

## Снижение воздействия пыли на работников при открытой добыче угля

*И. А. Черных<sup>1,2\*</sup>, Э. В. Линд<sup>1,2</sup>, Е. А. Удальцов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: i\_cher12@mail.ru

**Аннотация.** В силу технологических особенностей разработки угольных месторождений открытым способом актуальным является профилактика профессиональных заболеваний горняков. Пылевой фактор остается ведущим среди неблагоприятных вредных и опасных факторов производственной среды при открытой добыче угля. Регулярное воздействие пыли на организм человека приводит к развитию пылевой патологии органов дыхания. Распространенными заболеваниями у работников карьера являются различные виды пневмокониоза и пылевые бронхиты. Все технологические операции на угольном разрезе сопровождаются образованием пыли, но приоритетными площадными источниками выбросов загрязняющих твердых веществ являются карьерные автодороги. В результате комплексного анализа предложен способ пылеподавления на рассматриваемом участке открытых горных работ для снижения рисков развития профессиональной пылевой патологии органов дыхания у работников.

**Ключевые слова:** пылевая патология, открытые горные работы, транспортировка, пылеобразование, пылеподавление, орошение

## Reducing worker exposure to dust in surface coal mining

*I. A. Chernykh<sup>1,2\*</sup>, E. V. Lind<sup>1,2</sup>, E. A. Udaltsov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: i\_cher12@mail.ru

**Abstract.** Due to the technological features of open-cast mining of coal deposits, the prevention of occupational diseases of miners is relevant. Dust factor remains the leading among the unfavorable harmful and hazardous factors of the working environment in open coal mining. Regular exposure of the human body to dust leads to the development of dust pathology of the respiratory organs. Widespread diseases among quarry workers are different types of pneumoconiosis and dust bronchitis. All technological operations in the coal mine are accompanied by formation of dust, but the priority area sources of emissions of polluting solids are quarry roads. As a result of the complex analysis the method of dust suppression at the considered site of open-cast mining works for reduction of risks of development of a professional dust pathology of respiratory organs of workers is offered.

**Keywords:** dust pathology, open-pit mining, transportation, dust formation, dust suppression, irrigation

Угледобывающая промышленность в Кемеровской области является основой экономики региона. Но вместе с тем горное производство оказывает мощное техногенное воздействие на окружающую среду. А также данная отрасль с опасными

и вредными производственными факторами, которые определяют демографические показатели населения и уровни профессиональной заболеваемости [1].

В регионе показатели травматизма на протяжении нескольких лет остаются на высоком уровне. Количество летальных случаев на производстве в Кузбассе в 2 раза превышает показатели России. На угольную отрасль в регионе приходится более половины погибших от общего числа. На рис.1 изображена динамика травматизма со смертельным исходом на одну тонну добытого угля [2].

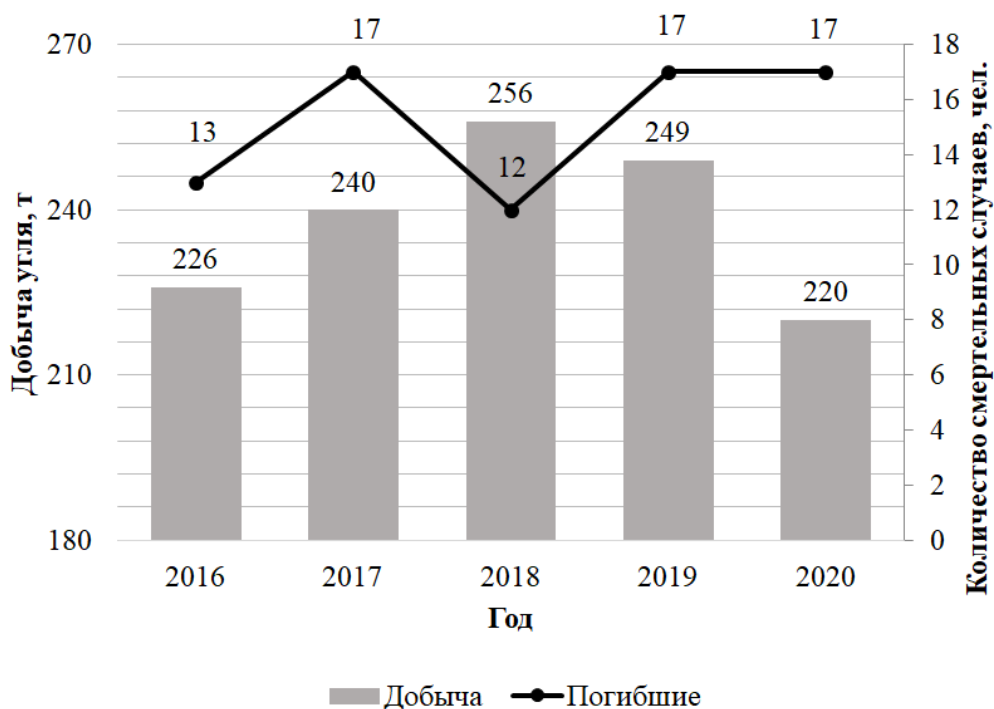


Рис. 1. Динамика добычи и травматизма со смертельным исходом в угледобывающей промышленности в 2016-2020 годах

