

А.В. Николаев**УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ НЕГЛУБОКИХ
КАРЬЕРОВ И ОЧИСТКИ ВЫДАВАЕМОГО ВОЗДУХА
ОТ ПЫЛИ**

Приведено описание предлагаемой конструкции установки для проветривания неглубоких карьеров. Использование в установке воздухопроводов, способных перемещаться как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости позволяет увеличить площадь зоны проветривания карьера. Расположенный в установке циклон позволяет очищать проходящий через установку воздух от крупных фракций и пыли. Также в статье приведен алгоритм расчета требуемой производительности установки в зависимости от фракционного состава пыли. Для повышения производительности установки в вентиляционной трубе предлагается размещать вентилятор, выполняющий роль эжектирующей установки, что позволяет повысить энергетическую эффективность проветривания. С учетом фракционного состава пыли, образующейся в карьере после взрыва и во время работ и его глубины можно выбрать параметры установки для проветривания карьера и очистки выдаваемого воздуха от пыли. Кроме этого в статье приводится расчет общего объемного расхода воздуха в вентиляционной трубе при использовании эжектирующей установки, после чего появляется возможность выбрать требуемую производительность нагнетательных вентиляторов. *Ключевые слова:* проветривание, карьер, очистка воздуха от пыли, циклон, эжектирующая установка, воздухопровод, вентиляционная труба.

При добыче полезного ископаемого открытым способом значимой задачей является проблема проветривания и снижения запыленности рабочих зон карьеров. Связано это с тем, что после взрыва в карьере согласно [1] до 40–60% вредных примесей остается во взорванной горной массе, т.е. при отсутствии эффективных средств и способов их подавления возникает опасность отравления горнорабочих при экскавации и транспортировке добытого полезного ископаемого.

Основными источниками вредных примесей являются следующие группы.

1. Объемные, при которых удельный выброс пыли в пылегазовое облако согласно [2] достигает 0,027–0,17 кг/м³ горной массы. При этом 63–80% осевшей в карьере пыли имеет дисперсность менее 1,4 мкм. Общее количество образовавшихся оксидов углерода достигает 60–93 л/кг взрывчатого вещества (ВВ), а оксидов азота 3,5–7 л/кг ВВ [3, 4].

2. Точечные, при которых вредные вещества выделяются либо с определенной точки, либо с небольшой площади (экскаваторы, буровые станки и т.д.).

3. Линейные и площадные, при которых вредные вещества выделяются с площади с большими линейными размерами.

Разработанные и применяемые в настоящее время установки для проветривания карьеров [5–9 и др.] в достаточной мере решают задачу очистки от объемных источников выделения. Однако, данные разработки неспособны в полной мере решить проблему проветривания при выбросах от точечных и линейных источников. Кроме того, при применении подобных установок для проветривания карьеров не обеспечивается очистка воздуха от пыли, а в слу-

чае применения вертолетных двигателей, требуется значительное количество горючего, что связано с достаточно большими экономическими затратами.

С целью повышения эффективности проветривания и очистки воздуха от пыли от всех вышеприведенных источников загрязнения в неглубоких карьерах предлагается использовать установку [10], конструкция которой представлена на рис. 1 и 2.

Воздух засасывается в воздуховоды за счет работы нагнетательных вентиляторов, расположенных в вентиляторных камерах. Нагнетательные вентиляторы приводятся во вращение двигателями, которые могут быть установлены в отдельных камерах. Далее воздух поступает в кольцевые каналы, из которых через сопла он попадает в циклонную камеру, где закручивается вниз по спирали. Каждый из нагнетательных вентиляторов усиливает закручивание струи воздуха в камере. В результате этого под действием центробежных сил воздух очищается от пыли и крупных фракций, которые собираются в пылесборнике. Очищенный от пыли воздух удаляется через вентиляционную трубу.

