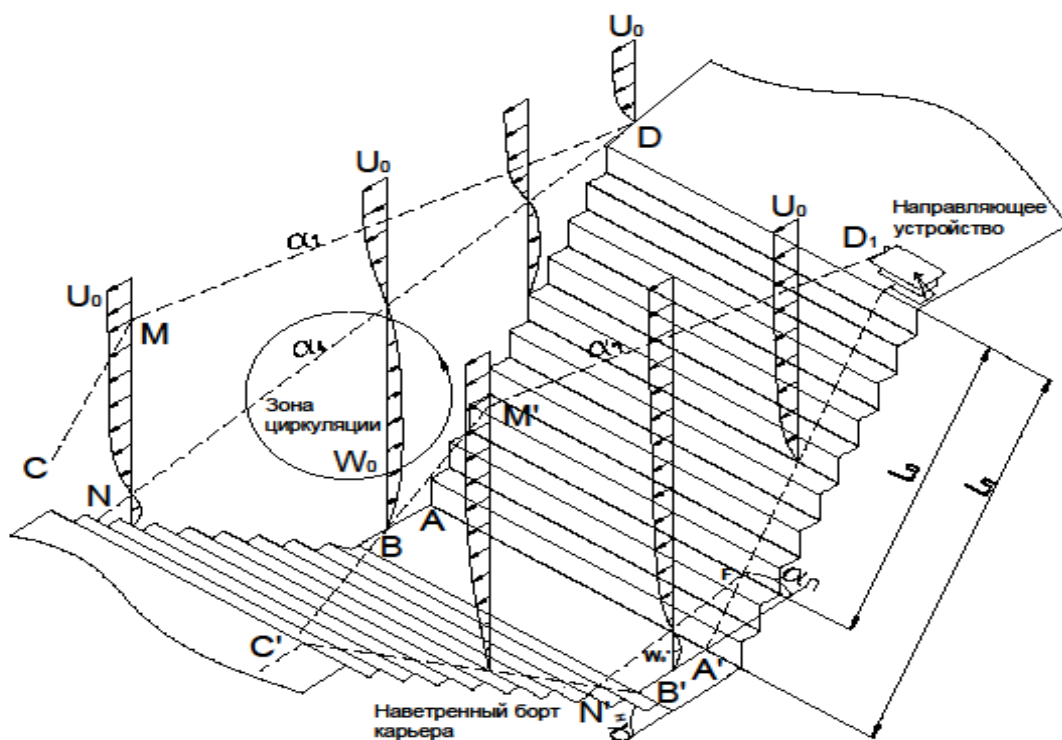


Рис. 2. Схема проветривания карьера с применением устройства для аэрации

При условии $\alpha_{\Pi} \leq \alpha_4'$, где α_4' – угол внешней границы струи направляющего устройства, по направлению течения выделяются три участка. На прямоточном участке L_0 струя развивается как полуограниченная. Начиная от точки срыва её с подветренного борта (точка F') и до встречи с наветренным бортом (точка N'), струя является свободной (циркуляционный участок). Ниже линии $F'N'$ образуется зона обратных потоков. На наветренном борту (участок $N'C'$) струя вновь становится полуограниченной.

В случае, когда величина прямоточного участка струи равна или больше длин подветренного борта, т. е. $L_0 \geq L_{\Pi}$, струя по всей длине будет полуограниченной, а зона обратных потоков отсутствовать.

Таким образом, критериями оценки эффективности применения направляющего устройства могут служить:

1. Объём зоны обработанных потоков (W') и длина прямоточного участка (L_0);
2. Скорости прямых (U) и обратных потоков (U_1).

Основываясь на этих критериях, рассмотрим влияние геометрических параметров устройства на интенсивность аэрации карьеров.

Полученные результаты

Как показывают результаты исследования, выборочно представленные в таблице 1 для карьеров глубиной 300 и 400 м, и углами бортов 40° , при изменении высоты устройства h от 20 до 100 м, относительная величина объема зоны обратных потоков w'_0/w_0 и относительная величина длины прямоточного участка L_o/L_{π} зависят только от скорости ветра U_o на поверхности, где W_o – объем зоны обратных потоков при естественном проветривании без направляющего устройства, L_{π} – длина подветренного борта карьера (см. рис. 2).