Уровень профессиональной заболеваемости в Кемеровской области находится на первом месте среди регионов Российской Федерации [3]. Показатели Кузбасса стабильно превышают общероссийские в 9 раз, не смотря на заметную тенденцию к их снижению (табл. 1).

В 2020 г. 75,45 % случаев от общего числа профессиональных заболеваний было зарегистрировано на предприятиях по добыче угля [3]. В зависимости от воздействующего вредного производственного фактора в структуре профессиональной патологии первое место занимают физические факторы (шум и вибрации) производственных процессов, второе ранговое место – физические перегрузки. А на третьем месте стабильно находится воздействие промышленных аэрозолей, которые способствуют развитию пылевой патологии органов дыхания (табл. 2).

Таблица 1

Показатели профессиональной заболеваемости в 2016–2020 гг.  
в Российской Федерации и Кемеровской области  
(число заболеваний на 10 тыс. занятого населения).

	2016	2017	2018	2019	2020
РФ	1,47	1,31	1,17	1,03	0,78
Кемеровская область	13,23	10,93	9,96	8,64	7,34

Таблица 2

Структура профессиональной патологии в угольной отрасли  
в Кузбассе в 2016–2020 гг., %

Производственный фактор	2016	2017	2018	2019	2020
Физические перегрузки	43,28	40,03	38,53	37,79	35,87
Физические факторы	44,97	46,27	50,41	52,48	51,07
Промышленные аэрозоли	11,63	13,70	11,06	9,35	13,06
Химические	0,12	0	0	0,38	0
Канцерогены	0	0	0	0	0

При добыче угля открытым способом производственная пыль является одним из ведущих вредных факторов технологических процессов. Попадание пыли в организм человека через дыхательную систему, желудочно-кишечный тракт и кожные покровы способствует развитию пылевой патологии органов дыхания [4]. К ним относятся пневмокониозы, разновидность которых представляют антракозы и силикозы, пылевые бронхиты, а также злокачественные новообразования в лёгких [5].

Минералогический состав пыли при открытой добыче угля отличается разнообразием [6]. Анализ данных о выбросах твердых загрязняющих веществ с участка горных работ показал, что при открытой разработке угля выделяется как угольная, так и неорганическая пыль с содержанием двуокиси кремния (табл. 3).

Таблица 3

Динамика выбросов угольной пыли и неорганической пыли с содержанием SiO<sub>2</sub> 20-70% на участке открытых горных работ

Название вещества	2018	2019	2020
Пыль каменного угля, т/г	0,163	0,106	0,106
Неорганическая пыль с содержанием кремния 20-70%, т/г	423,45	405,89	321,25

При добыче угля открытым способом объемы выбросов неорганической пыли с содержанием  $\text{SiO}_2$  20-70% в 3000-4000 раз превышают количество угольной пыли на участке. Следовательно, при вдыхании пыли с содержанием свободного диоксида кремния у работников в основном развивается силикоз, который является тяжело протекающим видом пневмокониоза [7].

Все технологические этапы открытой добычи угля сопровождаются пылеобразованием: буровзрывные работы, экскавация, транспортировка полезного ископаемого и вскрыши, складирование готовой продукции [8,9,10].

Использование автотранспорта для транспортировки угля является наиболее масштабным и вредным по пылевому фактору на угольном разрезе. Выделение пыли происходит в результате взаимодействия колес с дорогой, а также при сдувании пыли с поверхности транспортируемого материала [11]. Усиление негативного влияния пыли от транспортировки на организм человека обуславливается тем, что пылевые частицы, являясь адсорбентом, притягивают к своей поверхности молекулы выхлопных газов, которые могут являться канцерогенами (сажа, бенз(а)пирен) [12, 13].

Повышенные концентрации пыли в воздухе рабочей зоны не только оказывают вредное влияние на работников и состояние окружающей среды, но и являются опасным фактором, который ухудшает условия эксплуатации горно-транспортного оборудования и может стать причиной производственной травмы [14,15]. Для создания безопасных условий труда горнорабочих наиболее актуальной проблемой является борьба с пылью на разрезе [16].

По результатам анализа научно-технических исследований по снижению пылевыделения при транспортировке на участках открытых горных работ, было определено то, что основным доступным и распространенным методом борьбы с пылью на дорогах разрезов является гидрообеспыливание [17, 18].