Каждый воздуховод с помощью штока и направляющей фиксируется под заданным углом по вертикали и горизонтали вдоль продольной оси установки с целью забора загрязненного воздуха из тех рабочих объемов, где необходимо осуществить проветривание. Поворачиваясь вместе с вращающейся платформой, воздуховоды обеспечивают забор загрязненного воздуха с точечных и линейных источников загрязненного воздуха на всей площади карьера.

Эффективность проветривания и очистки воздуха от пыли будет зависеть от габаритных размеров установки, от диаметра циклона и угла поворота на-

правляющих сопел. В зависимости от этих величин выбирается требуемая производительность и установленная мощность нагнетательных вентиляторов.

Требуемую производительность можно определить по формуле [11, 12]

$$Q_{\text{уст}} = \frac{\pi \cdot v_r \cdot D_{\text{ц}}^2}{4}, \quad (1)$$

где v_r – скорость движения частицы пыли в циклоне в радиальном направлении, м/с; $D_{\text{ц}}$ – диаметр циклона, м.

Скорость движения частицы пыли в радиальном направлении можно принять за скорость движения воздуха в циклоне, величина которой согласно [11, 12] найдется по формуле

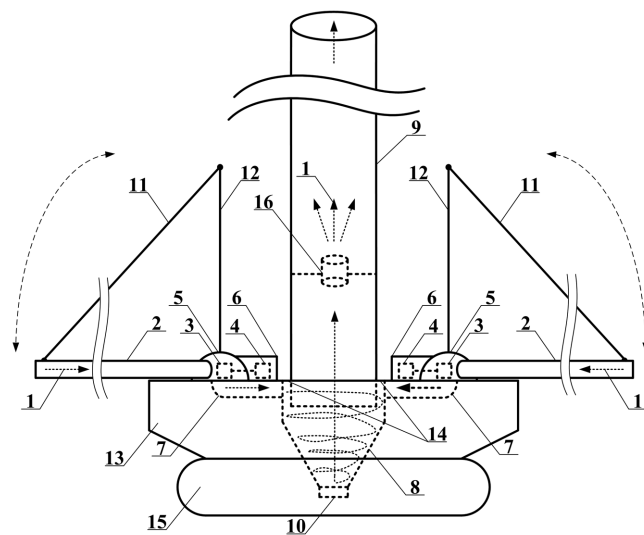


Рис. 1. Установка для проветривания карьера (вид сбоку): 1 – воздух, поступающий в установку; 2 – воздуховоды; 3 – нагнетательные вентиляторы; 4 – двигатели вентиляторов; 5 – вентиляторные камеры; 6 – камеры двигателей; 7 – кольцевые каналы; 8 – циклонная камера; 9 – вентиляционная труба; 10 – пылесборник; 11 – направляющие воздуховодов; 12 – штоки; 13 – корпус установки; 14 – вращающаяся платформа; 15 – ходовая часть; 16 – вентилятор-эжектор

$$v_r = \frac{v_T^2}{18 \cdot R_q} \rho_q \frac{d^2}{\mu}, \quad (2)$$

где v_T – тангенциальная составляющая скорости движения частицы пыли в циклоне, м/с; R_q – радиус кривизны траектории частицы пыли, м; ρ_q – плотность частицы пыли, кг/м³; d – диаметр частицы пыли, м; μ – динамическая вязкость запыленного воздуха, Па·с.

В случае, если статического давления нагнетательных вентиляторов будет недостаточно для проветривания карьера, например, при увеличении его рабочей зоны в ходе эксплуатации, внутри вентиляционной трубы можно разместить один вентилятор, представляющий собой эжектирующую установку (рис. 1, 2). После выхода струи воздуха из вентилятора-эжектора образуется «воздушный поршень», т.е. воздушный поток, способствующий удалению очищенного воздуха на поверхность через вентиляционную трубу.

