



Лучшие способы снижения запылённости в угольных шахтах

Best Practices for Dust Control in Coal Mining

Джей Колинет, Джеймс Райдер, Джеффри Листак, Джон Органискак и Анита Вульф
Jay F. Colinet, James P. Rider, Jeffrey M. Listak, John A. Organiscak, and Anita L. Wolfe

Министерство здравоохранения и социальных служб (США)

Department of Health and Human Services

Центры по сдерживанию и профилактике заболеваний

Centers for Disease Control and Prevention

Национальный институт охраны труда (NIOSH)

National Institute for Occupational Safety and Health

Отдел исследований в области техники безопасности и охраны труда в шахтах

Office of Mine Safety and Health Research

**Этот документ является общественным достоянием,
и может свободно копироваться и перепечатываться**
This document is in the public domain and may be freely copied or reprinted.

Правовая оговорка:

Упоминание любой компании или продукции не означает, что Национальный Институт Охраны Труда (NIOSH) одобряет использование услуг или продукции. Ссылки на Веб-сайты, не относящиеся к NIOSH, не означают, что NIOSH одобряет организации-спонсоры, их программы или продукцию. NIOSH не несёт ответственности за содержание таких сайтов. Все указанные в этом документе веб-ссылки были правильны и доступны на момент публикации документа.

Для получения документов или другой информации по вопросам безопасности и охраны труда, свяжитесь с NIOSH: Телефон **1-800-CDC-INFO** (1-800-232-4636); TTY: 1-888-232-6348 e-mail: cdcinfo@cdc.gov, или посетите Веб-сайт NIOSH: www.cdc.gov/niosh.

Чтобы ежемесячно узнавать о новостях NIOSH, подпишитесь на *eNews*: www.cdc.gov/niosh/eNews.

Авторы:

Jay F. Colinet - Supervisory mining engineer, Office of Mine Safety and Health Research,
National Institute for Occupational Safety and Health, Pittsburgh, PA.

James P. Rider - Operations research analyst, Office of Mine Safety and Health Research,
National Institute for Occupational Safety and Health, Pittsburgh, PA.

Jeffrey M. Listak, John A. Organiscak - Mining engineer, Office of Mine Safety and Health Research,
National Institute for Occupational Safety and Health, Pittsburgh, PA.

Anita L. Wolfe - Public health advisor, Division of Respiratory Disease Studies,
National Institute for Occupational Safety and Health, Morgantown, WV.

Оглавление

Введение	5
Глава 1. Влияние на здоровье чрезмерного воздействия респираторной пыли угля и кварца	6
Пневмокониоз при воздействии угольной пыли	6
Силикоз	9
Диагностика и лечение пневмокониоза	11
Ссылки	12
Глава 2 Измерения для количественного определения концентрации респираторной пыли	13
Измерение концентрации респираторной пыли в угольных шахтах	13
Проведение измерений	16
Ссылки	18
Глава 3. Снижение запылённости при работе выемочных комбайнов	19
Снижение запылённости на дорогах в шахте	20
Снижение запылённости у ленточных транспортёров	20
Снижение запылённости от других источников	22
Снижение запылённости в месте работы комбайна	26
Снижение запылённости, возникающей из-за подвижной кровли	32
Другие способы снижения запылённости	34
Ссылки	36
Глава 4. Снижение запылённости при работе короткозабойных выемочных комбайнов	38
Способы снижения запылённости при работе комбайна	38
Вентиляция забоя	49
Снижение запылённости при буровых работах для крепления кровли	52
Снижение запылённости подаваемого чистого воздуха	55
Питатель дробилки и транспортно-погрузочная техника	56
Ссылки	57
Глава 5. Снижение запылённости при выполнении работ на поверхности	59
Снижение запылённости при буровых работах	59
Обеспыливание закрытых кабин	62
Снижение пылеобразования на дорожном покрытии	64
Снижение запылённости на месте выгрузки добытого угля	65
Ссылки	67

Иллюстрации

	стр.
1-1. Нормальное лёгкое и лёгкое шахтёра, которому поставили диагноз "пневмокониоз"	7
1-2. Тенденция развития пневмокониоза у шахтёров угольных шахт в зависимости от стажа работы	8
1-3. Часть лиофилизированного лёгкого человека, болевшего силикозом	9
1.4. Доля замеров запылённости с концентрацией >ПДК, сделанных инспекторами MSSA в 2003-2007г	10
2-1. Индивидуальный пробоотборный насос, циклон и кассета с фильтром для гравиметрических измерений концентраций респираторной пыли	14
2-2. Пример измерений концентрации пыли с помощью прибора pDR (в реальном масштабе времени) и фотография прибора	14
2-3. Индивидуальный измеритель - прибор PDM со снятым ТЕОМ) (в реальном масштабе времени)	15
2-4. Положение измерителей запылённости, используемых для отдельного определения запылённости, создаваемой короткозабойным выемочным комбайном	16
2-5. Подвижное положение измерителей запылённости при работе выемочного комбайна	17
2-6. Положение измерителей запылённости при проведении буровых работ на поверхности	17
3-1. Вращающиеся щётки очищают несущую сторону ленты конвейера	21
3-2. Распыление воды и "вытирание" не несущей стороны ленты конвейера для уменьшения запылённости	22
3-3. Укрытия мест перегрузки и дробления угля и расположение водяных форсунок	23
3-4. Скруббер с подачей воды под большим давлением, установленный на дробилке	23
3-5. Использование занавеси, отделяющей пустую породу, для увеличения воздухообмена в забое	25
3-6. Характер движения воздуха вокруг выемочного комбайна при отсутствии (слева) и при наличии (справа) занавеси в конечной точке движения комбайна	25
3-7. Схема распыления воды для снижения запылённости при работе выемочного комбайна	28
3-8. Форсунки Вентури, установленные с передней стороны (по потоку), на вентиляционной перегородке	28
3-9. Кронштейн с передней стороны (по потоку) со струйными вентиляторами, установленными на стороне обращённой к пустой породе стороне ремней (<i>gob side of belting</i>)	29
3-10. Направляющие форсунки, установленные на стороне корпуса выемочного комбайна, обращённой к разрушаемому угольному пласту	29
3-11. Разделяющая консоль может находиться в таком положении, что пыль может попасть в проход для людей	30
3-12. Поднятая пластина дефлектора может улучшить эффективность системы (пылеподавления) с направляющими форсунками	30
3-13. Форсунки, расположенные полукругом на регулируемом рычаге выемочного комбайна	31
3-14. Форсунки, установленные на задней части корпуса выемочного комбайна	32
3-15. Форсунки, расположенные на нижней стороне укрытия (навеса), создающие завесу	33
3-16. Схема рабочего органа с вентиляцией	34
4-1. Форсунки, используемые для уменьшения запылённости в шахтах	39
4-2. Относительная эффективность форсунок 4 видов, используемых в шахтах	40
4-3. Расположение форсунок влияет на возможность смещения облака пыли назад, к оператору комбайна	41
4-4. Система распыления воды, предотвращающая смещение облака пыли назад	42
4-5. Эффективность разных форсунок в отношении перемещения запылённого воздуха	43
4-6. Составные части и конструкция скруббера с орошаемой насадкой	45
4-7. Очистка панели фильтра скруббера струей воды	45
4-8. Очистка туманоуловителя струей воды	46
4-9. Эффективность пылеулавливания разных панелей фильтров скруббера	46
4-10. Образование пыли можно уменьшить за счёт конструкции зубьев рабочего органа	48
4-11. Изменение последовательности разрушения угольного пласта может уменьшить запылённость	48
4-12. Схема нагнетательной вентиляционной системы	49
4-13. Схема вентиляции всасывающим способом.	51
4-14. Бункер пылеуловителя с установленным мешком для пыли	53
4-15. Схема пылеуловителя, используемого при сверлении отверстий для крепления кровли	53
4-16. Прототип навеса с подачей чистого воздуха (canopy curtain)	55
5-1. Типичная сухая пылеулавливающая система для бурения на поверхности	60
5-2. Водоотделитель не позволяет воде попасть на наконечник бура	61
5-3. Увеличение запылённости по мере высыхания увлажнённого покрытия дороги	64
5-4. Подвижная занавесь предотвращает распространение пыли из укрытия	66
5-5. Система распыления воды уменьшает пылеобразование при выгрузке угля	66

Таблицы

5.1 Результаты измерения концентрации респираторной пыли в закрытой кабине при проведении производственного исследования	62
--	----

Использованные сокращения

- CWHSP - *Coal Workers' Health Surveillance Program* - программа медицинского надзора за рабочими угольной отрасли.
- CWP - *Coal workers' pneumoconiosis DO designated occupation* - Код специальности рабочего для классификации профессии при диагностике пневмоконозиоза
- HVAC - *heating, ventilation, and air conditioning* - отопление, вентиляция и кондиционирование.
- IARC - *International Agency for Research on Cancer* -
Международное агентство исследования рака МАИР.
- ILO - *International Labour Office* - международная организация труда МОТ.
- MSHA - *Mine Safety and Health Administration* - Управление по охране труда и промышленной безопасности в горной промышленности.
- NIOSH - *National Institute for Occupational Safety and Health* - Национальный институт охраны труда.
- PDM - *personal dust monitor* - индивидуальный измеритель запылённости воздуха.
- pDR - *personal DataRAM* Индивидуальный измеритель запылённости, работающий непрерывно, и записывающий измеренную запылённость (*измеренную по рассеиванию света пылью*) в компьютерную память
- PEL - *permissible exposure limit* - Предельно допустимая концентрация, ПДК.
- PMF - *progressive massive fibrosis* - массивный прогрессивный фиброз.
- TEOM - *tapered-element oscillating microbalance* - датчик, используемый для непрерывного измерения запылённости - конические колебательные микровесы

Единицы измерения

- cfm *cubic foot per minute* - кубический фут в минуту (28.32 л/мин = 0.028 м³/мин).
- cm *centimeter* - сантиметр.
- cfm *foot per minute* - фут в минуту (0.3 м/с = 1.1 км/ч).
- ft *foot* - фут (0.3048 м).
- ft/min *foot per minute* - фут в минуту (0.3 м/с = 1.1 км/ч).
- gpm *gallon per minute* - галлон (США) в минуту (3.785 л/мин).
- hr *hour* - час.
- in *inch* - дюйм (2.54 см).
- in w.g. *inch water gauge* - дюйм водяного столба (~250 Па).
- kPa *kilopascal* - килопаскаль, кПа.
- lpm *liter per minute* - литр в минуту.
- m/sec *meter per second* - метров в секунду (м/с).
- mg/m³ *milligram per cubic meter* - миллиграмм на м³ (мг/м³).
- mm *millimeter* - миллиметр.
- mph *miles per hour* - миль (США) в час (1 м/ч = 1.61 км/ч).
- µg/m³ *microgram per cubic meter* - микрограммы на м³ (мкг/м³).
- psi *pound-force per square inch* - фунты на квадратный дюйм (1 psi = 6 895 Па).
- sec *second* - секунды.

Предисловие к переводу

При добыче полезных ископаемых в РФ значительное число рабочих мест не соответствует требованиям охраны труда. Согласно¹ "... Удельный вес заболеваний, вызванных воздействием аэрозолей ... составил 27,0% от суммы всех профзаболеваний ... Наибольший удельный вес был зарегистрирован на предприятиях угольной промышленности – 28,1% ...".

Такое большое число профзаболеваний объясняется сочетанием трёх обстоятельств:

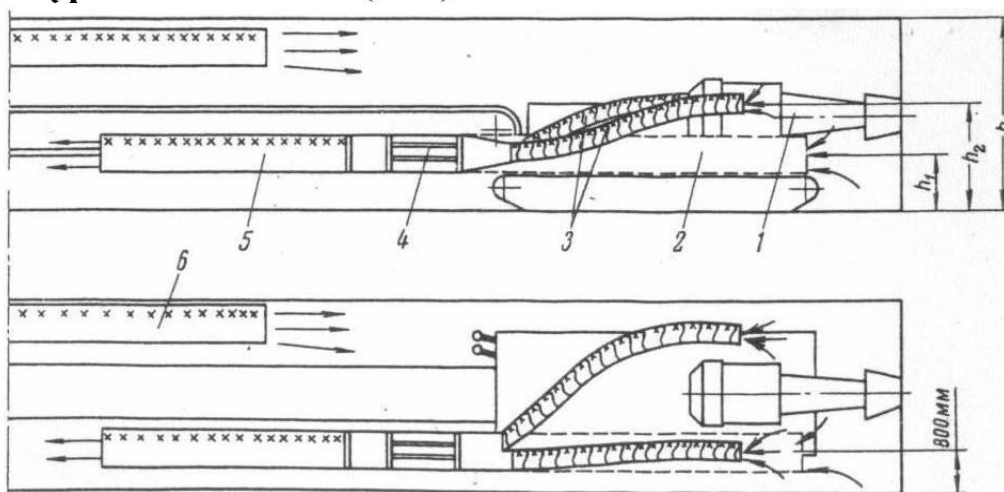
- 1.** Концентрация пыли в зоне дыхания шахтёров может превышать ПДК в сотни раз. По данным² при работе проходческого комбайна концентрация пыли достигала 1.5 грамм на м³.
- 2.** Для снижения запылённости используют разные способы. Но в подземных условиях улавливание мелкодисперсной пыли, попавшей в воздух - практически невозможно (электрофильтры нельзя использовать из-за опасности взрыва, фильтрация через ткань затруднена из-за повышенной влажности, и такие фильтры занимают очень много места, а скрубберы Вентури требуют много энергии). Используемые сейчас в РФ способы (гидрообеспыливание и т. п.) не позволяют улавливать **мелкодисперсную** пыль, но требуют значительных затрат. Поэтому на практике для уменьшения воздействия широко используют недорогие респираторы-полумаски. Но, как показали измерения в производственных условиях³, они малоэффективны, и загрязнённость вдыхаемого воздуха снижается лишь в несколько раз⁴.
- 3.** Сохранению вредных условий труда шахтёров сильно помогает отсутствие нормальной регистрации профзаболеваний и, соответственно, адекватных мер воздействия в отношении работодателя. Несмотря на то, что условия труда в РФ в целом значительно хуже, чем в развитых странах, количество регистрируемых профзаболеваний в десятки раз ниже⁵.

Поэтому для надёжной защиты здоровья шахтёров нужно использовать эффективную вентиляцию. Нужно сказать, что попытки сделать это предпринимались и раньше. Например, ещё в 1950-х устанавливали вытяжку на комбайн, а в 1966г⁶ сообщали, что при установке на комбайн ПК-3м местных отсосов концентрация пыли на рабочем месте оператора снизилась с 1.3÷1.6 грамм/м³ до 103÷29 мг/м³, в 13-77 раз. Аналогичным образом работают и местные отсосы в короткозабойном выемочном комбайне (США) — но там воздухопроводы для отсасывания пыли встроены в корпус при его изготовлении. В целом, из-за невозможности эффективного улавливания мелкодисперсной пыли, которая уже попала в воздух, вентиляция используется не столько для снижения запылённости, а для **отделения шахтёров от запылённого воздуха**.

Это руководство может помочь заполнить пробел в области литературы на этом вопросе на русском языке, и сохранить здоровье шахтёров. Число инвалидов в РФ превышает 12 млн. человек

Журнал "Уголь" № 3 (1966)

Отсосы на комбайне ПК-3м



1 МУ 2.2.5.2818-10 Методические указания. Организация лабораторного контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны предприятий основных отраслей экономики. Стр. 3.

2 Дрёмов А.В. Обоснование рациональных параметров обеспыливания в комбайновом проходческом забое : автореферат дис. кандидата технических наук : 05.26.01 / [Место защиты: МГТУ]

3 Медицина труда и промышленная экология № 4 2013г ([ссылка на статью в Википедии в интернете](#))

4 Продолжается использование низкокачественных полумасок, разработанных полвека назад. Например, при установке в респиратор Ф-62Ш вместо фильтра пластикового пакета, и умеренном натяжении ремней оголовья, его можно одеть и дышать — воздух проходит через зазоры между маской и лицом

5 Роик В.Д. Вызовы безопасности труда на индустриальном этапе и ответы на них Аналитический вестник Совета Федерации ФС РФ №5 2007г.

6 Теняков Г.М. Повышение эффективности пылеулавливающих установок в подготовительных забоях. Журнал "Уголь" №3 1966г.

Введение ↑

Давно известно, что вдыхание респираторной пыли представляет серьёзную угрозу для здоровья рабочих во многих отраслях промышленности. При подземной добыче угля вдыхание респираторной угольной пыли при большой концентрации приводит к возникновению у шахтёров пневмокониоза (CWP). Это заболевание может привести к инвалидности, а в более серьёзных формах - к смерти рабочего. Кроме того, шахтёры могут подвергаться воздействию респираторной пыли кварца при большой концентрации, которая тоже может вызывать серьёзные заболевания, приводящие к смерти. **Пневмокониоз и/или силикоз — неизлечимые и необратимые заболевания.** Поэтому для их предотвращения необходимо уменьшить концентрацию респираторной пыли во вдыхаемом воздухе.

Принятие закона об охране труда при подземной добыче угля (*Federal Coal Mine Health and Safety Act*) в 1969г установило ПДК при воздействии респираторной пыли, требования к измерению концентрации пыли (для инспекторов и работодателей), программы добровольного медобследования (флюорография) для выявления пневмокониоза у шахтёров, и программы (выплат) компенсаций пострадавшим рабочим и их семьям. Следующие статистические данные (США) показывают, какой огромный ущерб наносят пневмокониоз и силикоз здоровью людей и экономике:

- В течение 1970-2004г в США из-за пневмокониоза умерло 69 277 шахтёров-угольщиков.
- За период 1980-2005г шахтёрам и их семьям выплатили свыше 39 млрд долларов пособий.
- Проведение медобследований (флюорографии) за 2000-2006г показало, что количество заболеваний пневмокониозом возросло. Примерно у 8% шахтёров со стажем подземной работы 25 лет и более был обнаружен пневмокониоз.
- По статистике, среди умерших от силикоза чаще всего встречаются операторы угольных комбайнов.

Из-за сохранения серьёзности этих заболеваний органов дыхания в угольной промышленности, было разработано это руководство, которое позволяет подобрать адекватные технические средства снижения запылённости, помогающие уменьшить воздействие респираторной пыли - угля и кварца - на шахтёров. В руководстве рассмотрены не только те технические средства снижения запылённости в зоне дыхания, которые используются в отрасли уже много лет, и которые указаны в (соответствующих) стандартах по охране труда, но и те, которые пока ещё продолжают разрабатываться. Ставилась задача - выявить наилучшие способы, позволяющие уменьшить концентрацию респираторной пыли при добыче угля под землёй и на поверхности. Руководство даёт общую информацию о способах снижения запылённости, и содержит многочисленные ссылки на первоисточники. В некоторых случаях - для получения более подробной информации - потребуется консультация о испытаниях или внедрении интересующих технологий.