Метод гидрообеспыливания заключается в распылении воды стационарными установками и поливальными машинами. Регулярная поливка автодорог водой снижает запыленность воздуха до уровней предельно допустимых концентраций [19, 20].

Для пылеподавления в карьере должна использоваться питьевая вода. При отсутствии или недостатке питьевой воды можно использовать воду подземных источников, поступающую в карьер, а также воду рек, озер и других водоемов, не содержащую бактериальных загрязнений, токсичных и вредных веществ [21,22].

Рассчитаем количество воды необходимое для пылеподавления с эффективностью 90% на участке открытых горных работ одного из разрезов Кемеровской области согласно Временному руководству по борьбе с пылью [23]:

$$Q_r = S * q * n * t = 292500 \text{ м}^3 \quad (1)$$

где  $S$  – площадь поверхности карьерных дорог  $195\,000 \text{ м}^2$ ;

$q$  – расход воды –  $1,5 \text{ л/м}^2$ ;

$n$  – частота полива в сутки - 10;

$m$  – количество дней поливочного периода -100 дней.

На данном участке на пылеподавление при транспортировке в годрасходуется  $Q_{\phi} = 127687,5 \text{ м}^3$  воды, если составить пропорцию:

$$\frac{Q_{\Gamma}}{90\%} = \frac{Q_{\phi}}{x\%}, \quad (2)$$

где  $x$  – эффективность орошения, %

то эффективность применяемого метода будет равна:

$$x = \frac{Q_{\phi} * 100\%}{Q_{\Gamma}} = \frac{127687,5 * 100\%}{292500} = 39,28\% \quad (3)$$

Таким образом, можно сделать вывод, что для повышения эффективности мероприятий гидроопеспыливания дорог при транспортировке на карьере до 90% необходимо увеличить количество потребляемой воды в 2,3 раза.

Масса выбросов неорганической пыли с содержанием двуоксида кремния 20-70%  $M_n$ , т/г рассчитывается по формуле:

$$M_n = 2 * (q_v * K_c * L_v + q_{ст} * K_c * L_{ст}) * n_j * (365 - T_{сп} - T_d) * (1 - \eta) * 10^{-3}$$

где  $q_v$  – удельное выделение пыли при прохождении одним автомобилем  $j$ -марки 1 км временной дороги;

$q_{ст}$  – удельное выделение пыли при прохождении одним автомобилем  $j$ -марки 1 км стационарной дороги;

$K_c$  – коэффициент, учитывающий среднюю скорость движение автосамосвалов в карьере;

$L_v$  – длина временных дорог в пределах территории предприятия км;

$L_{ст}$  – длина стационарных дорог в пределах территории предприятия, км;

$n_j$  – суммарное число рейсов самосвалов  $j$ -той марки за сутки;

$T_{сп}$  – количество дней со снежным покровом за рассматриваемый период года;

$T_d$  – количество дней в виде дождя;

$\eta$  – эффективность применяемых средств пылеподавления.

Таблица 4

Количество выбросов неорганической пыли с содержанием  $\text{SiO}_2$  20-70% при транспортировке, т/г

Эффективность пылеподавления, %	0	39,28	90
Масса пыли, т/г	1480,58	899,11	148,05

Несмотря на то, что при орошении дорог водой на карьерах количество выбросов пыли снижается до уровня предельно допустимых концентраций, такой

метод является экономически нецелесообразным из-за значительных затрат на водопотребление и обслуживание оросительной техники. Существенным недостатком гидрообеспыливания является его непродолжительный эффект, который предусматривает частый полив дорог. Это приводит к разрушению полотна дороги и уменьшает срок его эксплуатации, что приводит к преждевременному износу материальной части автомашин, увеличению тормозного пути и значительному снижению скорости их движения. А также требуются дополнительные затраты на восстановительные работы дорог и ремонт технических средств [24].

Для сохранения целостности полотна дороги возможно использование переносных сборно-разборных металлических плит. Такие плиты могут использоваться многократно, сборка и разборка их производится в короткие сроки. Применения металлических прочных плит для покрытия автодорог на карьерах позволит снизить уровень пылеобразования [25].