Общий объемный расход воздуха в вентиляционной трубе на выходе вентилятора согласно [13] определяется по формуле

$$Q_{тр} = Q_{в} \sqrt[3]{B \cdot \Delta \cdot \left[\frac{(S_{тр} - S_{в})^2}{S_k^2} \cdot e - 1 \right]}, \quad (3)$$

где $Q_{в}$ – производительность вентилятора-эжектора, м³/с; $\Delta = \rho/2g$, кг·с²/м⁴; ρ – плотность воздуха (рассчитывается при известном атмосферном давлении и температуре воздуха или принимается равной 1,2), кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $S_{тр}$ – сечение вентиляционной трубы, м²; $S_{в}$ – сечение, занимаемое вентилятором-эжектором в вентиляционной трубе, м²; S_k – сечение выходного отверстия вентилятора (начальное сечение струи воздуха), м²;

e – коэффициент безразмерного запаса струи, равный $e = \frac{1,472 \cdot D}{(2 \cdot b_c + 0,0029 \cdot D)}$;

D – диаметр выходного отверстия вентилятора-эжектора, м; b_c – расстояние от оси вентилятора-эжектора до стенки вентиляционной трубы, м;

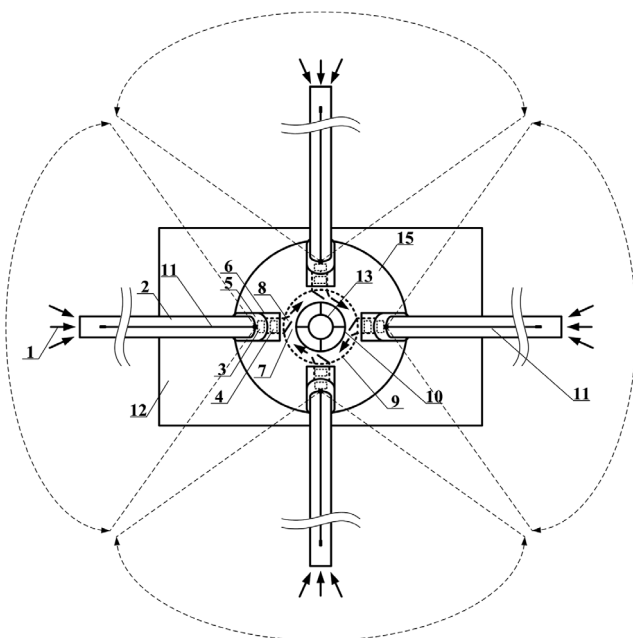


Рис. 2. Установка для проветривания карьера (вид сверху): 1 – воздух, поступающий в установку; 2 – воздуховоды; 3 – нагнетательные вентиляторы; 4 – двигатели вентиляторов; 5 – вентиляторные камеры; 6 – камеры двигателей; 7 – кольцевые каналы; 8 – направляющие сопла; 9 – циклонная камера; 10 – вентиляционная труба; 11 – направляющие воздуховоды; 12 – вращающаяся платформа; 13 – вентилятор-эжектор

$$B = \frac{S_{\text{тр}}^2}{(S_{\text{тр}} - S_{\text{в}})^2 \cdot \left[R_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр}}^2 + 1,091 \cdot \Delta \cdot S_{\text{тр}}^3 \cdot \sqrt{\left(\frac{R_{\text{тр}}}{2 \cdot \Delta} \right)^3 - \Delta} \right]};$$

$R_{\text{тр}}$ – аэродинамическое сопротивление вентиляционной трубы, $(\text{Н} \cdot \text{с}^2)/\text{м}^8$, равное согласно [13]

$$R_{\text{тр}} = \alpha \frac{P_{\text{тр}} \cdot L_{\text{тр}}}{S_{\text{тр}}^3}, \quad (4)$$

где α – коэффициент аэродинамического сопротивления трения; $P_{\text{тр}}$, $L_{\text{тр}}$ и $S_{\text{тр}}$ – соответственно периметр (м), высота (м) и площадь поперечного сечения (м^2) вентиляционной трубы.