Руководство разделено на 5 глав. В первой рассматриваются последствия воздействия респираторной пыли угля и кварца на здоровье, во второй - методы измерения запылённости и приборы для измерения, а в 3, 4 и 5- способы снижения запылённости при работе выемочных (очистных)⁷ и короткозбойных выемочных (~ *проходческих*)⁸ угольных комбайнов, и при проведении буровых работ соответственно.

Нужно подчеркнуть, что после установки и подключения технических средств, эффективность защиты рабочих очень сильно зависит от ухода и техобслуживания этого оборудования. Исследователи NIOSH часто видели, что установлены адекватные технические средства снижения запылённости, но концентрация пыли превышает допустимую из-за недостаточно хорошего техобслуживания этого оборудования.

7 longwall mining

8 continuous mining

Глава 1. Влияние на здоровье чрезмерного воздействия респираторной пыли угля и кварца ↑

Авторы: *Anita L. Wolfe и Jay F. Colinet*

Пневмокониоз - заболевание органов дыхания, которое возникает при вдыхании и осаждении минеральной пыли в лёгких. Пневмокониозы возникают при работе в отраслях, где есть большой риск воздействия минеральной пыли - например, пневмокониоз у шахтёров при добыче угля (антракоз), и силикоз. После возникновения этих заболеваний их уже нельзя вылечить. Поэтому для предотвращения этих заболеваний важно уменьшить воздействие респираторной пыли на рабочих.

Пневмокониоз при воздействии угольной пыли ↑

Пневмокониоз - это хроническое заболевание лёгких, возникающее из-за вдыхания и осаждения угольной пыли в лёгких, и реакции тканей лёгких на этот процесс. Это чаще всего происходит при добыче, переработке или транспортировке угля. Кроме опасности возникновения пневмокониоза, воздействие угольной пыли может привести к возникновению хронического бронхита, хронической обструктивной болезни лёгких (ХОБЛ), и паталогической эмфиземы.

При непрерывном воздействии пыли в лёгких происходят структурные изменения, которые можно увидеть на флюорографических снимках. На первых этапах развития пневмокониоза симптомы могут отсутствовать. Но затем они появляются: кашель (с мокротой или без), хрипы, одышка (особенно во время работы). На Фиг. 1-1 показано нормальное лёгкое и лёгкое шахтёра, которому был поставлен диагноз "пневмокониоз". На следующих стадиях развития болезни структурные изменения в лёгких называют фиброзом. Массивный прогрессирующий фиброз - это образование жёсткой фиброзной ткани в тех частях лёгких, которые раздражаются и воспаляются из-за осевшей пыли. Из-за массивного прогрессирующего фиброза лёгкие становятся жёсткими, и уменьшается их способность полностью расширяться. Это мешает нормальному газообмену кислорода и углекислого газа в лёгких, и затрудняет дыхание. У больных губы и кончики пальцев могут иметь синеватый оттенок, может происходить накопление жидкости, и появиться симптомы заболеваний сердца. Если человек вдыхает слишком много пыли, то пневмокониоз может перейти в массивный прогрессирующий фиброз.

На начальных стадиях пневмокониоз характеризуется наличием небольших потемнений (непрозрачных мест) на флюорографических снимках, диаметр которых меньше 10 мм. Плотность таких потемнений классифицируется согласно определениям, данным Международной организацией труда (МОТ) как 1, 2 и 3 [ILO 1980]. Категория 0 определена как отсутствие маленьких потемнений, или как потемнения, плотность которых меньше нижнего предела для первой категории. На 12-балльной шкале потемнений МОТ, каждая главная категория включает в себя подкатегории - например, в категории 1 есть подкатегории 1/1, 1/2 и 1/3 (по мере возрастания), но категория 2 остаётся более серьёзным заболеванием [NIOSH 1995].

В случаях, когда на флюорографических снимках обнаруживаются большие потемнения с общей площадью 1 см или больше, массивный прогрессирующий фиброз относят к категориям А, В и С. Массивный прогрессирующий фиброз обычно развивается у шахтёров, у которых ранее был пневмокониоз, но он может начаться и у шахтёров, у которых ранее не было признаков пневмокониоза на снимках [NIOSH 1995].

Эти заболевания - неизлечимы. Меры по предотвращению развития заболеваний органов дыхания у шахтёров должны включать непрерывные усилия по снижению воздействия пыли. Усилия медицины лучше направить на предотвращение, раннее выявление и лечение осложнений. Главной клинической задачей является выявление обструкции (непроходимости) дыхательных путей, респираторных инфекций, гипоксемии (аномально низкое содержание кислорода в крови), нарушений работы органов дыхания, лёгочного сердца (увеличение правой стороны сердца), аритмии (нарушения сердечного ритма) и пневмоторакса (сжатие лёгкого из-за скопления воздуха или газов в плевральной области).

Фиг. 1-1. Нормальное лёгкое и лёгкое шахтёра, которому поставили диагноз "пневмокониоз" ↑



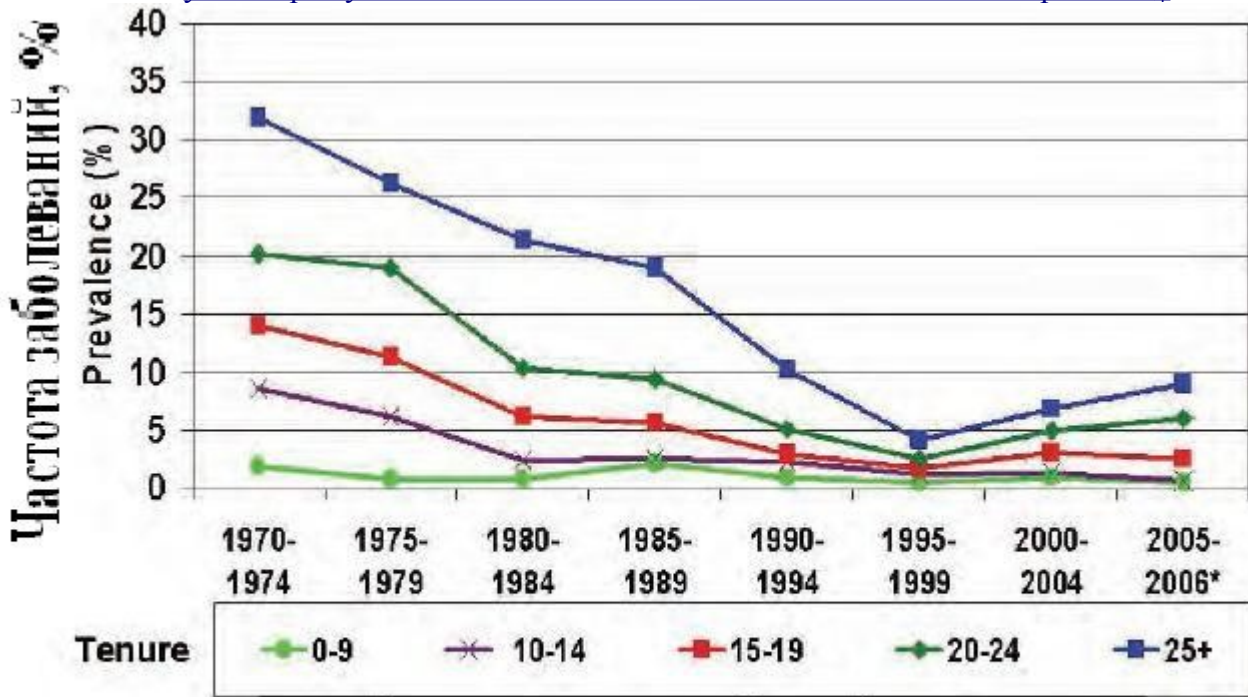
Figure 1-1.—Normal lung (left) and a lung from a miner diagnosed with CWP (right).

После принятия закона об охране труда на шахтах (*Federal Coal Mine Health and Safety Act*) в 1969г Управление по охране труда на шахтах (*Mine Safety and Health Administration, MSHA*) разработало требования, обязывающие работодателя снизить концентрацию респираторной пыли в угольных шахтах до 2 мг/м³ или меньше (если содержание свободного кварца в пыли не превышает 5%). Инспектора MSHA и владельцы шахт проводят периодические измерения загрязнённости воздуха для подтверждения выполнения этого требования. Обычно при подземной добыче угля наибольшая концентрация респираторной пыли встречается на рабочих местах шахтёров, работающих в забое. Наиболее вероятно воздействие пыли (при чрезмерной концентрации) на операторов выемочных, и короткозабойных выемочных комбайнов, и шахтёров, устанавливающих кровлю. Также может произойти чрезмерное воздействие пыли на людей, работающих на поверхности - при дроблении, сортировке, промывке и смешивании, и на людей, работающих в местах хранения, где производится погрузка в грузовые автомобили, железнодорожные вагоны, баржи или корабли.

Также в соответствии с Законом 1969г была создана Программа медицинского обследования рабочих угольной отрасли NIOSH (CWHSP). В рамках этой программы для выявления пневмокониоза шахтёрам периодически предлагают добровольно сделать флюорографию грудной клетки (бесплатно). До 1999г частота заболеваний неуклонно снижалась. Но результаты, полученные недавно в NIOSH [2008] показали, что снижение прекратилось, и началось возрастание (Фиг. 1-2). У шахтёров со стажем подземной работы более 25 лет и более, и которые проходили обследование в рамках CWHSP после 2000г, частота заболеваний пневмокониозом примерно удвоилась. Кроме того, заболевание обнаружилось у молодых рабочих, и ускорилось развитие заболевания с начальных стадий до массивного прогрессивного фиброза. В 2004г от пневмокониоза умерло 703 шахтёра. (дополнительная статистическая информация приводится в [NIOSH 2008]).

Стандарт по охране труда 30 CFR 90 устанавливает порядок перевода тех шахтёров, у которых есть свидетельства заболевания пневмокониозом, в другие места работы - где средняя концентрация респираторной пыли в течение каждой смены не превышает 1 мг/м³. Также устанавливаются процедуры выполнения этого требования, и право шахтёра на сохранение своей обычной зарплаты, и её повышение. Также установлены обязанности работодателя, включая измерения запылённости воздуха согласно стандарту. Цель этих мероприятий - предотвращение дальнейшего развития пневмокониоза у шахтёра, у которого он обнаружен на начальных стадиях.

Фиг. 1-2. Тенденция развития пневмокониоза
у шахтёров угольных шахт в зависимости от стажа подземной работы ↑



Стаж подземной работы, лет

Figure 1-2.—Trends in CWP prevalence among examinees employed at underground coal mines by years of experience (tenure). (Source: NIOSH Coal Workers' X-ray Surveillance Program).

Силикоз ↑

В разных отраслях промышленности происходит воздействие респираторной пыли кристаллического кварца, поскольку это вещество широко распространено. Сильное воздействие такой пыли происходит на шахтёров, при выполнении пескоструйной обработки, при строительстве туннелей, при размоле кварца, в карьерах, в литейных цехах, при производстве керамики и стекла. Кварцем называют диоксид кремния SiO_2 , который существует в кристаллической и некристаллической (аморфной) формах [NIOSH 2002]. Кристаллический кварц встречается в разных формах: альфа-кварц, бета-кварц, тридимит и кристобалит. [Ampian and Virta 1992; Heaney 1994]. В природе чаще всего кварц встречается в альфа-форме [Virta 1993]. Эта форма кварца встречается так часто, что термин "кварц" часто используется вместо общего термина "кристаллический кварц" [USBM 1992; Virta 1993].

Кварц часто входит в состав скал и горных пород. Кварцевая пыль может попадать в орган дыхания шахтёров при работе горных машин, когда происходит разрушение кварц-содержащей породы рядом или в пласте угля, или при разрушении, дроблении и транспортировке угля (с породой). При вдыхании кристаллического кварца в производственных условиях развиваются силикоз, рак лёгких, туберкулёз лёгких и другие заболевания дыхательных путей. Такие вредные воздействия также могут привести к развитию аутоиммунных заболеваний, болезней почек, и другим вредным для здоровья последствиям. В 1986г МАИР изучило опубликованные результаты экспериментальных и эпидемиологических исследований рака у животных и рабочих, подвергавшихся воздействию кристаллического кварца, и сделало вывод, что достаточно фактов для того, чтобы считать кварц веществом, канцерогенным для людей [IARC 1997].

Фиг. 1-3. Часть лиофилизированного лёгкого человека, болевшего силикозом ↑

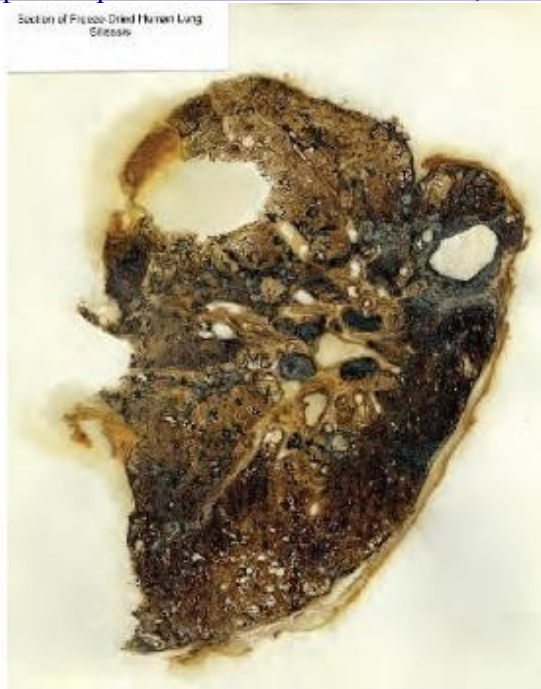


Figure 1-3.—Section of a freeze-dried human lung with silicosis. Program.

Силикоз - это тоже фиброзное заболевание лёгких, которое возникает при вдыхании и осаждении кристаллического кварца, и реакции лёгких на него. Главным симптомом силикоза является одышка (затруднённое дыхание). Это сначала отмечается при выполнении (тяжёлой) работы, а потом - как утрата функциональных резервов лёгких даже в покое. Но при отсутствии других респираторных заболеваний, одышка может отсутствовать, и тогда заболевание может быть обнаружено с помощью флюорографии. Иногда флюорография может выявить развившееся заболевание при минимальных симптомах. Появление и развитие одышки может быть показателем и других факторов, включая туберкулёз, обструкцию дыхательных путей, массивный прогрессирующий фиброз или лёгочное сердце. Часто имеется продуктивный кашель.

В зависимости от концентрации кристаллического кварца, которым был загрязнён вдыхаемый воздух, у рабочего может развиваться один из трёх видов силикоза:

1) Хронический силикоз: Обычно развивается через 10 или более лет воздействия при относительно низкой концентрации пыли. В лёгких и в лимфатических узлах груди возникают опухоли, вызванные пылью кварца. Это заболевание затрудняет дыхание и схоже с хронической обструктивной болезнью лёгких (ХОБЛ).

2) Ускоренный силикоз (*Accelerated Silicosis*): развивается через 5-10 лет после начала воздействия. Образуются опухоли в лёгких и возникают симптомы, как при хроническом бронхите, но быстрее.

3) Острый силикоз: развивается при воздействии респираторного кристаллического кварца при большой концентрации, и приводит к возникновению симптомов за период от 5 недель до 5 лет после начала воздействия [Parker and Wagner 1998; Peters 1986]. Лёгкие становятся воспалёнными и могут наполниться жидкостью, это вызывает одышку и снижение концентрации кислорода в крови.

При обычном и ускоренном силикозе может развиваться массивный прогрессирующий фиброз, но во втором случае это более вероятно. На Фиг. 1-3 показано лёгкое, повреждённое силикозом.

Чтобы предотвратить развитие силикоза, MSHA установило требования, обязывающие работодателя снижать запылённость воздуха в зоне дыхания шахтёров. При подземной добыче угля, при доле кварца в респираторной пыли до 5%, концентрация такой пыли не должна превышать 2 мг/м³. Но если доля кварца в пыли превышает 5%, то допустимая концентрация пыли уменьшается: она получается делением 10 на долю кварца (%). Например, при доле кварца в респираторной пыли 10%, стандарт по охране труда требует уменьшить запылённости воздуха до 1 мг/м³ (10 / 10%). Таким образом, выполнение этого стандарта снижает воздействие респираторного кварца до 100 мкг/м³, хотя это не указано в нём напрямую.

Измерения запылённости, проводившиеся MSHA, выявили специальности/профессии шахтёров, у которых наибольший риск чрезмерного воздействия кварца. На Фиг. 1-4 показано, какая доля замеров, сделанных инспекторами MSHA, превысила допустимые значения (ПДК/PEL) у шахтёров-угольщиков нескольких специальностей с высоким уровнем риска.

Фиг. 1-4. Доля замеров запылённости воздуха, сделанных инспекторами MSHA в 2003-2007г. когда концентрация пыли превышала ПДК (PEL) ↑



Figure 1-4.—Percentage of MSHA inspector samples during 2003–2007 that exceeded reduced PELs.

Диагностика и лечение пневмокониоза ↑

Врач может обнаружить пневмокониоз или силикоз, используя сочетание подходящих сведений о истории воздействия пыли угля или кварца в шахте, совместимые измерения в изображениях на снимках лёгких или патологии лёгких, и отсутствие правдоподобных альтернативных диагнозов. Для постановки диагноза часто достаточно снимка грудной клетки, но в некоторых случаях полезно сделать компьютерную сканирующую томографию (СТ). Если имеется подходящая информация о воздействии пыли и (изменения) на снимках, то обычно проведение биопсии лёгких (*процедура, при которой часть лёгочной ткани берётся для проведения лабораторного исследования*) - не требуется. Для объективной оценки тяжести заболевания (пневмокониоза или силикоза) могут быть полезны исследования лёгочных функций и проведение анализа крови для определения концентраций углекислого газа и кислорода (концентрации в артериальной крови).