Следовательно, применение этих критериев не позволяет оценить влияние высоты устройства на эффективность аэрации. В тоже время увеличение h приводит к возрастанию относительной скорости воздушных течений U_1/U_o . Наибольшее увеличение U_1 (до 75–80%) максимальной скорости, характерной для $h=100$ м, приходится при измерении высоты от 20 до 40 м. Исходя из этого, оптимальная высота направляющего устройства может быть принята равной $h=30$ м.

Таблица 1.

Влияние высоты направляющего устройства на интенсивность аэрации карьеров

Параметры карьера	h, м	w'_0/w_0			L_o/L_{π}			U_1/U_o		
		U_o , м/с			U_o , м/с			U_o , м/с		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
H=300 м $\alpha_{\pi}=\alpha_n=40^\circ$ E=100м	20	0,66	0,24	0	0,42	0,68	1	0,12	0,15	1
	30	0,63	0,23	0	0,42	0,70	1	0,22	0,24	1
	60	0,62	0,22	0	0,40	0,72	1	0,25	0,26	1
	100	0,66	0,21	0	0,42	0,71	1	0,30	0,28	1
H=400 м $\alpha_{\pi}=\alpha_n=40^\circ$ E=100 м	20	0,88	0,51	0,17	0,26	0,50	0,72	0,12	0,12	0,17
	30	0,88	0,52	0,19	0,26	0,50	0,72	0,14	0,15	0,17
	60	0,86	0,53	0,20	0,26	0,50	0,72	0,20	0,22	0,18
	100	0,80	0,53	0,19	0,26	0,53	0,72	0,22	0,25	0,20

Исследование влияния ширины лопаток l (таблица 2) на аэрацию карьера показывает, что при ширине нижней лопатки $l_1 = 20$ м, средней $l_2 = 30$ м, верхней $l_3 = 40$ м происходит наибольшее усиление естественного воздухообмена. Аналогичная закономерность прослеживается и при других скоростях ветрового потока. Уменьшение ширины лопаток приводит только к дополнительной турбулизации потока, а следовательно, и более быстрому его затуханию.

Влияние ширины лопаток направляющего устройства на аэрацию карьера ($U_0 = 2 \text{ м/с}$)

Параметр карьера	Ширина лопаток $l, \text{м}$	$\frac{W_0}{W_0'}$	$\frac{L_0}{L_{\Pi}}$	$\frac{U_1}{U_0}$
$H = 300 \text{ м},$ $\alpha_{\Pi} = \alpha_H = 40^\circ,$ $E = 100 \text{ м}$	$l_1 = l_2 = l_3 = 7.5 \text{ м}$	0.89	0.14	0.11
	$l_1 = 7.5 \text{ м}; l_2 = 15 \text{ м}; l_3 = 20 \text{ м}$	0.56	0.44	0.31
	$l_1 = 20 \text{ м}; l_2 = 30 \text{ м}; l_3 = 40 \text{ м}$	0.24	0.70	0.49
	$l_1 = 50 \text{ м}; l_2 = 60 \text{ м}; l_3 = 70 \text{ м}$	0.22	0.74	0.45

Влияние угла наклона лопаток направляющего устройства θ на интенсивность воздухообмена в карьере следует рассматривать для случая, когда струя развивается как свободная ($L_0 = 0$) и полуограниченная ($L_0 > 0$). Для свободной струи, с увеличением θ возрастает α_4' , что приводит к уменьшению W_0' . Угол раскрытия внутренней границы струи α_1' , остается неизменным и равным $10-12^\circ$. В то же время установка лопаток под углом $\theta > 40^\circ$ резко уменьшает скорость в зоне циркуляции.

Результаты исследований и аналогичного анализа показали, что оптимальные углы наклона лопаток $\theta_{\text{опт}}$ могут быть приняты в зависимости от углов наклона подветренного борта карьера (α_{Π}) равными: для $40^\circ \leq \alpha_{\Pi} \leq 47^\circ$ $\theta_{\text{опт}} = 30 - 40^\circ$; $30^\circ \leq \alpha_{\Pi} \leq 40^\circ$ $\theta_{\text{опт}} = 30^\circ$; для $\alpha_{\Pi} \geq 30^\circ$ $\theta_{\text{опт}} = \alpha_{\Pi}$. При этом длина прямоточного участка L_0 для случая полуограниченной струи, как следует из результатов эксперимента, зависит от скорости ветра на поверхности и определяется выражением

$$L_0 = 130U_0 \quad (1)$$

Изменение вертикальных профилей скорости в струйном пограничном слое центральной плоскости как на прямоточном, так и для всей струи на рециркуляционном участке описываются формулой Шлихтинга [5,6]

$$U/U_0 = \left[1 - \left(0.44 \frac{z'}{z'_{0.5U_0}} \right)^{3/2} \right]^2 \quad (2)$$

В прибортовой области пограничного слоя распределение скоростей в вертикальных сечениях подчиняется зависимости:

$$U/U_0 = \left(1 - \frac{z'}{z'_{U=0}} \right)^{1/2} \quad (3)$$

где $z'_{0.5U_0}$ и $z'_{U=0}$ — аппликаты точек со значениями скоростей $0.5U_0$ и нулевой скоростью соответственно.