Тогда требуемая производительность нагнетательных вентиляторов найдется как

$$Q_{\text{н.в.}} = Q_{\text{уст}} - Q_{\text{тр.}} \quad (5)$$

Методом подбора требуемых параметров нагнетательных вентиляторов и вентилятора-эжектора в вентиляционной трубе, при известной ее высоте, устанавливается режим работы установки для проветривания карьера, при котором будет обеспечиваться обеспыливание исходящего из нее воздуха.

Таким образом, при известном фракционном составе пыли, образующейся после взрыва и во время работ, в зависимости от глубины карьера можно выбрать параметры установки для его проветривания и очистки выдаваемого воздуха от пыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конорев М.М., Нестеренко Г.Ф., Павлов А.И. Вентиляция и пылегазоподавление в атмосфере карьеров. 2-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 440 с.
2. Бересневич П.В., Лобода А.И., Ребристый В.Н. Прогноз способов и средств нормализации атмосферы глубоких карьеров методом экспертной оценки // Горный журнал. – 1990. – № 8. – С. 52–55.
3. Бересневич П.В., Наливайко В.Г. Снижение выбросов пыли и газов в атмосферу карьеров и окружающую среду при массовых взрывах. – М.: Черметинформация, 1989. – Вып. 4. – 23 с.
4. Бересневич П.В., Наливайко В.Г. Сокращение вредных выбросов в атмосферу Кривбасса при массовых взрывах в карьерах // Всеросс. науч.-техн. семинар по безопасности на открытых горных работах (Кривой Рог, 16–18 окт. 1990): тез. докл. – Кривой Рог: КГРИ, 1990. – С. 8–9.
5. Конорев М.М. и др. А.с. 859648 СССР, МКИ 3 Е 21 F 1/00. Способ проветривания карьеров. № 2402125; завл. 01.09.76; опубл. 30.08.81, Бюл. 32.
6. Конорев М.М. и др. А.с. 1195014 СССР, МКИ 3 Е 21 F 1/08. Карьерный турбовентилятор. № 3756646; завл. 19.03.84; опубл. 30.11.85, Бюл. 44.
7. Черницкий И.А. и др. А.с. 1652604 СССР, МКИ 5 Е 21 F 1/00. Установка для проветривания карьеров. № 4699706; завл. 05.06.09; опубл. 30.05.91, Бюл. 20.
8. Конорев М.М. и др. А.с. 596020 СССР, МКИ 2 Е 21 F 1/08. Карьерный турбовентилятор. № 2364804; завл. 24.05.76; опубл. 07.10.80, Бюл. 37.
9. Конорев М.М., Блонский М.В., Нестеренко Г.Ф. Установка для проветривания карьеров: пат. 2167302 Рос. Федерация: МПК Е 21 А 1/00; заявитель и патентообладатель Институт горного дела УрО РАН. № 97105433; заявл. 07.04.1997; опубл. 20.05.2001, Бюл. № 4.
10. Николаев А.В., Николаев В.А., Алыменко Н.И. Установка для очистки воздуха от пыли: пат. 2536881 Рос. Федерация: МПК Е 21 А 1/00; заявитель и патентообладатель ФГБУН «Горный институт УрО РАН». № 2013142733; заявл. 19.09.2013.

11. Гиргидов А.Д. Турбулентная диффузия с конечной скоростью. – СПб.: СПбГТУ, 1996. – 260 с.
12. Тананаев А.В. Течения в каналах МГД-устройств. – М.: Атомиздат, 1979. – 368 с.
13. Мохирев Н.Н., Радько В.В. Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 324 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Николаев Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: nikolaev0811@mail.ru,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

UDC 551.5:622.271

INSTALLATION FOR AIRING NOT DEEP PITS AND CLEAN ISSUED BY THE AIR OF DUST

Nikolaev A. V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: nikolaev0811@mail.ru,
Perm National Research Polytechnic University, Perm, 614990, Russia.