Эпидемиологические исследования шахтёров, добывающих золото в Южной Африке, у рабочих гранитного карьера в Гонконге, у шахтёров, добывавших руду металла в Колорадо, и шахтёров угледобывающих шахт в Шотландии показали, что хронический силикоз может возникнуть или усилиться даже после прекращения воздействия кристаллического кварца [Hessel et al. 1988; Hnizdo and Sluis-Cremer 1993; Ng et al. 1987; Kreiss and Zhen 1996; Miller et al. 1998]. Поэтому перевод рабочего на другую работу, где нет (сильного) воздействия пыли кварца, не гарантирует, что силикоз или связанные с ним заболевания не перестанут усиливаться, и что состояние заболевшего рабочего стабилизируется.

Для лечения пневмокониоза или силикоза могут использоваться бронходилататоры (лекарства, способствующие расширению воздушных путей), или дополнительная подача кислорода. Как только было установлено, что началось заболевание, важно защитить лёгкие от инфекционных респираторных заболеваний. В некоторых серьёзных случаях может быть рекомендована пересадка лёгких. Прогноз зависит от конкретного типа пневмокониоза, и от длительности воздействия и концентрации пыли.

Эти заболевания лёгких - неизлечимы, и необратимы. (Поэтому) для предотвращения заболевания должны устанавливаться и использоваться эффективные средства снижения запылённости, и техобслуживание этих средств должно проводиться так, чтобы они постоянно были в исправном состоянии.

[Ссылки ↑](#)

- Ampian SG, Virta RL** [1992]. Crystalline silica overview: occurrence and analysis. Washington, DC: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, IC 9317. NTIS No. PB92200997.
- CFR. Code of federal regulations.** Washington, DC: U.S. Government Printing Office, Office of the Federal Register.
- Heaney PJ** [1994]. Structure and chemistry of the low-pressure silica polymorphs. In: Heaney PJ, Prewitt CT, Gibbs GV, eds. Silica: physical behavior, geochemistry, and materials applications. Reviews in mineralogy. Vol. 29. Washington, DC: Mineralogical Society of America.
- Hessel PA, Sluis-Cremer GK, Hnizdo E**, Faure MH, Thomas RG, Wiles FJ [1988]. Progression of silicosis in relation to silica dust exposure. *Ann Occup Hyg* 32(Suppl 1):689–696.
- Hnizdo E, Sluis-Cremer GK** [1993]. Risk of silicosis in a cohort of white South African gold miners. *Am J Ind Med* 24:447–457.
- IARC** [1997]. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils. Vol. 68. Lyon, France: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer.
- ILO** [1980]. Guidelines for the use of ILO international classification of radiographs of pneumoconiosis. Rev. ed. Occupational Safety and Health Series No. 22. Geneva, Switzerland: International Labour Office.
- Kreiss K, Zhen B** [1996]. Risk of silicosis in a Colorado mining community. *Am J Ind Med* 30:529–539.
- Miller BG, Hagen S, Love RG**, Soutar CA, Cowie HA, Kidd MW, Robertson A [1998]. Risks of silicosis in coalworkers exposed to unusual concentrations of respirable quartz. *Occup Environ Med* 55:52–58.
- Ng TP, Chan SL, Lam KP** [1987]. Radiological progression and lung function in silicosis: a ten year follow up study. *Br Med J* 295:164–168.
- NIOSH** [1995]. Criteria for a recommended standard: occupational exposure to respirable coal mine dust. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 95–106.
- NIOSH** [2002]. NIOSH hazard review: Health effects of occupational exposure to respirable crystalline silica. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2002–129.
- NIOSH** [2008]. Work-related lung disease surveillance report, 2007. Morgantown, WV: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2008143a.
- Parker JE, Wagner GR** [1998]. Silicosis. In: Stellman JM, ed. Encyclopaedia of occupational health and safety. 4th ed. Geneva, Switzerland: International Labour Office, pp. 10.43–10.46.
- Peters JM** [1986]. Silicosis. In: Merchant JA, Boehlecke BA, Taylor G, Pickett-Harner M, eds. Occupational respiratory diseases. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 86–102, pp. 219–237.
- USBM** [1992]. Crystalline silica primer. Washington, DC: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Branch of Industrial Minerals, Special Publication (SP) 05–92. NTIS No. PB97-120976.
- Virta RL** [1993]. Crystalline silica: what it is-and isn't. *Minerals Today* Oct:12–16. Washington, DC: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.

Глава 2. Измерения для количественного определения концентрации респираторной пыли ↑

Автор: Jay F. Colinet

Респираторная доля пыли - это та часть пыли, которая при вдыхании достигает лёгких, и которая приводит к развитию пневмокониоза или силикоза⁹. Респираторная пыль невидима для невооружённого глаза¹⁰. Наоборот, если облако пыли видимо, то скорее всего, часть частиц пыли из этого облака - респираторного размера. Поэтому для количественного измерения концентрации респираторной пыли в воздухе шахты нужно использовать приборы.

С 2000г количество случаев заболевания лёгких у шахтёров возросло. Поэтому для определения воздействия пыли на шахтёров, и для выявления источников пыли, важно точно измерять её концентрацию. Затем результаты измерений используются для разработки и выполнения мероприятий для снижения запылённости в самых "проблемных" местах.

Измерение концентрации респираторной пыли в угольных шахтах ↑

Для измерения концентрации пыли в шахтах чаще всего используют гравиметрические измерительные пробоотборные приборы (Фиг. 2-1). Эти устройства предназначены для измерения запылённости для проверки выполнения требований закона об охране труда (*Federal Coal Mine Health and Safety Act*) 1969г. Они состоят из насоса постоянной производительности, циклона (который разделяет пыль на респираторную и не респираторную - более крупную), и держателя фильтра. При подземной добыче угля насос должен работать при расходе воздуха 2 л/мин. При подземной добыче металлических и не металлических полезных ископаемых он должен работать при расходе 1.7 л/мин. Циклон *Dorr-Oliver* диаметром 10 мм отделяет респираторную пыль (обычно это частицы с аэродинамическим диаметром 10 мкм, или ещё меньше) от более крупных частиц. Крупные частицы улавливаются циклоном, а респираторные частицы - фильтром из поливинилхлорида диаметром 37 мм, установленным после циклона. Респираторные частицы улавливаются фильтром, и он должен взвешиваться перед замером для последующего определения массы респираторной пыли, уловленной во время измерений. Затем массу пыли и объём прокачанного воздуха используют для вычисления концентрации респираторной пыли в мг/м³. После проведения замера нужно быть осторожным, чтобы циклон находился в вертикальном положении. В противном случае крупнодисперсная, не-респираторная пыль может попасть на фильтр из циклона, и результаты измерений окажутся неправильными.

Чтобы определить, какая доля респираторной пыли состоит из кварца, нужно послать фильтр в аккредитованную лабораторию для проведения анализа. Для пыли, уловленной при проведении измерений в угольных шахтах, определение содержания кварца проводят с помощью аналитического метода *MSHA P7 infrared analytical technique* [Parobeck and Tomb 2000]. А для пыли, уловленной в шахтах, где добывается руда металлических и неметаллических полезных ископаемых - метод NIOSH рентгеновской дифракции *x-ray diffraction using NIOSH Method 7500* [Schlecht and O'Connor 2003].

Из-за того, что при работе в шахте на концентрацию пыли может влиять большое количество разных факторов, весьма желательно проводить многократные гравиметрические измерения для одного и того же места, и вычислять средние значения концентрации пыли. Проведение многократных замеров повышает вероятность того, что (средняя) запылённости измерена правильно.

Помимо гравиметрических измерительных приборов, MSHA допускает использование в угольных шахтах измерители запылённости, работающие в реальном масштабе времени - но их использование не допускается для проверки или для подтверждения выполнения требований к ограничению запылённости воздуха.

9 Частицы пыли большого размера (например - больше 20 мкм - оседают в верхних дыхательных путях, и у здоровых людей через 15 мин ÷ 3 часа выводятся из организма вместе с мокротой. Из-за этого они менее опасны для здоровья, чем мелкие частицы, достигающие лёгких, и (если они нерастворимые) способные оставаться там годами - *примечание к переводу*.

10 Например, частицы сигаретного дыма - респираторного размера (~0.6 мкм), и когда плотная струйка дыма немного разбавляется воздухом, они становятся невидимы - *примечание к переводу*.

Фиг. 2-1. Индивидуальный пробоотборный насос, циклон и кассета с фильтром для гравиметрических измерений концентраций респираторной пыли ↑



Figure 2-1.—Gravimetric sampling pump, cyclone, and filter cassette.

В персональном измерительном приборе DataRAM (pDR) запылённый воздух пропускается через камеру датчика, где проходит через луч света. Датчик определяет, сколько света рассеивает пыль, и это рассеивание пропорционально её концентрации. Эта концентрация зависит от времени проведения измерения, обе величины записываются во внешнее запоминающее устройство. Затем эта информация может быть перенесена в компьютер для анализа. На Фиг. 2-2 показан типичный график, полученный с помощью прибора pDR, и фотография прибора. Для измерений используются мобильные измерительные приборы (это будет обсуждаться в следующем разделе). Результаты измерений запылённости как функции от времени могут анализироваться для определённых интервалов времени (например - частей цикла работы выемочного угольного комбайна), и могут вычисляться средние запылённости для этих интервалов.

Фиг. 2-2. Пример измерений концентрации пыли с помощью прибора pDR (в реальном масштабе времени) и фотография прибора ↑

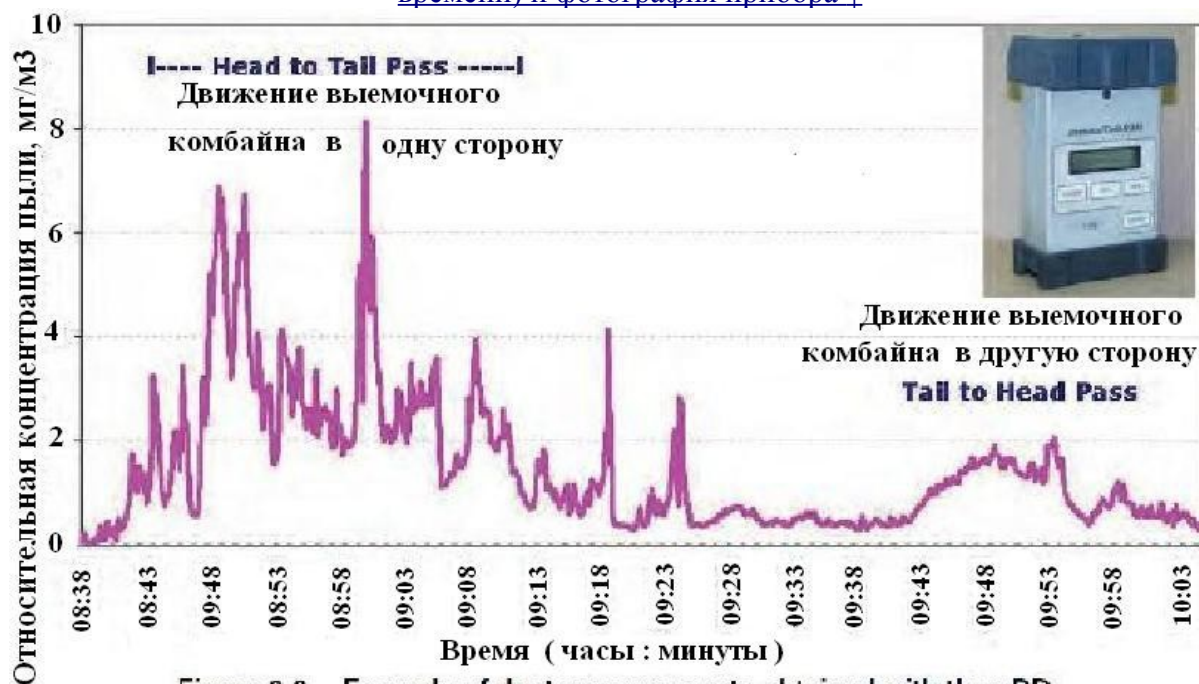


Figure 2-2.—Example of dust measurements obtained with the pDR.

К сожалению, точность измерения прибора, который использует рассеивание света, зависит от распределения частиц пыли по размерам, и на неё влияет наличие в воздухе водяного тумана. Поэтому, когда NIOSH использует подобные приборы, проводится калибровка в производственных условиях. Вблизи прибора проводят измерение запылённости гравиметрическим способом, и определяют поправочный коэффициент - отношение средней гравиметрической концентрации к средней концентрации, измеренной по рассеиванию света (измеренной pDR) [Thermo Scientific 2008]. Например, если гравиметрическая концентрация 1.3 мг/м³ за 6 часов измерений, а средняя концентрация, измеренная за это же время pDR 1.0 мг/м³, то результаты всех измерений, сделанных pDR умножаются на 1.3.

Для измерения запылённости в реальном масштабе времени в NIOSH также разработан и испытан персональный прибор - personal dust monitor (PDM). Его использование в угольных шахтах одобрено MSHA, и он имеется в продаже [Volkwein et al. 2006]. Для определения гравиметрической концентрации респираторной пыли в реальном масштабе времени прибор использует датчик - конические колебательные микровесы (*tapered-element oscillating microbalance* TEOM). TEOM - это полая трубка, которая вибрирует с известной частотой. На её конце находится фильтр. При осаждении респираторной пыли на фильтре частота колебаний изменяется, и это зависит от концентрации пыли. Прибор PDM показывает, какая "накопилась" концентрация пыли на данный момент с начала смены, и то, какая доля от допустимого (за всю смену) воздействия уже достигнута. Эта информация может использоваться рабочим для предотвращения чрезмерного воздействия пыли. Датчик измерителя запылённости устанавливается в стандартный держатель лампы на каске, и для измерения запылённости воздуха он всасывает его около лампы (Фиг. 2-3).

Фиг. 2-3. Индивидуальный измеритель - прибор PDM со снятым TEOM
(в реальном масштабе времени) ↑



**Figure 2-3.—PDM with TEOM removed (shown on right).
2003–2007 that exceeded reduced PELs.**

Проведение измерений ↑

Для эффективного уменьшения воздействия пыли угля и кварца на шахтёров нужно выявить, где происходит образование пыли, и в каком количестве. После определения этого можно использовать (наиболее подходящие) способы уменьшения запылённости, которые обеспечивают наилучшую защиту рабочих.

Для количественного определения того, сколько пыли образуется в данном источнике, нужно проводить измерения так, чтобы "отделить" вклад этого источника пыли от вклада других источников. Для этого измерители запылённости размещают до и после источника пыли по потоку. Отличие результатов их измерений позволяет определить количество пыли, образующееся в этом источнике.

Например, в шахте измерители можно установить в потоках воздуха - идущем для проветривания в забой (где работает короткозабойный выемочный комбайн), и уходящим оттуда. Это позволит определить, сколько пыли образуется при работе комбайна. На Фиг. 2-4 показано расположение измерителей запылённости. Если замеры проводятся с помощью гравиметрических измерителей, то нужно обеспечить, что они уловят достаточно большое количество пыли. Поэтому может потребоваться проведение измерений в течение нескольких циклов работы комбайна. В этом случае насосы измерительных приборов нужно включить, когда начнётся цикл работы комбайна. После окончания первого цикла нужно выключить насосы - до тех пор, пока комбайн не переместится на место начала нового цикла работы. В это время измерительные приборы нужно переместить в аналогичные места на новом месте работы комбайна. Когда комбайн начнёт новый цикл работы, нужно включить насосы приборов.

Фиг. 2-4. Положение измерителей запылённости, используемых для отдельного определения запылённости, создаваемой короткозабойным выемочным комбайном ↑

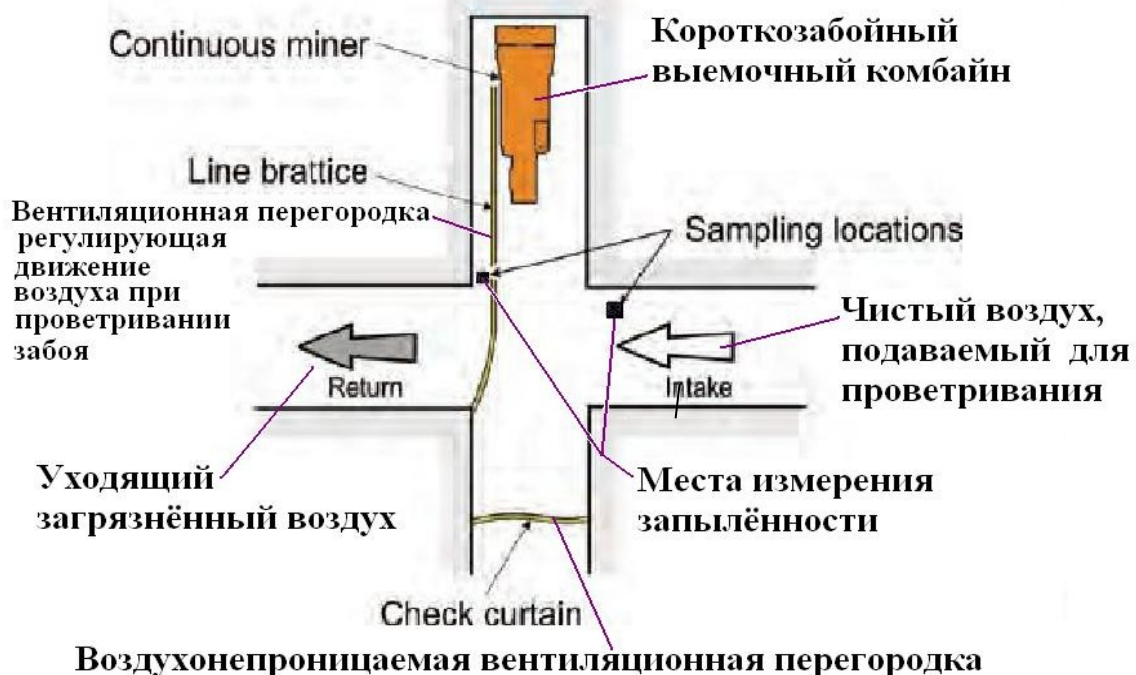


Figure 2-4.—Sampling locations used to isolate dust generated by a continuous miner.

При работе более подвижных машин - например, выемочного комбайна - для изоляции источника пыли нужно использовать подвижные измерители. По мере перемещения комбайна два сотрудника должны двигаться вместе с ним с измерительными приборами. Один из них должен находиться перед комбайном (по потоку воздуха), а другой - после комбайна. Они должны находиться на соответствующем расстоянии от комбайна при его работе. На Фиг. 2-5 показано проведение таких измерений.

В обоих примерах измерения проводятся в условиях, когда в шахте имеется установившийся режим движения воздуха при вентиляции. Но встречаются и другие случаи.