Решение системы уравнений (2) и (3) показывает, что профили скоростей сопрягаются на высоте $0.2b$ от поверхности уступов, где b – высота пограничного слоя.

Скорости обратных потоков при применении направляющего устройства увеличивается по сравнению с естественным проветриванием для карьеров с различной геометрией выработанного пространства на 35-50%.

Заключение и выводы

Полученные результаты дают возможность применения направляющего устройства для интенсификации аэрации карьеров за счет увеличения скорости ветрового потока на срыве в карьер, уменьшения объема зоны циркуляции и увеличения скоростей воздушных потоков в ней. Исследование аэродинамики воздушных течений в выработанном пространстве позволяет проводить расчеты скоростей течений для оценки загрязнения среды.

Новизна конструкции устройства для аэрации карьеров в 2012 году защищена патентом на полезную модель.

Список литературы:

1. Бухман Я.З., Белоусов В.И. Способ проветривания карьеров : а. с. № 264310 СССР. 1970. 14 с.
2. Морин А.С, Буткин В.Д., Бартель А.Я., Касьянова Е.Н., Зимаков Е.А.
Устройство для проветривания карьеров : пат. № 2172838 РФ. 2001. 5 с.
3. Старостин И.И., Ксенофонтов Б.С., Бондаренко А.В., Капитонова С.Н.
Устройство для аэрации карьеров : пат. на полезную модель № 118687 РФ. 2012. 4 с.
4. Идельчик И.И. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
5. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя : пер. с нем. М.: Наука, 1974. 712 с.
6. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 840 с.

Intensification of aeration of pits with the use of guiding devices

06, June 2013

DOI: 10.7463/0613.0577364

Starostin I.I., Bondarenko A.V.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

anytabond@rambler.ru

The design of the guiding device was developed for intensification of aeration of pits, which allows one to increase the speed of straight and inverse air streams in working zones of excavations during weakened natural air exchange, and improve working conditions. On the basis of modeling and analysing research results, optimum parameters of an aeration device were determined; aerodynamics of air streams in pits with various geometry of the developed space was investigated; calculated dependences for determination of speeds of air wind currents were obtained. Thus, use of a guiding device increases efficiency of aeration of the developed space of a pit at the expense of increase in speed of a wind stream on failure into a pit, reduction of volume of a circulation zone and reduction of speeds of air streams in it.

Publications with keywords: [modelling](#), [the open development of mineral resources](#), [aeration \(organized by natural ventilation\) quarries](#), [device for intensification of aeration quarries](#)

Publications with words: [modelling](#), [the open development of mineral resources](#), [aeration \(organized by natural ventilation\) quarries](#), [device for intensification of aeration quarries](#)

References

1. Bukhman Ia.Z., Belousov V.I. *Sposob provetrivaniia kar'erov* [Method of ventilation pits]. Author's certificate USSR, no. 264310. 1970.
2. Morin A.S, Butkin V.D., Bartel' A.Ia., Kas'ianova E.N., Zimakov E.A. *Ustroistvo dlia provetrivaniia kar'erov* [Device for ventilating mines]. Patent RF, no. 2172838. 2001.
3. Starostin I.I., Ksenofontov B.S., Bondarenko A.V., Kapitonova S.N. *Ustroistvo dlia aeratsii kar'erov* [Device for aeration pits]. Utility patent RF, no. 118687 RF. 2012.
4. Idel'chik I.I. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniiam* [Handbook of hydraulic resistance]. Moscow, Mashinostroenie, 1992. 672 p.
5. Shlikhting G. *Teoriia pogranichnogo sloia* [Theory of the boundary layer]. Transl. from German. Moscow, Nauka, 1974. 712 p.
6. Loitsianskii L.G. *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Fluid mechanics]. Moscow, Drofa, 2003. 840 p.