Использование сборно-разборных металлических плит для покрытия автодорог на разрезах является наиболее эффективным способом пылеподавления, при применении которого происходит снижение негативного воздействия на окружающую среду, вследствие чего улучшаются условия труда на участках. Также данный метод, на наш взгляд, является экономически целесообразным из-за повышения эксплуатационных качеств дорог и многоразового применения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фоменко Д. В., Громов К. Г., Золоева П. В., Михайлова Н. Н. Медико-биологические исследования профессиональной патологии органов дыхания у шахтеров // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2007. – №25. – С. 67-70.
2. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 г.: ежегодный отчет. – М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2021. – 78 с.
3. Министерство труда и занятости населения Кузбасса «О состоянии условий и охраны труда в Кузбассе в 2020 году» региональный информационно-аналитический обзор. Кемерово, 2021. – 62 с.
4. Чеботарёв А. Г. Риски развития профессиональных заболеваний пылевой этиологии у работников горнорудных предприятий // Горная промышленность. – 2018. – №3(139). – С. 66-72.
5. Кислицына В. В., Мотуз И. Ю. Пылевой фактор на предприятиях угольной промышленности [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. – 2014. №4. – С. 14-17. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2014/04/32001> (дата обращения: 12.04.2022).
6. Бересневич П. В., Михайлов В. А., Филатов С. С. Аэрология карьеров: справочник. – М.: Недра. – 1990. – 280 с.
7. Мартынова Н. А., Кислицына В. В. Профессиональная заболеваемость шахтеров (обзор литературы) // Здоровье. Медицинская экология. Наука. – 2017. – №5. – С. 46–52.
8. Ивашкин В. С. Борьба с пылью и газами на угольных разрезах. – М.: Недра. – 1980. – С. 153.
9. Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности. Под ред. А. С. Кузьмича. М.: Недра. – 1982. – 240 с.
10. Лобода А. И., Ребристый Б. Н., Тыщук В. Ю. Борьба с пылью на открытых горных работах. – Кемерово: Техника. – 1989. – 152 с.

11. Писарев В. С., Басаргин А. А. Методы борьбы с пылью на карьерных дорогах // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2020. – С. 15-21.
12. Торегельдин М. М., Кудусов А. М. Карьерные автодороги как источники пылеобразования // Сб. науч. тр. II междунар. науч.-практич. конф. «Интеграция современных научных исследований в развитие общества». – Кемерово: Западно-Сибирский научный центр. – 2017. – С. 21-24.
13. Торегельдин М. М. Анализ проблемы борьбы с пылеобразованием на карьерных автодорогах // Сб. науч. тр. II Междунар. науч.-практич. конф. «Интеграция современных научных исследований в развитие общества». – Кемерово: Западно-Сибирский научный центр. – 2017. – С. 14-16.
14. Бульбашев А. П., Шувалов Ю. В. Борьба с пылью на карьерах по добыче строительных материалов. – СПб: МАНЭБ. – 2006. – 208 с.
15. Купин А. Н. Разработка комплекса мероприятий по снижению пылевыведения на угольных разрезах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Челябинск: НИИОГР. – 1995. – 53 с.
16. Учитель А. Д., Кормер М. В., Лялюк В. П. Проблемы транспортировки угольных концентратов в период отрицательных температур окружающей среды // Кокс и химия. – 2013. – № 5. – С. 13-19.
17. Михайлов В. А., Бересневич П. В. Научно-технический прогноз развития способов и средств борьбы с пылью и вредными газами при открытой разработке // Горный журнал. – 1975. – №4. – С. 69–72.
18. Гаспарьян Н. А. Пылеподавление на основе использования фазовых переходов влаги при ведении открытых горных работ: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: СПб. 2008. 185 с.
19. Чеботарёв А. Г. Комплексная оценка загрязнений рудничной атмосферы горнорудных предприятий при эксплуатации современной самоходной техники и меры по её нормализации // Профилактика профессиональных заболеваний пылевой этиологии. – 1991. – № 44. – С. 114–128.
20. Токмаков М. А., Пчелюш Ю. В., Купин А. Н. Борьба с пылью на разрезах // Уголь. – 1979. – №9. – С.42-45.
21. Шаров Н. А., Дудаев Р. Р., Кришук Д. И., Лискова М. Ю. Методы пылеподавления на угольных разрезах крайнего севера // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2019. – Т.19, №2. – С.184–200.
22. Кузнецов Д. А., Кузнецова К. В., Минибаев Р. Р., Артюшин И. А., Сергеев О. А., Мусинов С. Н. Оптимизация параметров орошения при различных производственных процессах, сопровождающихся пылевыведением, в зависимости от свойств выделяющейся в рудничную атмосферу пыли // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2016. – №4. – С. 74-82.
23. Временное руководство по борьбе с пылью на угольных разрезах. НИИОГР. МУП СССР. М.: «Недра». – 1972. – 64 с.
24. Чемезов Е.Н. Безопасность ведения открытых горных работ. М.: «Вузовская книга». – 2008. – 299 с.
25. Чемезов Е. Н., Делец Е. Г. Борьба с пылью на открытых горных работах // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2017. – С. 42-46.

© И. А. Черных, Э. В. Линд, Е. А. Удальцов, 2022