[Фиг. 2-5. Подвижное положение измерителей запылённости при работе выемочного комбайна ↑](#)



U - Upwind location D - Downwind location

U - измеритель находится до комбайна по потоку воздуха, **D** - после

Figure 2-5.—Mobile sampling used to quantify shearer dust.

Например, для измерения количества респираторной пыли, образующейся при проведении буровых работ на поверхности нужно использовать группу измерителей, находящихся вокруг буровой установки по кругу, чтобы учесть изменение направления ветра. Затем для определения количества образовавшейся при бурении пыли нужно усреднить результаты измерений. Также нужно определить фоновую запылённость воздуха - вдали от места работы, так чтобы на результат измерений не влияло образование пыли при бурении. Затем значение фоновой запылённости вычитается из результатов измерений запылённости около буровой установки, чтобы определить, какой она даёт вклад в общую запылённость. На Фиг. 2-6 показано размещение измерителей запылённости около буровой установки.

[Фиг. 2-6. Положение измерителей запылённости при проведении буровых работ на поверхности ↑](#)



A - измерение фоновой запылённости

S - измерение запылённости около буровой установки

A – Ambient sampling location

S – Drill sampling locations

Figure 2-6.—Sampling locations around a surface drill.

[Ссылки ↑](#)

Parobeck PS, Tomb TF [2000]. MSHA's programs to quantify the crystalline silica content of respirable dust samples. SME preprint 00-159. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.

Schlecht PC, O'Connor PF, eds. [2003]. NIOSH manual of analytical methods (NMAM®), 4th ed., 3rd supplement. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2003-154.

Thermo Scientific [2008]. Model pDR-1000AN/1200 instruction manual. Franklin, MA: Thermo Scientific, pp. 35-36.

Volkwein JC, Vinson RP, Page SJ, McWilliams LJ, Joy GJ, Mischler SE, Tuchman DP [2006]. Laboratory and field performance of a continuously measuring personal respirable dust monitor. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2006-145, RI 9669.

Глава 3. Снижение запылённости при работе выемочных комбайнов ↑

Авторы: *James P. Rider and Jay F. Colinet*

Медицинские исследования показали, что длительное воздействие респираторной угольной пыли при чрезмерной концентрации может привести к возникновению пневмокониоза, массивного прогрессирующего фиброза, и хронической обструктивной болезни лёгких. Эти заболевания - неизлечимы, и могут истощать больного, усиливаться, и стать причиной смерти. За период 1995-2004г в США из-за пневмокониоза умерло 10 406 шахтёров [NIOSH 2008]. При подземной добыче угля пневмокониоз продолжает оставаться серьёзной угрозой для здоровья шахтёров.

Исторически, выполнение требований федерального законодательства о снижении концентрации респираторной пыли до 2 мг/м³ при работе выемочных комбайнов встретило затруднения. В течение 2004-2008г для проверки выполнения требований законодательства на рабочих местах шахтёров, где существует повышенный риск при работе выемочных комбайнов инспектора MSHA сделали 1321 замер, а работодатели сделали 6600 замеров запылённости воздуха. Результаты этих измерений показали, что в 719 замерах (сделанных работодателями, 11%) и 144 замерах (сделанных инспекторами MSHA, 11%) концентрация респираторной пыли превышает 2.1 мг/м³ [Niewiadomski 2009]. Кроме того, измерения инспекторов MSHA за период 2004-2008г показали, что при работе выемочных комбайнов шахтёры подвергаются повышенному воздействию пыли респираторного кварца. У шахтёров, у которых по классификации MSHA код специальности 044 (оператор выемочного комбайна, находящийся сзади комбайна - *tail-side shearer operator*) в 31% замеров, а у рабочих с кодом 041 (*jack setter*¹¹) в 21% замеров из-за превышения доли кварца в респираторной пыли "границного значения" (5%), были нарушены требования законодательства, относящиеся к допустимой запылённости [MSHA 2009]. Продолжение выявления случаев заболевания пневмокониозом у шахтёров, добывающих уголь, и степень превышения допустимой концентрации респираторной пыли при работе выемочных комбайнов показывает, что нужно улучшить работу технических средств снижения запылённости при работе выемочных комбайнов.

С начала 1980-х произошло резкое возрастание количества применяемых выемочных угольных комбайнов и мест их использования. В 2007г с помощью выемочных комбайнов добывалась половина всего угля. Общая добыча угля этим способом достигла максимума в 2004г, и затем снизилась на ~10% - до 176 млн. тонн [EIA]. Такие масштабы требуют улучшить работу технических средств снижения запылённости.

Вредная респираторная пыль, воздействующая на шахтёров при работе выемочных комбайнов, образуется в нескольких источниках, в том числе: в вентиляционной выработке для подачи чистого воздуха; в месте прохода ленточного транспортёра, в местах перегрузки угля на конвейере и в дробилке, в угольном комбайне и при передвижении кровли. В этой главе рассматриваются используемые сейчас технические средства снижения концентрации пыли, образующейся в этих источниках, а также обсуждаются другие способы уменьшения запылённости, которые могут дополнительно уменьшить концентрацию пыли, но которые пока (ещё) не используются.

¹¹ Шахтёры, которые помогают при работе шнековых подземных горных машин. Они должны следить за кровлей, чтобы вблизи машины она была в безопасном состоянии.

Снижение запылённости на дорогах в шахте ↑

Образование пыли на дорогах в шахте, если не уделять этому достаточно внимания, может значительно повлиять на запылённость чистого воздуха, подаваемого в шахту для проветривания, и увеличить воздействие пыли на шахтёров при работе выемочных комбайнов. Проведившиеся недавно исследования показали, что концентрация респираторной пыли в последнем поперечном разрезе (при добыче угля выемочными комбайнами) достигала 0.42 мг/м³ [Rider and Colinet 2007]. При увеличении производительности выемочных угольных комбайнов увеличивается подача в шахту воздуха для удаления пыли и разбавления метана. Подача воздуха в забой возросла, и по сравнению с результатами измерений, проводившихся в середине 1990-х она стала больше на ~65% [Colinet et al. 1997].

Увеличение скорости воздуха в вентиляционных выработках может привести к увеличению его запылённости, если не будут приняты адекватные меры для обеспыливания. Исследования NIOSH [Listak et al. 2001; Chekan et al. 2001, 2004] показали, что когда пыль сухая (влажность до 1%) и когда она попадает в вентиляционный поток воздуха, может увеличиться её унос струёй воздуха - как это бывает при попадании в воздух пыли при перемещении кровли. Поэтому образование пыли на дорогах в шахте может увеличить количество пыли, достигающее рабочих мест шахтёров при работе выемочных угольных комбайнов.

Для уменьшения запылённости на дорогах могут использоваться следующие способы:

- **Изменение режима работы так, чтобы во время работы угольных комбайнов уменьшит или прекратить деятельность, приводящую к образованию пыли.** Перемещение машин, погрузочно-разгрузочные работы и др. увеличивают запылённость воздуха, подаваемого в шахту для проветривания. Такая деятельность, в сочетании с увеличением скорости воздуха, может привести к попаданию пыли в поток воздуха, подаваемого для проветривания, особенно если образование пыли происходит вблизи от последнего открытого поперечного разреза.

- **Использование воды или гигроскопичных веществ для уменьшения образования дорожной пыли.** Владельцы шахт должны внимательно следить за влажностью пыли на дорогах в шахте, особенно при увеличении подачи воздуха в забой и в зимние месяцы.

- **Использование поверхностно-активных веществ.** ПАВ - такие, как мыло и моющие средства - растворяются в воде, и улучшают сохранение влажности пыли на дорогах. ПАВ уменьшают поверхностное натяжение воды, что позволяет меньшему количеству воды смачивать такое же количество частиц на единицу объёма [Organiscak et al. 2003].

Снижение запылённости у ленточных транспортёров ↑

Для увеличения подачи воздуха в забой в качестве воздуховода может использоваться выработка ленточного транспортёра. Это увеличивает подачу, и может улучшить разбавление метана и запылённого воздуха. Исследования шахт, где используются выемочные комбайны [Rider and Colinet 2007] показали, что на ~40% из них воздух подаётся таким образом. Анализ результатов измерений запылённости воздуха, проводившийся MSHA [1989] показал, что при сравнении шахт, где используется такой способ подачи воздуха, с шахтами, где он не используется, значительных отличий в запылённости на рабочих местах не обнаружилось. Также исследования, проводившиеся US Bureau of Mines [Potts and Jankowski 1992; Jankowski and Colinet 2000] показали, что любое дополнительное попадание в забой, где работает выемочной комбайн, пыли из выработки для конвейера, вероятно, будет "смягчено" из-за увеличения разбавления, которое может произойти из-за увеличения подачи воздуха через выработку для транспортёра.

Но в последние годы из-за увеличения количества перемещаемого угля возросла возможность загрязнения воздуха, поступающего в забой через выработку для ленточного транспортёра. Для снижения поступления респираторной пыли из этого источника можно использовать такие способы:

- **Техобслуживание ремня.** Для уменьшения образования респираторной пыли при работе конвейера жизненно важно проводить надлежащее техобслуживание последнего. Отсутствие роликов, проскальзывание ремня, и его износ могут привести к смещению ремня, и просыпанию (угля) [Organiscak et al. 1986]. Поскольку количество угля, транспортируемого из забоя возрастает, то администрация должна тщательно следить за проведением надлежащего техобслуживания имеющихся средств снижения запылённости конвейера, чтобы предотвратить унос пыли в забой.

- **Увлажнение перемещаемого угля.** При адекватном увлажнении угля в забое, при его дальнейшем перемещении и в местах перегрузки образуется меньше пыли. Но при сильном увеличении расхода воздуха через проход для конвейера, вода может испаряться, и может потребоваться дополнительное увлажнение через какие-то промежутки. Для увлажнения угля в промежуточных местах на транспортёре обычно используют форсунки с плоским факелом и с полным конусом. Обычно расход воды составляет $3.8 \div 15$ л/мин (*1 ÷ 4 галлона в минуту*) при давлении 50 psi (345 кПа) [Kost et al. 1981].

- **Очистка ремня выскабливанием и промывкой.** Как показали [Kissell and Stachulak 2003; Organiscak et al. 1986; Shirey et al. 1985] для уменьшения пылеобразования большое значение имеет очистка ремня. Материал, прилипший к ремню, разрушается на концевых роликах. Этот материал часто высыхает, и попадает в воздух, когда проходит ролики, поддерживающие холостую часть ремня. Верхняя и нижняя стороны холостой части ремня должны очищаться подпружиненным скребком, или скребком, прижимаемым к ремню грузом. Может потребоваться увлажнение ремня распылением небольшого количества воды - в дополнение к очистке скребком. Проводившиеся ранее исследования [Stahura 1987; Baig et al. 1994] показали, что сочетание использования скребков и распыления воды значительно уменьшает образование респираторной пыли.

- **Использование вращающихся щёток, очищающих несущую сторону ремня.** Для уменьшения образования пыли при работе конвейера может использоваться вращающаяся щётка с приводом от мотора [Organiscak et al. 1986]. Она вращается в сторону, противоположную направлению движения ремня (Фиг. 3-1). Такая щётка должна устанавливаться вблизи места сброса угля с конвейера так, чтобы прилипший к ремню материал оставался влажным и слипшимся после его отделения от ремня. Если (прилипший) материал остаётся на холостой части ремня, то он может высохнуть, и попасть в воздух при отделении от ремня.

- **Увлажнение сухих ремней.** Исследования [Kissell and Stachulak 2003; Organiscak et al. 1986; Shirey et al. 1985] показали, что увлажнение нижней, не несущей стороны ремня может значительно уменьшить образование пыли при работе конвейера, когда последний проходит место сброса угля. Для этого обычно используют форсунки с полным конусом, с факелом, направленным на не несущую сторону ремня (при обратном движении, при отсутствии угля, она становится верхней). Для вытирания ремня после форсунки устанавливается, например, кусок коврика с подкладкой из поролона (по всей ширине ремня), что позволяет удалять частицы пыли (Фиг. 3-2).

[Фиг. 3-1. Вращающиеся щётки очищают несущую сторону ленты конвейера ↑](#)

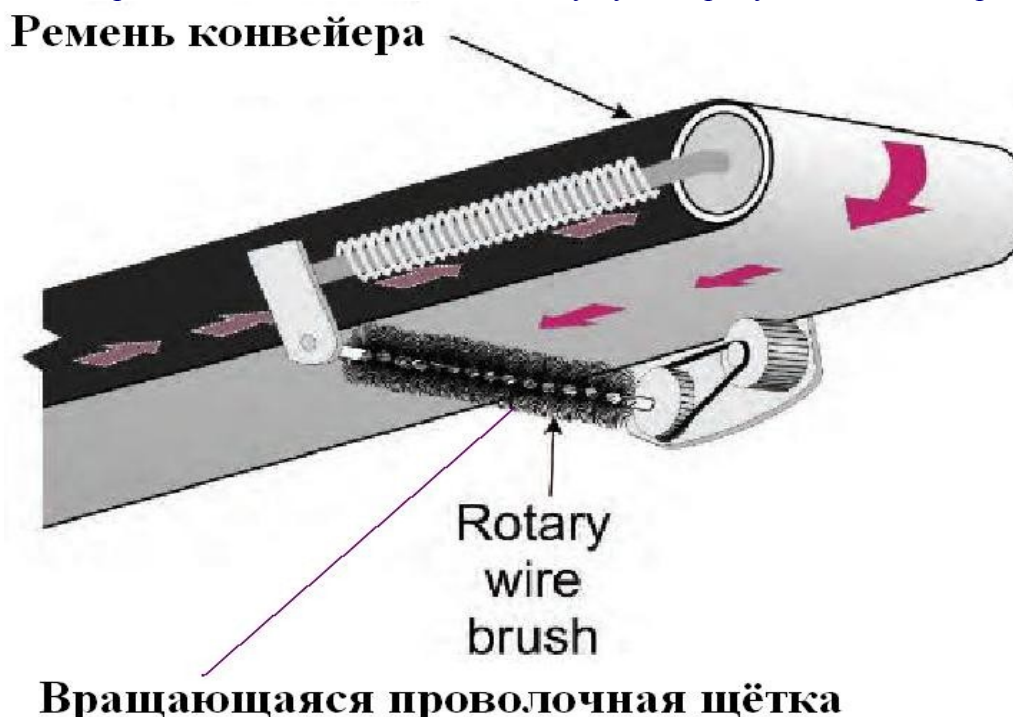


Figure 3-1.—Rotary brush cleans the conveying side of the belt.

Фиг. 3-2. Распыление воды и "вытирание" не несущей стороны ленты конвейера для уменьшения запылённости ↑

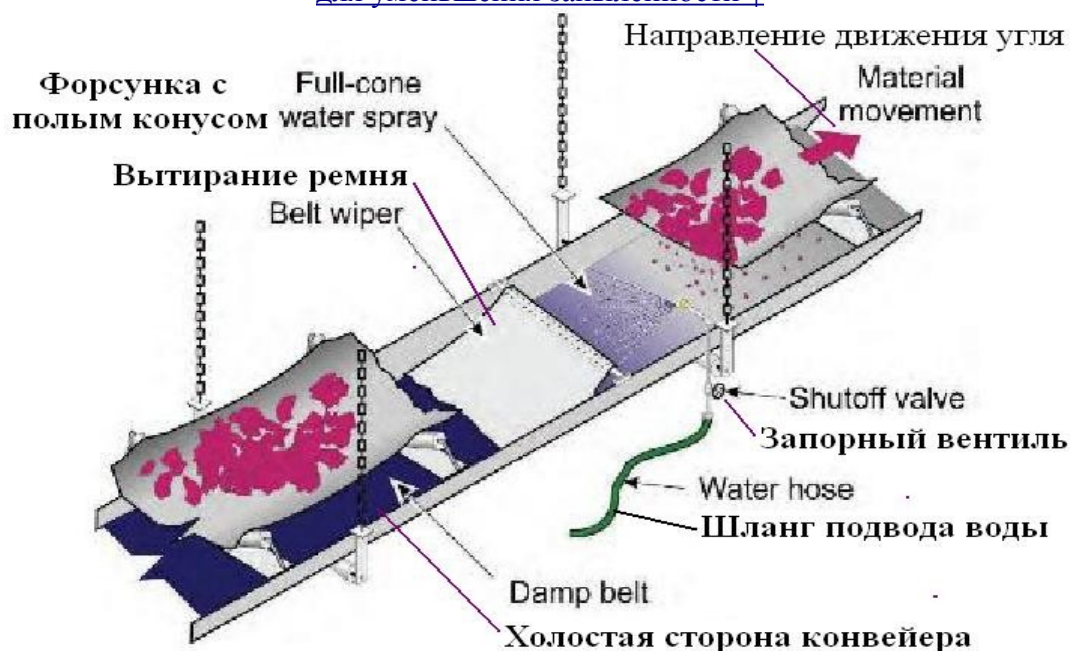


Figure 3-2.—Water sprays and belt wiper used to reduce dust from the nonconveying side of the belt as it returns.

Снижение запылённости от других источников ↑

Респираторная пыль может попасть в воздух и из других источников, и оставаться в потоке вентиляционного воздуха при его движении вдоль всего забоя (при работе выемочного комбайна). Это может привести к воздействию пыли на всех шахтёров, работающих в забое. Среди источников пыли, загрязняющих вентиляционный воздух, основными являются штрековый перегружатель и дробилка. При дроблении угля и породы в дробилке возникает большое количество пыли, которая может попасть в вентиляционный воздух.