The article provides a description of the proposed facility design for ventilation shallow pits. Use in the installation a ductwork, capable of moving in both horizontal and vertical plane can increase the size of the area of ventilation pit. Located in the cyclone installation allows dust extraction passing through the installation air of large fractions and dust. The article also shows the algorithm for calculating the required output settings according to the fractional composition of the dust. To improve performance, install a fan is proposed that, acting as installation for ejection that can improve the energy efficiency of ventilation. Taking into account the fractional composition of the dust generated in the pit after the explosion and during work and its depth can select installation options for airing pit and cleaning the air issued from dust. In addition, this article provides a calculation of the total volume flow of air in the vent pipe using ejecting installation, after which it is possible to select the desired performance ductworks.

Key words: Airing, pit, dust extraction, cyclone, installation for ejection, ductwork, vent.

REFERENCES

1. Konorev M.M., Nesterenko G.F., Pavlov A.I. *Ventilyatsiya i pylegazopodavlenie v atmosfere kar'erov. 2-e izd.* (Ventilation and suppression of dust and gases into the atmosphere quarries, 2nd edition), Ekaterinburg, UrO RAN, 2010, 440 p.
2. Beresnevich P.V., Loboda A.I., Rebristyi V.N. *Gornyi zhurnal.* 1990, no 8, pp. 52–55.
3. Beresnevich P.V., Nalivaiko V.G. *Snizhenie vybrosov pyli i gazov v atmosferu kar'erov i okruzhayushchuyu sredu pri massovykh vzryvakh* (Reduce emissions of dust and gases into the atmosphere quarries and the environment during mass explosion), Moscow, Chernetinformatsiya, 1989, issue 4, 23 p.
4. Beresnevich P.V., Nalivaiko V.G. *Vserossiiskii nauchno-tekhnicheskii seminar po bezopasnosti na otkrytykh gornykh rabotakh: tezisy dokladov.* Krivoi Rog, 16–18 okt. 1990 (All-Russian scientific-technical seminar on safety in open-cast mining: abstracts. Krivoi Rog, October 16–18, 1990), Krivoi Rog, KGRI, 1990, pp. 8–9.
5. Konorev M.M. and others. *Copyright certificate no 859648 USSR, MKI 3 E 21 F 1/00*, 30.08.81.
6. Konorev M.M. and others. *Copyright certificate no 1195014 USSR, MKI 3 E 21 F 1/08*, 30.11.85.
7. Chernitskii I.A. and others. *Copyright certificate no 1652604 USSR, MKI 5 E 21 F 1/00*, 30.05.91.
8. Konorev M.M. and others. *Copyright certificate no 596020 USSR, MKI 2 E 21 F 1/08*, 07.10.80.
9. Konorev M.M., Blonskii M.V., Nesterenko G.F. *Patent RU2167302: МПК E 21 A 1/00*, 20.05.2001.
10. Nikolaev A.V., Nikolaev V.A., Alymenko N.I. *Patent RU2536881: МПК E 21 A 1/00*, 19.09.2013.
11. Girgidov A.D. *Turbulentnaya diffuziya s konechnoi skorost'yu* (urbulent diffusion with finite speed), Saint-Petersburg, SPbGTU, 1996, 260 p.
12. Tananaev A.V. *Techeniya v kanalah MGD-ustroystv* (Flow in the channels of MHD devices), Moscow, Atomizdat, 1979, 368 p.
13. Mokhirev N.N., Rad'ko V.V. *Inzhenernye raschety ventilyatsii shakht. Stroitel'stvo. Rekonstruktsiya. Eksploatatsiya* (Engineering calculations mine ventilation. Building. Reconstruction. Operation), Moscow, ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007, 324 p.