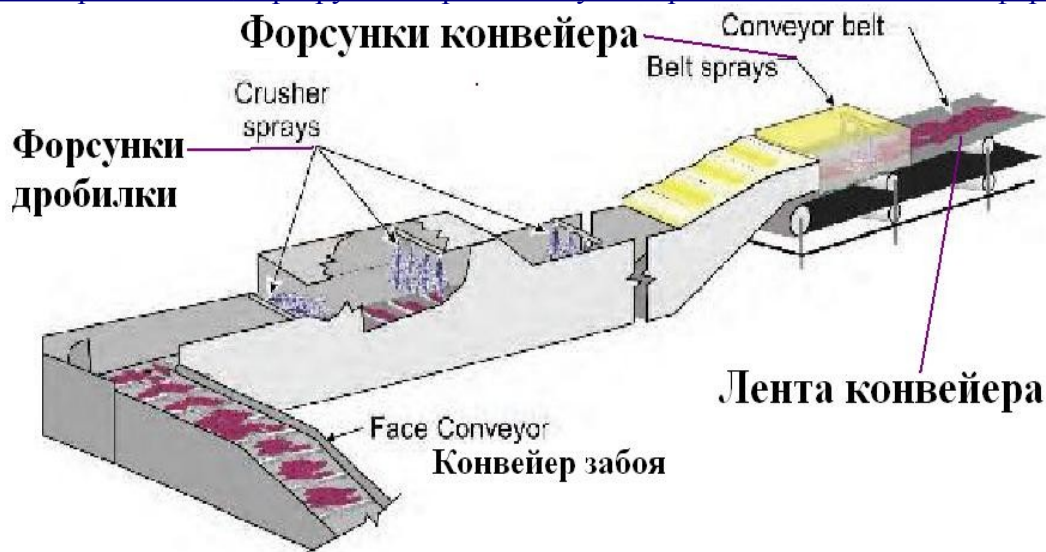
Для снижения запылённости воздуха в месте работы этого оборудования используют:

- **Установка укрытий, полностью закрывающих оборудование.** Проведённое недавно исследование NIOSH [Rider and Colinet 2007] показало, что всё оборудование такого типа полностью закрывается укрытиями/кожухами. Но для установки таких укрытий нет единообразной технологии. Обычно используют листы стали, экраны из ленты конвейера, занавеси и/или пену для закрывания дробилок и штрековых перегружателей по всей их длине. Кроме того, дополнительное укрытие участка конвейера перед дробилкой позволяет эффективно уменьшить распространение пыли от оборудования и загрязнение вентиляционного воздуха. Для изоляции дробилки над входом в неё подвешивают полосы из ленты конвейера. Для эффективного использования этого способа важно чтобы все уплотнения и занавеси были исправны.

- **Увлажнение угля в месте работы штрекового перегружателя и дробилки.** Для этого обычно распыляют воду, устанавливая форсунки над молотками дробилки, обычно подают 30-38 л/мин (8-10 галлонов в минуту). А перед входом в укрытие над штрековым перегружателем обычно устанавливают 3-4 форсунки с полным конусом [Jankowski and Colinet 2000; Organiscak et al. 1986; Shirey et al. 1985]. Для равномерного увлажнения угля форсунки должны перекрывать всю ширину конвейера. Они увлажняют уголь, чтобы предотвратить образование респираторной пыли при его дальнейшей обработке. Предыдущие исследования [USBM 1985; Kelly and Ruggieri 1990] показали, что наиболее эффективное удержание пыли в укрытии достигается при использовании форсунок большой производительности при низком давлении воды. Форсунки с большим давлением не нужны, поскольку тут важно подавать много воды, а давление не имеет значения. Рекомендуется использовать форсунки с полным конусом и большим отверстием при давлении 414 кПа (60 psi).

Часто форсунки устанавливают в месте выгрузки дробилки. Для уменьшения пылеобразования при работе штрекового перегружателя устанавливают форсунки непосредственно над местом падения угля [Organiscak et al. 1986; Shirey et al. 1985; USBM 1985]. Рекомендованные места установки форсунок показаны на Фиг. 3-3.

Фиг. 3-3. Укрытия мест перегрузки и дробления угля и расположение водяных форсунок ↑



- **Использование пылеуловителей-скрубберов в местах перегрузки и дробления угля.** Чтобы предотвратить разлетание пыли в местах перегрузки и дробления угля, могут использоваться установленные рядом скрубберы-пылеуловители с вентилятором. Обычно при их использовании всасывающие отверстия скрубберов с помощью воздухопроводов соединяются с местами выгрузки угля у перегружателя и дробилки. Обычно расход воздуха через такой пылеуловитель составляет $184 \div 241$ м³/мин ($6500 \div 8500$ куб. футов / мин). Эти скрубберы не только улавливают пыль, но и создают разрежение в укрытии над перегружателем и дробилкой, что уменьшает вытекание загрязнённого воздуха через зазоры и неплотности (если они есть).

Фиг. 3-4. Скруббер с подачей воды под большим давлением, установленный на дробилке ↑

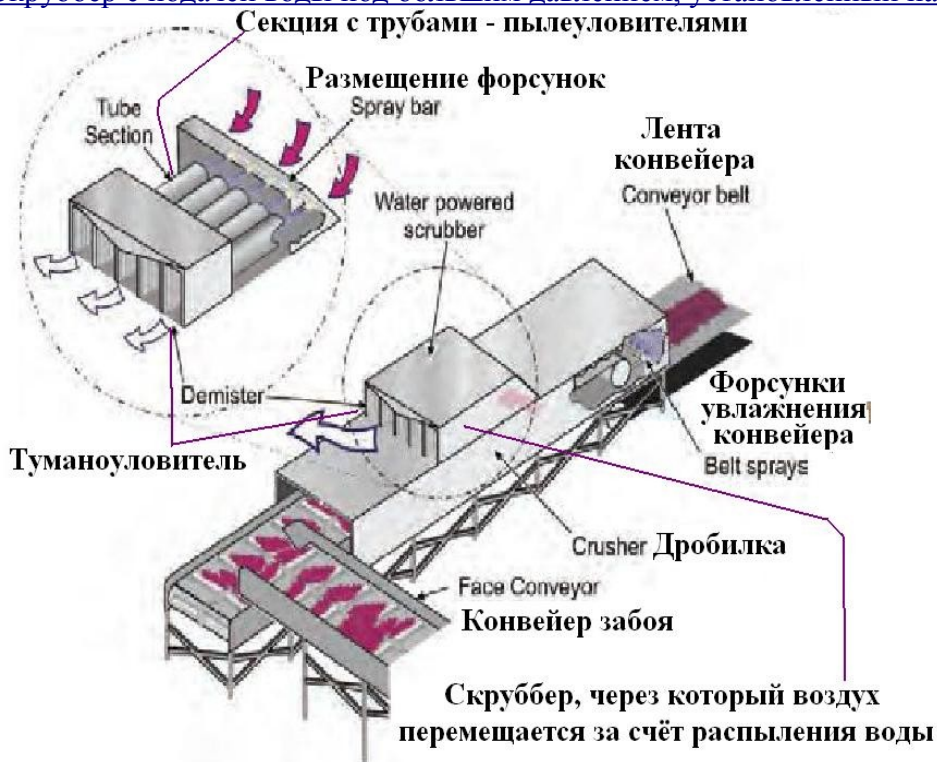


Figure 3-4.—High-pressure water scrubber installed on top of crusher.

- Использование скруббера с подачей воды под большим давлением. Альтернативой скрубберам с вентилятором является маленький скруббер с подачей воды под большим давлением [Kelly and Ruggieri 1990]. В центре трубы устанавливается форсунка, которая распыляет воду при давлении не менее 6,9 мПа (1000 psi). Распыление воды при большом давлении позволяет не только улавливать пыль, но и заставляет воздух перемещаться через трубу - без использования вентилятора [Jayaraman et al. 1981]. Так как перемещение воды происходит без использования вентилятора, то он по своей конструкции совершенно взрывобезопасен (*метан*), и требует минимального техобслуживания из-за отсутствия подвижных частей. Проведены успешные подземные испытания устройства с 5 трубами, с установленной в каждой трубе форсунке. Загрязнённый воздух проходил через трубы и потом - через туманоуловитель с лопатками. На Фиг. 3-4 показан скруббер, установленный в верхней части дробилки. Очищенный воздух поступает в забой. Испытания в производственных условиях показали, что при давлении воды 8,3 мПа (1200 psi) и расходе воды 38 л/мин (10 галлонов в минуту) концентрация пыли уменьшается больше чем на 50%.

Кроме штрекового перегружателя и дробилки, для уменьшения пылеобразования в месте подачи чистого воздуха для проветривания забоя используют следующие способы:

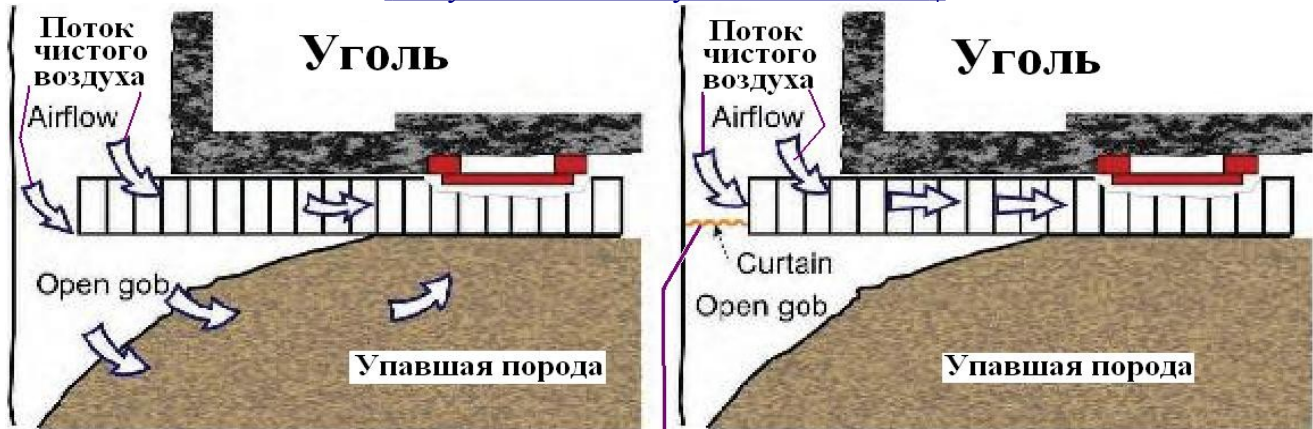
- Установка вентиляционной перегородки, отделяющей породу от забоя (*gob curtain*). Чтобы обеспечить адекватную вентиляцию забоя при работе выемочного комбайна, нужно подавать в забой достаточное количество воздуха. Но часто часть подаваемого в забой воздуха уходит в пространство, откуда был добыт уголь ранее, и это препятствует нормальному проветриванию забоя. Это часто бывает из-за анкерного крепления кровли в месте перегрузки конвейеров - крепление мешает обрушению кровли в этом месте (при перемещении механизированной крепи) - синхронно с обрушением кровли в других местах. В результате за несколькими первыми секциями механизированной крепи находится пустое пространство, и часть вентиляционного воздуха теряется. Кроме того, попавший в это пространство воздух может загрязниться пылью и снова попасть в забой, увеличивая запылённость. При установке вентиляционной перегородки, отделяющей забой от пространства, откуда ранее был извлечён уголь (в том месте, где вентиляционный воздух подаётся в забой) она разворачивает поток воздуха на 90° в сторону забоя, и уменьшает потери (Фиг. 3-5). В некоторых случаях такую вентиляционную перегородку подвешивают за гидравлическими опорами механизированной крепи на протяжении её первых 5÷10 секций, что уменьшает потери вентиляционного воздуха, подаваемого в забой.

В нескольких исследованиях увеличение подачи воздуха в забой при установке такой перегородки достигало 35% (по сравнению с подачей без перегородки). Наибольший эффект от перегородки наблюдался первые 25-30 секций механизированной крепи, где увеличение расхода воздуха приводило к снижению концентрации пыли за счёт разбавления [Kissell et al. 2003; Jankowski and Colinet 2000; Shirey et al. 1985]. Все исследования NIOSH, которые проводились недавно, показали что при использовании выемочных комбайнов везде устанавливают такие перегородки - но, к сожалению, из-за недостаточно хорошего обслуживания много воздуха уходит за перегородку.

- Перемещение оператора выемочного комбайна за рабочий орган при окончании цикла работы так, чтобы воздух двигался от оператора к рабочему органу. Одна из причин воздействия пыли на оператора при большой концентрации - попадание рабочего органа комбайна в поток вентиляционного воздуха при окончании цикла работы. Дойдя "до конца" лавы, рабочий орган выемочного комбайна - сильно запылённый, источник большого количества пыли - попадает в поток воздуха, подаваемый для проветривания. Воздух подхватывает большое количество респираторной пыли, и это может привести к сильному воздействию на оператора. Хотя это продолжается относительно недолго, но запылённость может быть большой, и концентрация респираторной пыли, воздействующей на оператора может достигать 20-30 мг/м³ [Jankowski and Colinet 2000; Shirey et al. 1985]. В проводившемся недавно исследовании NIOSH, изучавшем воздействии пыли [Rider and Colinet 2007], были приложены усилия для того, чтобы оба оператора

выемочного комбайна (и тот, кто находится спереди, и тот, кто находится сзади) при окончании цикла работы переходили со своих обычных рабочих мест за рабочий орган комбайна (находясь перед ним по потоку воздуха) до того, как он (заканчивая цикл работы) попадет в поток вентиляционного воздуха. Обычно они переходят за моторы привода конвейера забоя, около первых двух секций механизированной крепи. Это также защищает их от летящих (частиц) угля. Такое перемещение операторов в конце цикла работы защищает их от воздействия респираторной пыли при большой концентрации в конце цикла работы.

Фиг. 3-5. Использование занавеси, отделяющей пустую породу, для увеличения воздухообмена в забое ↑



Вентиляционная перегородка

Figure 3-5.—Gob curtain increases airflow down the face.

Фиг. 3-6. Характер движения воздуха вокруг выемочного комбайна при отсутствии (слева) и при наличии (справа) занавеси в конечной точке движения комбайна ↑

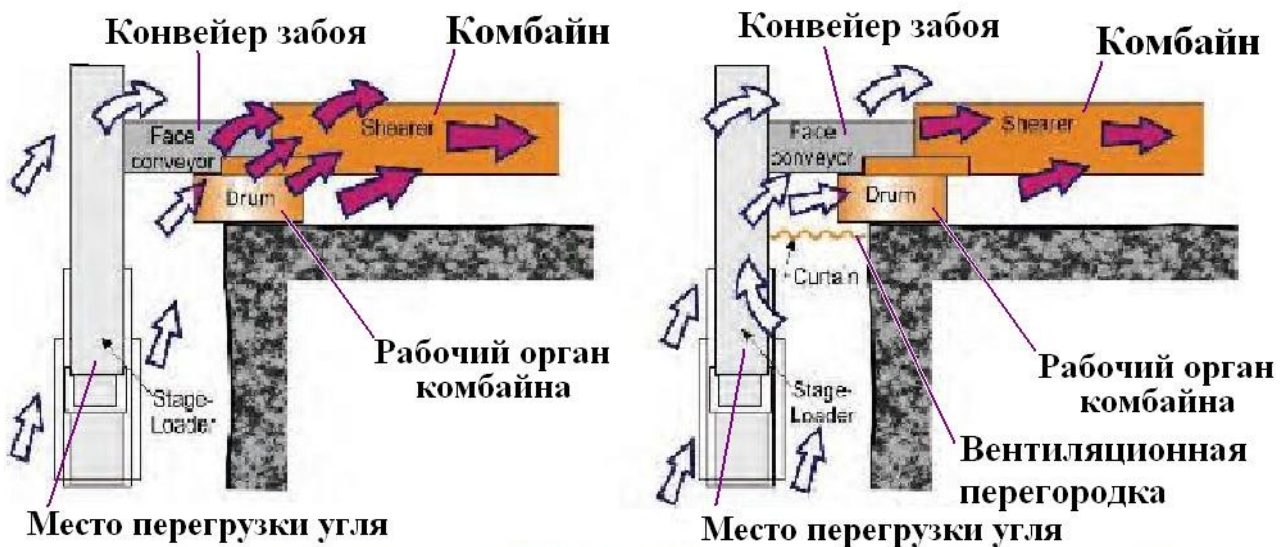


Figure 3-6.—Ventilation patterns around shearer without (left) and with (right) a cutout curtain.

- Установка вентиляционной перегородки между стеной штрека и штрековым перегрузателем (Фиг. 3-6). Кроме перемещения операторов комбайна в не загрязняемый поток воздуха при окончании цикла работы (когда рабочий орган попадает в поток вентиляционного воздуха), для уменьшения концентрации пыли может использоваться вентиляционная перегородка [Jankowski and Colinet 2000; Shirey et al. 1985]. Она подвешивается к кровле и находится между стеной штрека и штрековым перегрузателем. Предыдущее исследование [Jankowski et al. 1986] показало, что такая перегородка эффективно снижает концентрацию пыли ниже по потоку воздуха. Перегородка направляет воздух так, что он проходит мимо рабочего органа комбайна при окончании цикла работы. Для получения максимального эффекта и чтобы не влиять на (работу) барабана, она должна находиться на расстоянии ~1.8 м (6 футов) от угла забоя.

Снижение запылённости в месте работы комбайна ↑

При добыче угля с помощью выемочных комбайнов последние являются главным источником пыли, и они вносят наибольший вклад в воздействие респираторной пыли на сотрудников. Поэтому при уменьшении запылённости основное внимание должно уделяться образованию пыли при работе комбайна - особенно если он разрушает пласт угля при движении в обоих направлениях. Проведённые ранее исследования работы выемочных комбайнов показали, что вклад работе комбайна в общую концентрацию пыли больше, чем вклад мест перегрузки угля на конвейерах и вклад от механизированной крепи [Colinet et al. 1997]. Комбайны создают более 50% всей пыли при добыче угля. Ниже рассмотрен ряд способов снижения запылённости при работе выемочного комбайна.

- **Вентиляция забоя.** Как и при всех видах добычи полезных ископаемых, основным способом разбавления метана до безопасной концентрации является вентиляция. Она также является основным способом уменьшения запылённости при добыче угля выемочными комбайнами. Целью использования вентиляции было и остаётся подача адекватного количества воздуха для разбавления и уноса пыли из забоя, и предотвращение её попадания в ту часть забоя, где работают люди (*walkway*). В предыдущих исследованиях [Mundell et al. 1979] сообщали, что для снижения запылённости минимальная приемлемая скорость воздуха в забое должна быть 2-2.3 м/с (400-450 футов/мин). В немецком исследовании [Breuer 1972] сообщали, что оптимальный диапазон скоростей может быть увеличен до 3.6-4.6 м/с (700-900 футов/мин), если влажность пыли составляет 5-8%. В исследовании MSHA [Tomb et al. 1992] сообщали, что при увеличении количества воздуха, подаваемого для проветривания забоя - даже свыше 6,1 м/с (1200 футов/мин), происходит уменьшение концентрации респираторной пыли вдоль забоя. При увеличении скорости воздуха важно обеспечить достаточное увлажнение угля для уменьшения возможного загрязнения воздуха пылью при его движении с большей скоростью. При большей скорости в забой поступает больше воздуха, что приводит к большему разбавлению пыли, (но) это увеличивает пылеобразование при перемещении механизированной кровли. При большей скорости воздуха вокруг комбайна разлетание пыли ограничивается местом разрушения угольного пласта, и уменьшается вероятность загрязнения мест работы людей. При большей скорости воздуха улучшатся унос пыли из "застойных" зон в районе главного штрека (*headgate*) и крепления кровли. Проведённые недавно исследования NIOSH показали, что средняя скорость воздуха была 3,4 м/с (665 футов/мин), а в двух забоях - более 4,1 м/с (800 футов/мин) [Rider and Colinet 2007]. Средний расход воздуха, подаваемого для проветривания забоя - примерно 32 м³/сек, (=114 тыс м³/ч, 67 000 куб. футов/мин). По сравнению с результатами исследований в середине 1990-х подача воздуха возросла на 67% [Colinet et al. 1997]. Измеренная при проведении последних исследований [Rider and Colinet 2007] концентрация перед комбайном (по потоку) и в середине комбайна была ниже, чем измеренная в более ранних исследованиях. Это показывает, что увеличение скорости воздуха и одновременное использование на комбайне форсунок, перемещающих запылённый воздух, ограничивает распространение облака пыли местом разрушения угольного пласта и уменьшает попадание пыли в места работы людей.

- **Установка форсунок на рабочий орган комбайна.** Форсунки, установленные на рабочий орган, подают воду непосредственно в место разрушения угля, и увеличивают влажность угля, уменьшая пылеобразование при его транспортировке. Хотя такие форсунки очень эффективно уменьшают пылеобразование в месте разрушения угольного пласта, но фактически, если давление воды будет слишком большим, они могут увеличить запылённости воздуха (*в месте работы людей*). (В этом случае) вместо уменьшения пылеобразования эти форсунки станут перемещать запылённый воздух от места разрушения угольного пласта (*к месту работы людей*), что приведёт к перемешиванию запылённого воздуха с чистым, подаваемым для проветривания, и попаданию пыли во всё поперечное сечение забоя [Jankowski and Colinet 2000]. Предыдущие исследования [Shirey et al. 1985] показали, что такие форсунки эффективно уменьшают образование пыли, но при увеличении давления воды свыше 690 кПа (100 psi) концентрация пыли в зоне дыхания оператора может возрасти на 25%. Кажется, в большинстве случаев оптимальное давление воды в таких форсунках - 552-690 кПа (80÷100 psi). Для использования в этом месте лучше всего подходят форсунки с

полным конусом. Они позволяют увлажнять уголь, и не вызывают излишнее перемещения воздуха около рабочего органа. Для уменьшения давления и увеличения расхода воды используют сопла с большими отверстиями.

- **Обслуживание зубьев рабочего органа.** Проведённые ранее исследования показали, что зубья с большими сердечниками из карбида и узким переходным участком между стальной ножкой и карбидным (сердечником) уменьшают образование пыли [Organiscak et al. 1996]. Нельзя переоценить важность быстрой замены повреждённых, выпавших и изношенных зубьев. Тупые зубья "трутся" об уголь, и это приводит к неэффективному использованию прилагаемых режущих усилий, и неспособности рабочего органа разрушать пласт с требуемой скоростью. Это приводит к маленькой подаче рабочего органа, что значительно увеличивает образование пыли. Использование затупленных зубьев не только увеличивает усилия при разрушении угольного пласта и увеличивает пылеобразование, но также увеличивает вероятность механического повреждения узлов крепления зубьев и *gear boxes*, и фрикционного зажигания метана [Shirey et al. 1985].

- **"Струйные вентиляторы" - форсунки, перемещающие запылённый воздух за счёт распыления воды (*Directional water spray systems*).** Распыление воды может быть эффективным способом перемещения воздуха и - при правильном применении - может использоваться для уменьшения распространения пыли (образующейся при работе комбайна) в места работы людей около комбайна (дополнительно к вентиляционному потоку воздуха). Форсунки, установленные на корпусе комбайна, работают как маленькие вентиляторы, перемещая воздух и пыль в сторону распыления воды [Jankowski and Colinet 2000]. При неудачном размещении форсунок - когда они распыляют воду на рабочий орган в направлении, противоположном направлению движения воздуха - они фактически отталкивают пыль от места её образования, и способствуют её смешиванию с чистым воздухом, который потом попадает на рабочие места операторов. Использование струйных вентиляторов (*shearer-clearer, directional water spray systems*) [Jayaraman et al. 1985] уменьшает распространение пыли и попадание запылённого воздуха в забой. Для этого на комбайне устанавливается несколько форсунок, направленных вниз по потоку воздуха, подаваемого в забой для вентиляции. Также используются один или более пассивных барьеров, которые разделяют поток вентиляционного воздуха около комбайна на два: чистый и загрязнённый (Фиг. 3-7). Разделение потоков начинается кронштейн - вентиляционная перегородка (*splitter arm*)¹². Она находится на той стороне комбайна, на которой находятся люди, и простирается от корпуса комбайна вперёд по потоку воздуха параллельно направлению его движения. Для физического отделения места работы людей от места разрушения угольного пласта к этому кронштейну подвешивают конвейерные ленты. Кроме того, на кронштейне устанавливают ряд форсунок для создания потока воздуха (и перемещения пыли) в сторону места разрушения угольного пласта. Чтобы такая система была эффективной, кронштейн должен простираться дальше рабочего органа - настолько, насколько это возможно. Все форсунки на кронштейне должны быть направлены по потоку воздуха, и должно использоваться достаточное количество форсунок для предотвращения распространения пыли от рабочего органа на рабочие места людей. К кронштейну должны подвешиваться конвейерные ленты (экраны), чтобы улучшить разделение потоков воздуха и предотвратить распространение пыли. Так как кронштейн должен выступать за рабочий орган комбайна - настолько далеко, насколько это возможно - он должен изготавливаться из достаточно жёсткой стальной трубы, чтобы выдерживать удары (кусков) угля и породы. Другой вариант - некоторые шахты используют подпружиненные кронштейны, которые могут поглощать энергию удара и возвращаться в исходное положение. Так как струйные вентиляторы предназначены для перемещения воздуха, то важно, чтобы давление воды было достаточно большим - не ниже 10,3 мПа (*150 psi*). Для распыления воды с целью перемещения (запылённого) воздуха подходят

12 ... разработан комбинированный способ борьбы с пылью, включающий применение эластичного укрытия из резиноканевого материала для изоляции исполнительного органа комбайна 2К-52 ... (это - выемочный комбайн). ... способ является более эффективным по сравнению с другими, так как позволяет снизить запылённость в лаве на 92%. Феськов МИ, Буянов АД, Колодочка ЯВ. Комбинированный способ борьбы с пылью в комплексно механизированной лаве. Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело №7 / 1973.

форсунки с полым конусом, или форсунки Вентури (Фиг. 3-8). Форсунки должны быть направлены так, чтобы они способствовали перемещению пыли вдоль забоя, но не создавали завихрения воздуха (турбулентность). Поэтому нежелательно, чтобы струи этих форсунок сталкивались с препятствиями (кронштейном *ranging arm*).

[Фиг. 3-7. Схема распыления воды для снижения запылённости при работе выемочного комбайна ↑](#)

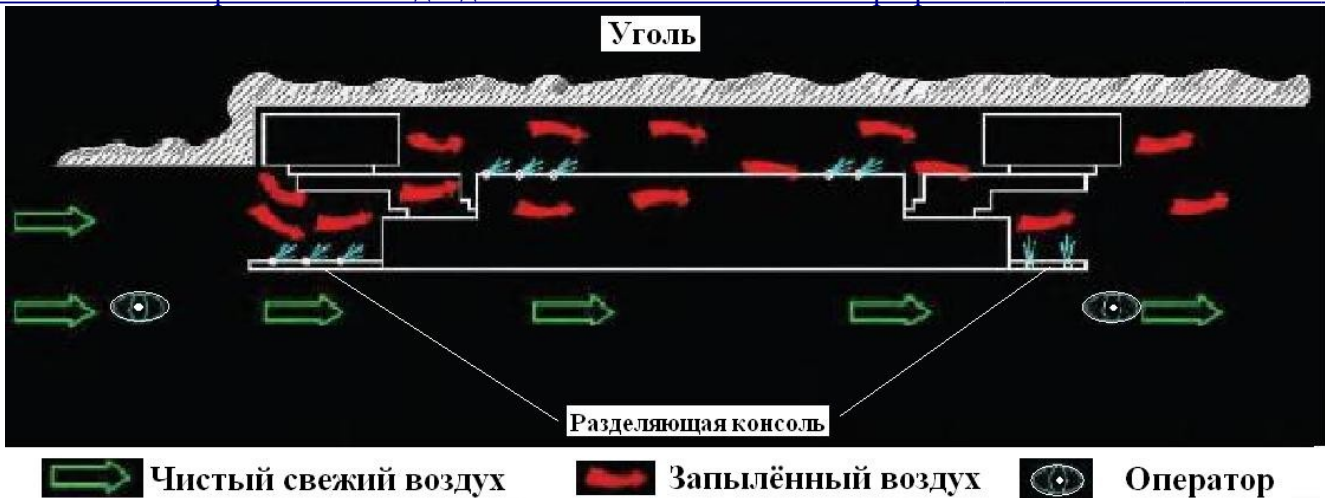


Figure 3-7.—Shearer-clearer directional spray system.

[Фиг. 3-8. Форсунки Вентури, установленные с передней стороны комбайна \(по потоку\) на кронштейне разделяющей вентиляционной перегородки \(*splitter arm*\) ↑](#)



Figure 3-8.—Venturi sprays mounted on headgate splitter arm.

Ленты конвейера, подвешенные вдоль кронштейна, вместе со струйными вентиляторами, помогают разделить потоки воздуха (чистого и запылённого), движущиеся вниз по потоку от комбайна. Эти ленты также представляют собой физический барьер между конвейером забоя и рабочими местами людей, помогая уменьшить попадание пыли в их зону дыхания. Зазоры и щели в таких экранах сильно снижают эффективность разделения потоков с помощью кронштейна. Для уменьшения попадания пыли на рабочие места могут использоваться форсунки, установленные на кронштейне со стороны, где находятся люди, и направленные к нижней стороне лент конвейера (Фиг. 3-9). Для предотвращения распространения пыли могут использоваться форсунки с большим расходом воды при низком давлении, равномерно размещённые по всему кронштейну и направленные в сторону нижней части ленты конвейера.

Альтернативное решение - вместо установки струйных вентиляторов на стороне, где работают люди, установить форсунки на нижней стороне кронштейна. И в этом случае форсунки с большим расходом воды должны устанавливаться равномерно по длине кронштейна и они должны

быть направлены вниз, на конвейер. Эти форсунки могут предотвратить перетекание запылённого воздуха над или под лентой конвейера, и должны увеличить влажность угля на конвейере, что уменьшит пылеобразование на нём. Установке форсунок в этом месте может помешать то, что там сильная турбулентность.

Фиг. 3-9. Кронштейн с передней (по потоку) стороны комбайна, с форсунками (струйными вентиляторами) с плоским факелом на стороне ленты конвейера, обращённой к пустой породе ↑



Figure 3-9.—Headgate splitter arm with flat-fan sprays mounted on gob side of belting.

Давление воды имеет большое значение, и маленького давления может оказаться недостаточно для предотвращения проникания пыли под лентой конвейера, а слишком большое давление может увеличить турбулентность у нижней части ленты конвейера, что приведёт к попаданию большего количества запылённого воздуха на рабочие места людей. При использовании системы снижения запылённости со струйными форсунками, последние перемещают запылённый воздух вдоль забоя. Для этого форсунки устанавливаются на корпусе комбайна между его рабочими органами (Фиг. 3-10). Эти форсунки побуждают запылённый воздух, находящийся между корпусом комбайна и пластом угля, двигаться вдоль забоя вниз по потоку, предотвращая попадание пыли на рабочие места. Обычно устанавливают 3-4 насадки по 3-5 струйных вентиляторов на каждой - по всей длине корпуса выемочного комбайна. Такие форсунки обычно устанавливают или на стороне корпуса комбайна, обращённой к угольному пласту, или на верху корпуса, ближе к пласту угля. Все форсунки направлены вниз. Результаты подземных испытаний таких систем показали, что они снижают воздействие на операторов респираторной пыли, создаваемой комбайном, примерно на 50% - при движении работающего комбайна против потока вентиляционного воздуха, и более чем на 30% при движении работающего комбайна по потоку. [Ruggieri et al. 1983; Jayaraman et al. 1985].

Фиг. 3-10. Направляющие форсунки, установленные на стороне корпуса выемочного комбайна, обращённой к разрушаемому угольному пласту ↑



Figure 3-10.—Directional sprays mounted on face side of shearer body.

- **Установка кронштейна параллельно верхней части комбайна.** Для предотвращения попадания пыли на рабочие места важно установить кронштейн примерно параллельно (верхней части комбайна) - особенно при добыче угля из толстых пластов, которые типичны в западной части США. Во время проведения недавних исследований [Rider and Colinet 2007] сотрудники NIOSH видели кронштейн с гидравлической регулировкой положения, наклонявшийся вниз к решетчатому ставу (*pan line*) при движении работающего комбайна по потоку воздуха. Из-за этого респираторная пыль перетекала над кронштейном и попадала на рабочие места (Фиг. 3-11 слева). А при движении работавшего комбайна в противоположном направлении сотрудники NIOSH обнаружили, что облако пыли проходит под лентой, подвешенной к кронштейну - когда рабочий орган комбайна находится в поднятом положении, и когда кронштейн отклоняется вверх (Фиг. 3-11 справа). Установка кронштейна параллельно полу и на одном уровне с верхом корпуса комбайна может предотвратить попадание пыли на рабочие места людей - над или под перегородкой.

Фиг. 3-11. Разделяющая консоль может находиться в таком положении, что пыль может попасть в проход для людей ↑



Figure 3-11.—Position of splitter arm may allow dust to migrate into walkway.

- **Пластины дефлектора комбайна.** Пластины дефлектора выемочного комбайна с гидравлической регулировкой положения используются, главным образом, для защиты операторов от грязи, летящей из места разрушения угольного пласта (Фиг. 3-12). В поднятом положении они должны увеличить эффективность системы пылеподавления со струйными вентиляторами, создавая физический барьер, отделяющий запылённый воздух. Для увеличения эффективности защиты пластины должны быть подняты так высоко, как это позволяют условия выполняемой работы.

Фиг. 3-12. Поднятая пластина дефлектора может улучшить эффективность системы (пылеподавления) с направляющими форсунками ↑



Figure 3-12.—Raised deflector plate can enhance the effectiveness of the directional spray system.

Также на пластины дефлектора устанавливают форсунки, увеличивающие эффективность системы обеспыливания. Но операторы комбайнов должны быть внимательными и выключать эти форсунки при опускании пластин дефлектора. Если эти форсунки будут включены в опущенном положении пластин дефлектора, то факел форсунки будет направлен вверх, и он столкнётся с нижней стороной (механической) кровли. Из-за такого столкновения возникнут завихрения, которые могут вызвать попадание пыли в поток вентиляционного воздуха, поступающего на рабочие места, что может повысить запылённость около комбайна и ниже по потоку.

- **Форсунки, установленные полукругом.** Форсунки (Фиг. 3-13) могут устанавливаться на обеих кронштейнах (сверху, на концах), и они обычно направлены "внутрь", на рабочий орган комбайна. Важно, чтобы они были направлены в сторону рабочего органа, и правильно расположены так, чтобы обеспечить равномерное увлажнение места разрушения угля. Те форсунки, которые устанавливаются на кронштейне, расположенном за задней (по потоку) стороне комбайна, получают направленными против направления движения воздуха, что может создать завихрения, которое толкает запылённый воздух в сторону рабочих мест людей [Colinet et al. 1997].

[Фиг. 3-13. Форсунки, расположенные полукругом на регулируемом рычаге выемочного комбайна ↑](#)



Figure 3-13.—Crescent sprays located on shearer ranging arm.

- **Установка форсунок на встроенную в комбайн дробилку негабаритных кусков угля (*lump breaker*).** Установка форсунок на дробилку, и направление их факела вниз, на конвейер, может улучшить увлажнение угля, сделать его более равномерным. Использование форсунок с большими отверстиями, работающим при давлении менее 552 кПа (*80 psi*), позволит распылять больше воды через одну форсунку без возникновения завихрений.

- **Форсунки в задней (по потоку) части комбайна.** Изначально, в систему пылеподавления выемочного комбайна входили кронштейны с форсунками на задней (по потоку) части комбайна, которые помогали удерживать пыль около поверхности угольного пласта. Эти форсунки на кронштейне также формируют поток чистого воздуха на рабочих местах людей, находящихся сзади комбайна по потоку, что уменьшает воздействие пыли на оператора комбайна (который находится сзади комбайна по потоку), и на рабочих, обеспечивавших перемещение механизированной крепи около комбайна (Фиг. 3-14). Эти форсунки направлялись параллельно кронштейну в задней части комбайна, или немного наклонялись в сторону рабочего органа, работая как водяная завеса, ограничивающая распространение пыли от места разрушения угольного пласта. Важно, чтобы использование этих форсунок ограничивало распространение пыли, и не создавало сильных завихрений, которые могут привести к попаданию пыли от места разрушения угля на рабочие места людей. Такие форсунки могут распылять воду на расстояние 3-6 м (*10-20 футов*) вниз по потоку от комбайна, если они правильно ориентированы, и работают при достаточно больших давлении и расходе воды. Они могут улучшить разделение потоков чистого и запылённого воздуха, которое создаётся системой, установленной на комбайне.



Figure 3-14.—Spray manifold mounted on tailgate end of shearer body.

Снижение запылённости, возникающей из-за подвижной кровли ↑

За последние несколько лет улучшения технологии добычи угля с помощью выемочных комбайнов привели к созданию более мощных и быстрых машин, скорость которых при разрушении угольного пласта превышает 30 метров в минуту. При перемещении механизированной кровли разрушенный уголь и/или порода падают с верха кровли прямо в поток чистого воздуха, подаваемого для проветривания забоя. Перемещение кровли стало автоматизированным, и теперь оно начинается с того места, где находится комбайн. Обычно перемещаются две или три секции, находящиеся за задним рабочим органом комбайна. В результате перемещения кровли может произойти сильное воздействие пыли на операторов комбайна - когда кровля перемещается выше комбайна по потоку воздуха (при движении последнего в сторону движения воздуха). Ниже рассмотрено применение распыления воды как возможно решение проблемы.

- **Установка системы распыления воды на кровле.** Большая часть пыли падает с верха кровли при её перемещении. Уже много лет существует система с форсунками, распыляющими воду на находящийся на кровле материал, и работающие только при перемещении кровли - кратковременно. Это делается для того, чтобы увлажнить материал на кровле для уменьшения пылеобразования при её перемещении. К сожалению, практика показала, что техобслуживание таких систем - затруднено, и что они недостаточно эффективно увлажняют материал на кровле.

- **Форсунки на нижней стороне кровли.** Сотрудники NIOSH наблюдали, как использовали форсунки, установленные на нижней стороне кровли (Фиг. 3-15) [Rider and Colinet 2007]. Эти форсунки включались автоматически с учётом положения комбайна, чтобы создавалась движущаяся водяная завеса, ограничивающая распространение облаков пыли около рабочих органов комбайна (переднего и заднего). Положение таких форсунок было разным - от верха каждой из секций кровли до до уровня, который ниже ограничивающих пластин (*spill plate*) конвейера забоя. На каждой из секций крепи было по одному или по два ряда форсунок. Последовательность их включения и выключения зависела от конкретной шахты. При работе форсунок в одной из шахт исследователи наблюдали, как они оказывали отрицательное влияние на снижение концентрации респираторной

пыли у заднего (по потоку воздуха) рабочего органа. Работа этих форсунок влияла на работу форсунок, установленных на заднем кронштейне около рабочего органа, создавая завихрения, из-за которых облака пыли и тумана попадали на рабочие места людей. Для использования этих дополнительных форсунок важно правильно, вовремя включать и выключать их. При правильной ориентации факела (к пласту угля), при достаточном расходе воды и её давлении, такие форсунки могут улучшить условия работы, дополняя работу форсунок комбайна, которые разделяют потоки чистого и запылённого воздуха.

Фиг. 3-15. Форсунки, расположенные на нижней стороне укрытия (навеса), создающие завесу ↑



Figure 3-15.—Shield sprays located on the underside of the canopy.

- **Разбавление загрязнённого воздуха.** Теоретически, подача в забой дополнительного количества воздуха увеличивает разбавление пыли, образовавшейся при разрушении угольного пласта. Но для увеличения расхода воздуха нужно увеличить его скорость, а это может привести к увеличению его запылённости, так как относительно сухая пыль падает в поток с кровли. Количество такой пыли, падающей с кровли около комбайна, может оказаться значительно большим - особенно в последние годы, когда автоматизированное перемещение кровли происходит автоматически - перемещаются несколько секций около комбайна. Если это перемещение происходит выше комбайна (по потоку воздуха), то это лучше делать так далеко от комбайна, как только возможно, чтобы не создавать проблем при работе. Тогда пыль, попавшая в поток воздуха, будет разбавлена чистым воздухом, и её концентрация при сдувании к месту работы комбайна будет ниже.

- **Однонаправленный режим работы комбайна.** При работе комбайна, когда разрушение пласта угля происходит при движении комбайна только в одном направлении, у рабочих больше возможности находиться выше по потоку воздуха по отношению к месту образования пыли, чем при режиме работы, когда угольный пласт разрушается при обоих направлениях движения комбайна [Kissell et al. 2003]. В зависимости от кровли, администрация может изменить режим работы так, чтобы перемещение кровли происходило только ниже комбайна (по потоку). Если перемещение кровли будет проводиться максимально близко к комбайну, и если рабочие, управляющие этим перемещением, будут находиться выше места перемещения (по потоку), то это может защитить их от воздействия пыли при повышенной концентрации, так как они будут находиться в чистой струе воздуха, созданной системой разделения чистого и запылённого воздуха, установленной на комбайне, и использующей "струйные вентиляторы".

Другие способы снижения запылённости ↑

- **Использование скрубберов Вентури в рабочем органе.** Примерно половина пыли при работе выемочного комбайна образуется при разрушении пласта угля рабочим органом. Если известно, что после попадания респираторной пыли в воздух её трудно уловить, то это лучше всего делать в месте её образования. Исследования [Fench 1983; Divers et al. 1987] показали, что рабочий орган барабанного типа с встроенными пылеуловителями (Фиг. 3-16) эффективно снижает концентрацию респираторной пыли в зоне дыхания операторов комбайна. Для этого в рабочем органе устанавливается 12 пылеулавливающих вентиляционных трубок, всасывающих запылённый воздух за счёт создания тяги при распылении в них воды. Трубки находятся в верхней части рабочего органа. Вода под большим давлением распыляется через форсунки, расположенные по кругу, сбоку от рабочего органа. Распыление воды побуждает воздух двигаться через трубки, и позволяет улавливать пыль. Трубки открыты с обеих сторон, и для распыления воды используются форсунки с полым конусом. Форсунки находятся со стороны пласта угля, а с противоположной стороны за рабочим органом находится обтекатель (отбойник), чтобы струя воды не попала на оператора комбайна. Для максимального перемещения воздуха, эффективного улавливания пыли и предотвращения засорения трубок давление воды должно быть около 6.9 мПа (1000 psi).

Фиг. 3-16. Схема рабочего органа с вентиляцией ↑

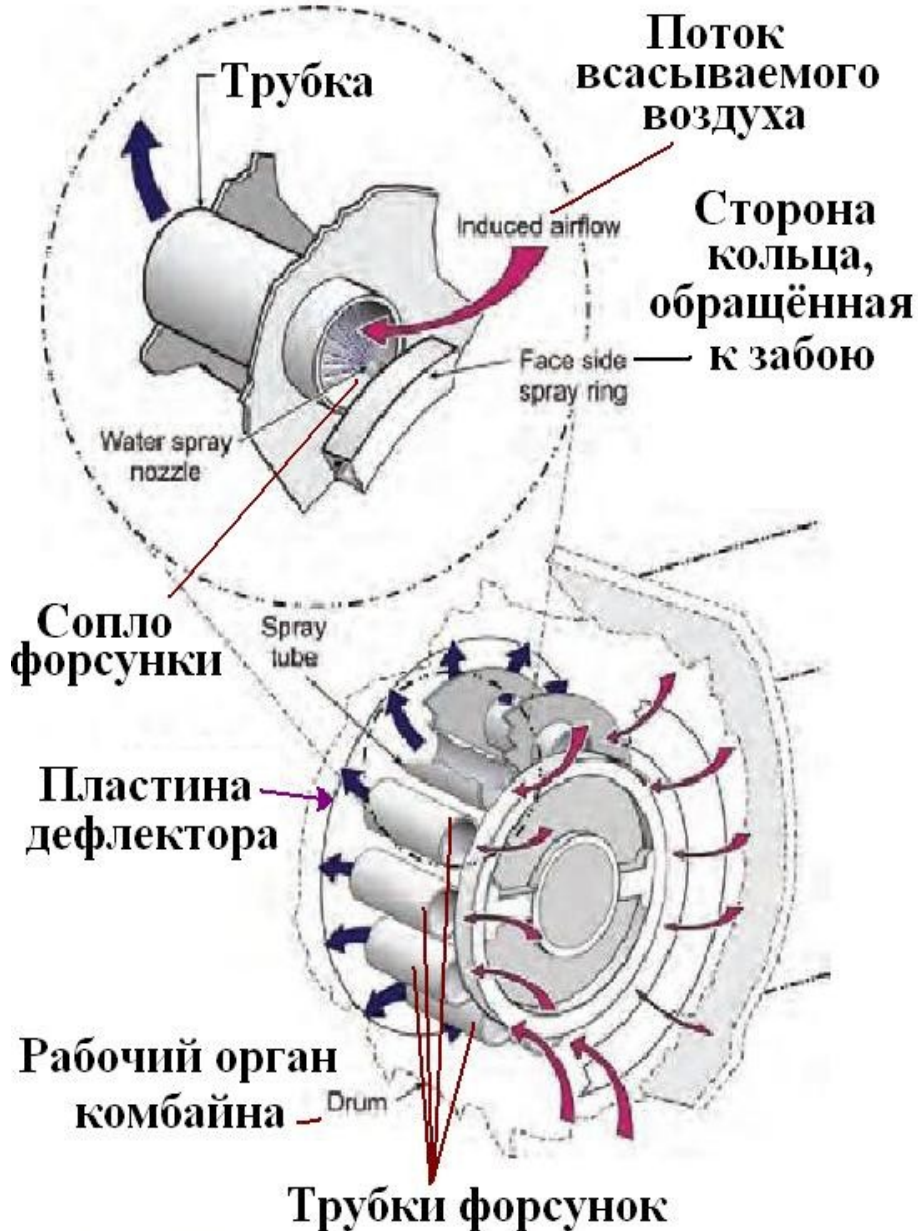


Figure 3-16.—Schematic of ventilated shearer drum.

Использование рабочих органов с пылеуловителями снижает запылённости примерно на 50% [Divers et al. 1987]. Главными недостатками системы является большая стоимость и значительные эксплуатационные расходы. Также проблемой является поддержание большого давления воды при работе выемочного комбайна, а также необходимость в проектировании системы под местные условия, и необходимость установки специальной втулки с форсунками для каждого рабочего органа. Этот способ нельзя использовать, если диаметр рабочего органа барабанного типа меньше 132 см (52 дюйма), так как нужно достаточно места для размещения лопаток и форсунок. Хотя в то время, когда проводилось исследование, конструктивные и эксплуатационные затруднения не были преодолены, но удалось добиться значительного снижения концентрации пыли. За счёт технологических улучшений, которые были сделаны с момента проведения исследования в 1980-е, эта система могла стать значительно лучше.

- **Использование пены в месте разрушения угольного пласта.** Подача пены через сопла большого диаметра, установленные на рабочем органе, уменьшает воздействие респираторной пыли на оператора комбайна. Исследование Горного бюро (*US Bureau of Mines*) [Laurito and Singh 1987] показало, что использование пены может позволить проводить более равномерное увлажнение на большей площади. Но пена и разрушаемый уголь должны хорошо перемешиваться для того, чтобы её использование эффективно снижало запылённость. Также любые химические добавки - пенообразующие или смачивающие - могут ухудшить переработку угля на углеобогатительной фабрике - в зависимости от используемого там технологического процесса. Как указывалось ранее, оптимальное положение (форсунок) для улавливания пыли, создаваемой рабочим органом - у источника пыли. В исследовании Laurito and Singh [1987] пена, созданная сжатым воздухом, выпускалась через 10-12 сопел на рабочий орган. Результаты показали, что воздействие пыли на оператора уменьшилась на 50-70%. Как и установка на рабочий орган скрубберов Вентури, использование пеногенератора увеличивает сложность конструкции, и расходы на техобслуживание и эксплуатацию. Но это может снизить воздействие пыли на оператора комбайна.

- **Использование форсунок с большим давлением, направленных в сторону пласта угля.** Было показано [Jankowski et al. 1989], что распыление воды при давлении до 8.3 мПа (*1200 psi*) в сторону пласта угля форсунками, находящимися у барабана, ограничивает пылеобразование при разрушении пласта угля. Кажется, такая система уменьшает количество пыли, попадающей в воздух, за счёт улучшенного распределения влаги у форсунок рабочего органа. Такая система состоит из форсунок высокого давления, расположенных у каждой из группы зубьев рабочего органа, и направленных в сторону пласта угля. Испытания в производственных условиях [Jankowski et al. 1989] показали, что наибольшая эффективность получается при давлении 5.5 мПа (*800 psi*) и направленных под углом 30°. В этом случае воздействие пыли уменьшается на 39%.

Испытания показали, что у такой системы есть ограничения. При эксплуатации самым нежелательным является засорение форсунок. Частицы ржавчины с барабана могут загрязнять воду, что увеличивает риск засорения форсунок. Для уменьшения риска засорения перед подачей воды в форсунки она должна фильтроваться. После некоторых доработок такая система может уменьшать пылеобразование от рабочего органа, удерживая пыль около поверхности пласта угля.

[Ссылки ↑](#)

- Baig NA, Dean AT, Skiver DW** [1994]. Successful use of belt washers. In: Proceedings of the American Power Conference. Chicago, IL: Illinois Institute of Technology, pp. 976–978.
- Breuer H** [1972]. Progress in dust and silicosis control. *Glückauf* 108(18):806–814.
- Chekan GJ, Listak JM, Colinet JF** [2001]. Laboratory testing to quantify dust entrainment during shield advance. In: Proceedings of the Seventh International Mine Ventilation Congress (Krakow, Poland, June 17–22, 2001), pp. 291–298.
- Chekan GJ, Listak JM, Colinet JF** [2004]. Factors impacting respirable dust entrainment and dilution in high-velocity airstreams. In: Yernberg WR, ed. Transactions of Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Vol. 316. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 186–192.
- Colinet JF, Spencer ER, Jankowski RA** [1997]. Status of dust control technology on U.S. longwalls. In: Ramani RV, ed. Proceedings of the Sixth International Mine Ventilation Congress. Chapter 55. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 345–351.
- Divers EF, Jankowski RA, Kelly J** [1987]. Ventilated drum controls longwall dust and methane. In: Proceedings of the Third U.S. Mine Ventilation Symposium (October 12–14, 1987), pp. 85–89.
- EIA** [2009]. Annual coal report, 2007. Washington DC: U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, DOE/EIA-0584 (2007), p. 17.
- French AG** [1983]. The extraction of respirable dust from machines working on longwall faces. National Coal Board, Mining Research and Development Establishment, Proceedings of the European Economic Communities Conference on Dust Control, Luxembourg, pp. 57–93.
- Jankowski RA, Colinet JF** [2000]. Update on face ventilation research for improved longwall dust control. *Min Eng* 52(3):45–52.
- Jankowski RA, Kissell FN, Daniel JH** [1986]. Longwall dust control: an overview of progress in recent years. *Min Eng* 28(10):953–958.
- Jankowski RA, Whitehead KL, Thomas DJ, Williamson AL** [1989]. High-pressure inward-facing drum sprays reduce dust levels on longwall mining sections. In: Proceedings of Longwall USA (Pittsburgh, PA), pp. 231–242.
- Jayaraman NI, Kissell FN, Cross W, Janosik J, Odoski J** [1981]. High-pressure shrouded water sprays for dust control. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, RI 8536. NTIS No. PB 81-231458.
- Jayaraman NI, Jankowski RA, Kissell FN** [1985]. Improved shearer-clearer system for double-drum shearers on longwall faces. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, RI 8963. NTIS No. PB 86-107844.
- Kelly J, Ruggieri S** [1990]. Evaluate fundamental approaches to longwall dust control; subprogram C: Stageloader dust control. Foster-Miller, Inc. U.S. Bureau of Mines contract J0318097. NTIS No. DE 90-015510.
- Kissell FN, Stachulak JS** [2003]. Underground hard-rock dust control. In: Kissell FN, ed. Handbook for dust control in mining. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2003-147, IC 9465, pp. 83–96.
- Kissell FN, Colinet JF, Organiscak JA** [2003]. Longwall dust control. In: Kissell FN, ed. Handbook for dust control in mining. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2003-147, IC 9465, pp. 39–55.
- Kost JA, Yingling JC, Mondics BJ** [1981]. Guidebook for dust control in underground mining. Bituminous Coal Research Inc. U.S. Bureau of Mines contract J0199046. NTIS No. PB 83-109207.
- Laurito AW, Singh MM** [1987]. Evaluation of air sprays and unique foam application methods for longwall dust control. Engineers International, Inc. U.S. Bureau of Mines contract J0318095. NTIS No. PB89-189922.
- Listak JM, Chekan GJ, Colinet JF** [2001]. Laboratory evaluation of shield dust entrainment in high velocity airstreams. In: Transactions of Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Vol. 310. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 155–160.
- MSHA** [1989]. Belt entry ventilation review: report of findings and recommendations. Arlington, VA: U.S. Department of Labor, Mine Safety and Health Administration.
- MSHA** [2009]. Program Evaluation and Information Resources, Standardized Information System. Arlington, VA: U.S. Department of Labor, Mine Safety and Health Administration.
- Mundell RL et al.** [1979]. Respirable dust control on longwall mining operations in the United States. In: Proceedings of the Second International Mine Ventilation Congress (Reno, NV, November 4–8, 1979).
- Niewiadomski GE** [2009]. Mine Safety and Health Administration, private communication.
- NIOSH** [2008]. Work-related lung disease surveillance report, 2007. Morgantown, WV: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2008143a.

Organiscak JA, Reed WR [2004]. Characteristics of fugitive dust generated from unpaved mine haulage roads. *Int J Surface Min Reclam Environ* 18(4):236–252.

Organiscak JA, Jankowski RA, Kelly JS [1986]. Dust controls to improve quality of longwall intake air. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, IC 9114. NTIS No. PB 87-167573.

Organiscak JA, Khair AW, Ahmad M [1996]. Studies of bit wear and respirable dust generation. In: *Transactions of Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.* Vol. 298. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 1932–1935.

Organiscak JA, Page SJ, Cecala AB, Kissell FN [2003]. Surface mine dust control. In: Kissell FN, ed. *Handbook for dust control in mining*. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2003-147, IC 9465, pp. 73–81.

Potts JD, Jankowski RA [1992]. Dust considerations when using belt entry air to ventilate work areas. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, RI 9426.

Rider JP, Colinet JF [2007]. Current dust control practices on U.S. longwalls. In: *Proceedings of Longwall USA* (Pittsburgh, PA, June 5–7, 2007).

Ruggieri SK, Muldoon TL, Schroeder W, Babbitt C, Rajan S [1983]. Optimizing water sprays for dust control on longwall shearer faces. Foster-Miller, Inc. U.S. Bureau of Mines contract J0308019. NTIS No. PB 86-205408.

Shirey CA, Colinet JF, Kost JA [1985]. Dust control handbook for longwall mining operations. BCR National Laboratory. U.S. Bureau of Mines contract J0348000. NTIS No. PB86-178159/AS.

Stahura RP [1987]. Conveyor belt washing: Is this the ultimate solution? *TIZ-Fachberichte* 111(11):768–771.

Tomb TF et al. [1992]. Evaluation of respirable dust control on longwall mining operations. In: *Transactions of Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.* Vol. 288. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 1874–1878.

USBM [1985]. Technology news 224: Improved stageloader dust control in longwall mining operations. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines

Глава 4. Снижение запылённости при работе короткозабойных выемочных комбайнов ↑

Автор: Jeffrey M. Listak

В этой главе обсуждаются проверенные методы и технические средства, используемые для уменьшения концентрации респираторной пыли при работе короткозабойных выемочных комбайнов (горных комбайнов фронтального действия, *continuous mining machine*). Двумя основными источниками респираторной пыли при работе комбайна являются: сам короткозабойный выемочный комбайн, и буровая установка, используемая для анкерного крепления кровли. Операторы комбайна и буровой установки часто подвергаются воздействию кварца при разрушении или бурении горной породы.

Для классификации людей, подвергающихся наибольшему воздействию пыли при работе горных машин, MSHA использует коды специальностей (*designated occupation, DO*). Помимо замеров запылённости, которые проводит MSHA, такие замеры ежемесячно проводит работодатель. Затем уловленная пыль отправляется в MSHA для анализа, чтобы определить - выполняются ли требования соответствующего стандарта (по охране труда). Замеры, сделанные инспекторами по охране труда MSHA в 2004-2008г показали, что у операторов горных комбайнов в 20%, а у операторов буровых установок в 10% случаев концентрация респираторной пыли превышает новое (уменьшенное) значение ПДК 2 мг/м³ [MSHA 2009].

В этой главе подробно рассмотрены способы уменьшения воздействия пыли на операторов комбайнов и буровых установок. Также описаны способы обеспыливания при работе другого оборудования.

Способы снижения запылённости при работе комбайна ↑

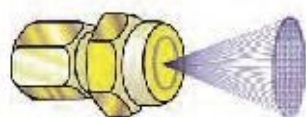
При добыче угля с помощью короткозабойных выемочных комбайнов основным источником пыли является комбайн. В большинстве случаев специальность (по классификации MSHA) является оператор комбайна. Пыль, образующаяся при работе комбайна, может воздействовать и на оператора, и на любого шахтёра, работающего ниже по потоку по отношению к комбайну.

Как и в других случаях, используется воздух и вода для разбавления, предотвращения образования, пылеулавливания и перемещения пыли. Главным средством защиты рабочих от чрезмерного воздействия респираторной пыли является вентиляция (всасывающая или нагнетательная). В целом, правильное использование систем распыления воды, вентиляции и механического оборудования (скрубберов-пылеуловителей), обеспечивает наилучшую защиту от воздействия респираторной пыли. Основой эффективной стратегии уменьшения воздействия пыли являются техобслуживание скрубберов, форсунок и зубьев рабочего органа, и оно должно проводиться регулярно. Пылеподавление - наиболее эффективный способ снижения воздействия пыли. Для этого используют увлажнение угля перед его разрушением, что уменьшает попадание пыли в воздух. После попадания пыли в воздух, используются другие способы для её разбавления, отвода её от рабочих, или удаления с места работы. Для перенаправления пыли используются струи воды, перемещающие запылённый воздух в сторону от оператора, к всасывающему отверстию вытяжной вентиляционной системы, или за вентиляционную перегородку. Для улавливания пыли используют или распыление воды, которая сталкивается с пылью в воздухе, или механическими способами (с помощью скруббера-пылеуловителя с вентилятором). Воздух, подаваемый вентиляцией для проветривания забоя, разбавляет пыль, и уносит её от рабочих. При работе короткозабойного выемочного комбайна используется всасывающая или нагнетательная вентиляция забоя. Рассмотрены достоинства и недостатки разных способов.

Распыление воды форсунками

Для снижения запылённости при работе короткозабойного выемочного комбайна могут использоваться разные форсунки. При проектировании системы распыления воды учитывают тип сопел, положение форсунок, расход и давление воды. Тип форсунок, используемых в определённом месте, зависит от их назначения. Для предотвращения попадания пыли в воздух используют форсунки с большим расходом воды при маленьком давлении, находящиеся вблизи источника пыли.

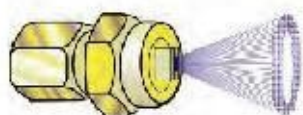
Тип форсунок



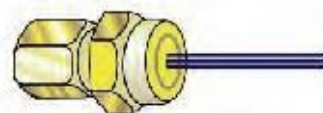
Полный конус



Плоский факел

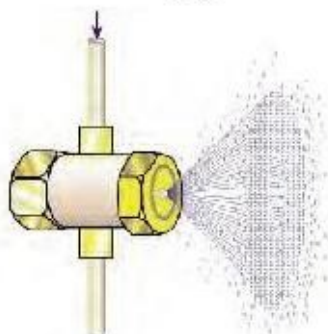


Полый конус



Сплошной
стержневой
факел

Сжатый воздух



Вода

Пневматическая форсунка

Figure 4-1.—Spray types used for dust control in mining.

Для улавливания пыли, находящейся в воздухе, нужны маленькие капельки, движущиеся с большой скоростью, способные сталкиваться с пылинками и удалять их из воздуха. Для изменения направления движения запылённого воздуха нужно большое давление. На Фиг. 4-1 показаны форсунки, наиболее часто используемые для снижения запылённости. Также приводится описание форсунок и их применения.

- **Форсунка с полым конусом.** Форсунки с полым конусом создают круглый кольцеобразный факел каплей, и бывают трёх конструкций: с вихревой камерой, с дефлектором, и спиральным распылением. Эти форсунки позволяют получить капли среднего и маленького размера. У форсунки с полым конусом большое отверстие, и из-за этого они не склонны засоряться. Поэтому на практике они лучше всего подходят для использования в большинстве случаев [Kissell 2003]. Стандартная система распыления воды, предлагаемая изготовителем, обычно включает форсунки с полым конусом, установленные на стреле рабочего органа комбайна, и направленные на рабочий орган. Они особенно эффективны, когда нужно снизить запылённость (*dust knockdown*), или переместить запылённый воздух в сторону от рабочего.

- **Форсунка с полным конусом.** Такие форсунки создают сплошной конический факел круглой формы, который позволяет струе сохранить большую скорость на большом расстоянии. Форсунки с полным конусом создают капли большого и среднего размера при широком диапазоне расходов и давлений. Обычно их используют тогда, когда форсунка должна находиться далеко от источника пыли, или когда желательное равномерное увлажнение (например - в фильтрах скрубберов, или местах перегрузки конвейеров. Такие форсунки также используют для увлажнения в горловине шахтного конвейера (*throat area of the miner's conveyor*) для уменьшения пылеобразования при погрузке угля в транспортную машину.

- **Форсунка со сплошным стержневым факелом.** Такая форсунка создаёт прямую, сплошную однородную струю при большом расходе и низком давлении. Это позволяет равномерно увлажнять уголь, который будет разрушаться комбайном. Такие форсунки предназначены для установки вблизи (будущего) источника пыли для затопления места разрушения пласта угля, или его погрузки. Форсунки со "стержнеобразным" факелом используются для уменьшения пылеобразования.

- **Форсунка - "плоский вентилятор" (Flat-fan).** Такие форсунки создают капли маленького и среднего размера в широком диапазоне расходов и углов раскрытия факела, и обычно их устанавливают в узких, закрытых пространствах. Установка форсунок по бокам от рабочего органа комбайна помогает предотвратить разлетание пыли в стороны от стрелы (рабочего органа), что способствует её всасыванию вентиляцией комбайна, и направлению в скруббер для улавливания. Эти форсунки эффективны при сдерживании (распространения) запылённого воздуха.

- **Пневматические форсунки.** Существуют пневматические форсунки двух видов - гидравлические и с использованием сжатого воздуха. Первые позволяют получить капли маленьких размеров при небольшом расходе, а вторые позволяют получить самые маленькие капельки (по сравнению с другими форсунками), но они самые дорогие и их сложно устанавливать, так как для них нужен сжатый воздух.

[Фиг. 4-2. Относительная эффективность форсунок 4 видов, используемых в шахтах ↑](#)

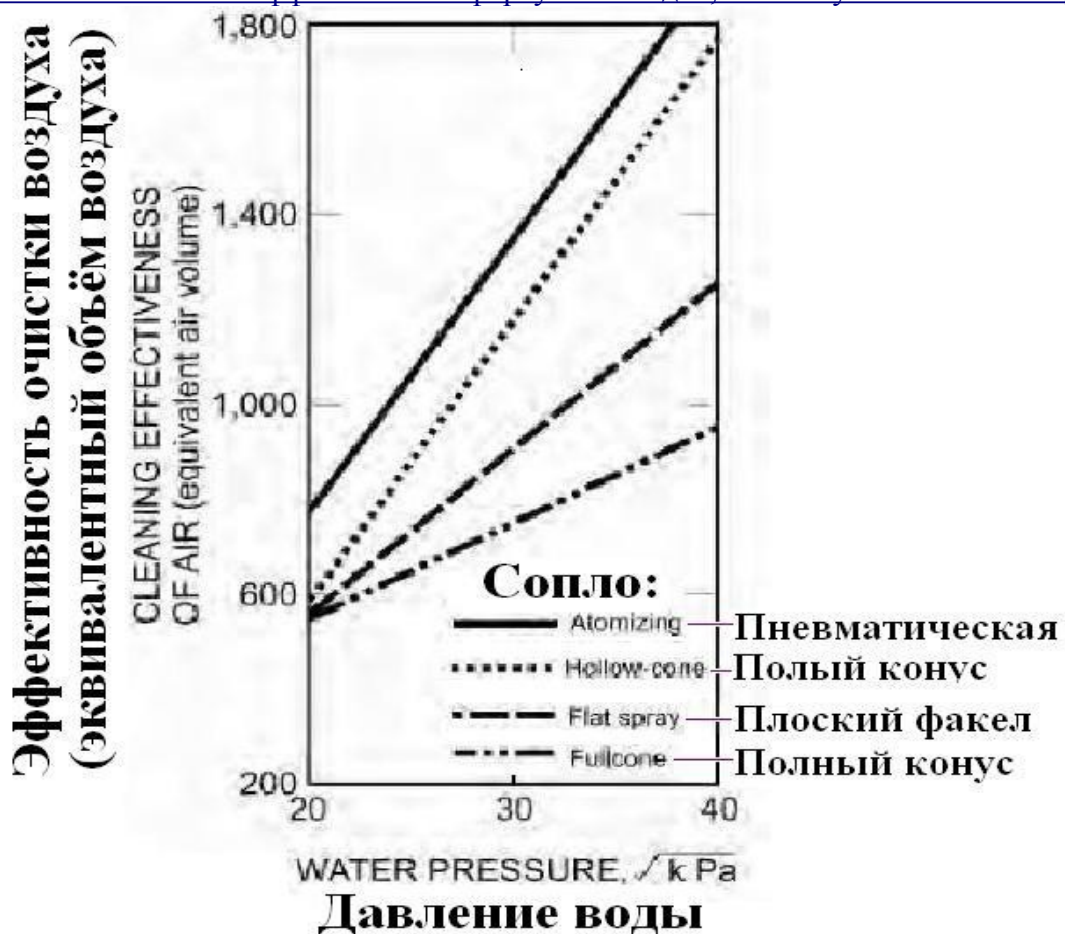


Figure 4-2.—Relative spray effectiveness of four spray nozzles used in mining.

На Фиг. 4-2 показана эффективность улавливания пыли, находящейся в воздухе, при использовании разных сопел и при разном давлении, и сравнивается относительная эффективность форсунок разных видов. Хотя пневматические форсунки лучше других улавливают пыль, находящуюся в воздухе, но их использование в шахтах непрактично из-за высоких требований к техобслуживанию (они склонны засоряться), и необходимости подводить сжатый воздух к каждой форсунке.

При добыче угля с помощью короткозабойных выемочных комбайнов в большинстве случаев используется сочетание форсунок для получения наилучшего эффекта. Хотя увеличение давления воды увеличивает эффективность форсунок, но при этом в движение вовлекается много воздуха и, соответственно, и пыли. Это может привести к смещению облака неуловленной пыли назад, в сторону оператора комбайна. Первые форсунки на таких комбайнах использовали для смазки зубьев, их охлаждения и уменьшения запылённости. Хотя эти форсунки снижали концентрацию пыли очень слабо, они создавали сильные завихрения и смещали не уловленную пыль в сторону оператора. Смещение пыли в сторону оператора увеличивало вредное воздействие. Для уменьшения этого вредного явления, форсунки стали устанавливать на верхнюю и нижнюю часть стрелы рабочего органа - поближе к нему. Форсунки, расположенные сверху, работали при давлении воды 690 кПа (1000 psi) и расходе воды 3.6 л/мин на 1 форсунку. Слева и справа от рабочего органа устанавливали две форсунки с большими отверстиями, "заливавшими водой" зубья рабочего органа. Эти форсунки работали при маленьком давлении 48 кПа (7 psi) и большом расходе воды - 19 л/мин (5 галлонов в минуту) у каждой. Смещение облака пыли в сторону оператора уменьшилось из-за того, что капли воды проходили небольшое расстояние до столкновения с зубьями рабочего органа (при движении на короткое расстояние они меньше времени увлекали за собой воздух). Это также улучшало увлажнение угля за счёт снижения завихренности воздуха (Фиг. 4-3). Испытания форсунок, установленных на стреле рабочего органа в условиях шахты показала, что воздействие пыли на оператора угольного комбайна уменьшается на 40% по сравнению со стандартным заводским размещением форсунок [Schroeder et al. 1986].

Фиг. 4-3. Расположение форсунок влияет на возможность смещения облака пыли назад, к оператору комбайна ↑

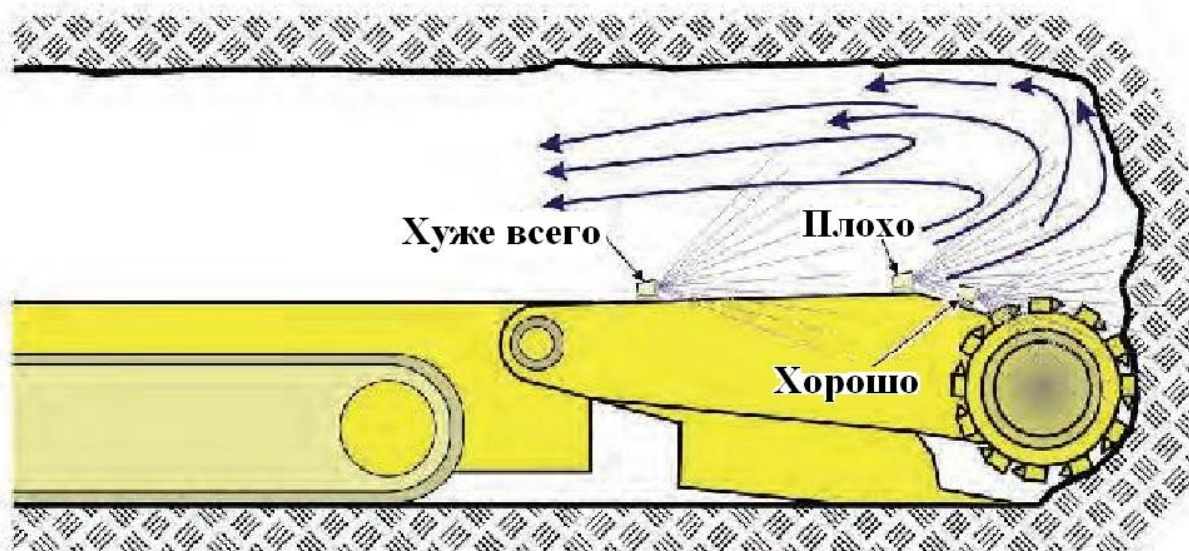


Figure 4-3.—Spray location impact on dust rollback.

Форсунки, работающие при большом давлении воды, установленные на задних углах "лопаты" комбайна со стороны, противоположной стороне, с которой находится всасывающий проём вытяжной вентиляции, могут "сдувать" пыль из-под стрелы к всасывающему отверстию. Экстенсивная проверка в условиях шахт показала, что использование форсунок на лопате уменьшает воздействие пыли на рабочем месте оператора комбайна на 60%, и практически полностью устраняет воздействие респираторной пыли кварца [Schroeder et al. 1986].

Фиг. 4-4. Система распыления воды, предотвращающая смещение облака пыли назад ↑

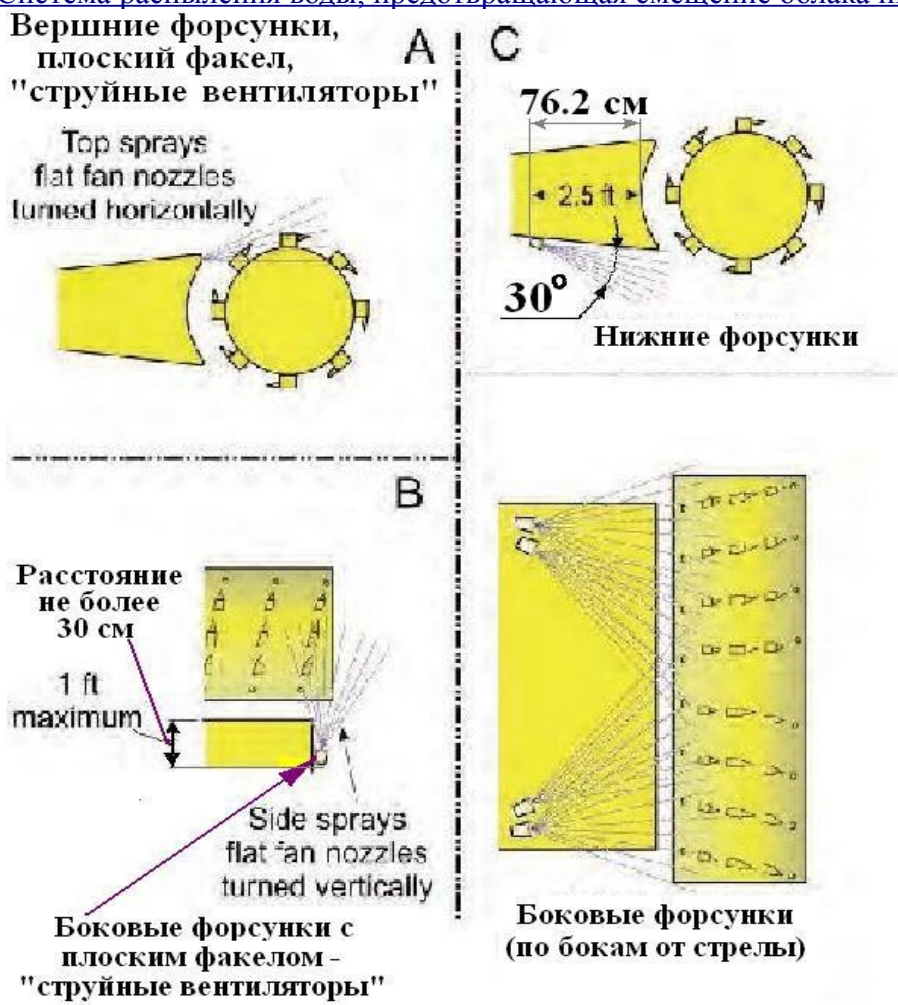


Figure 4-4.—Antirollback spray system for miner.

Было показано, что следующие меры уменьшают воздействие пыли при работе короткозабойного выемочного комбайна:

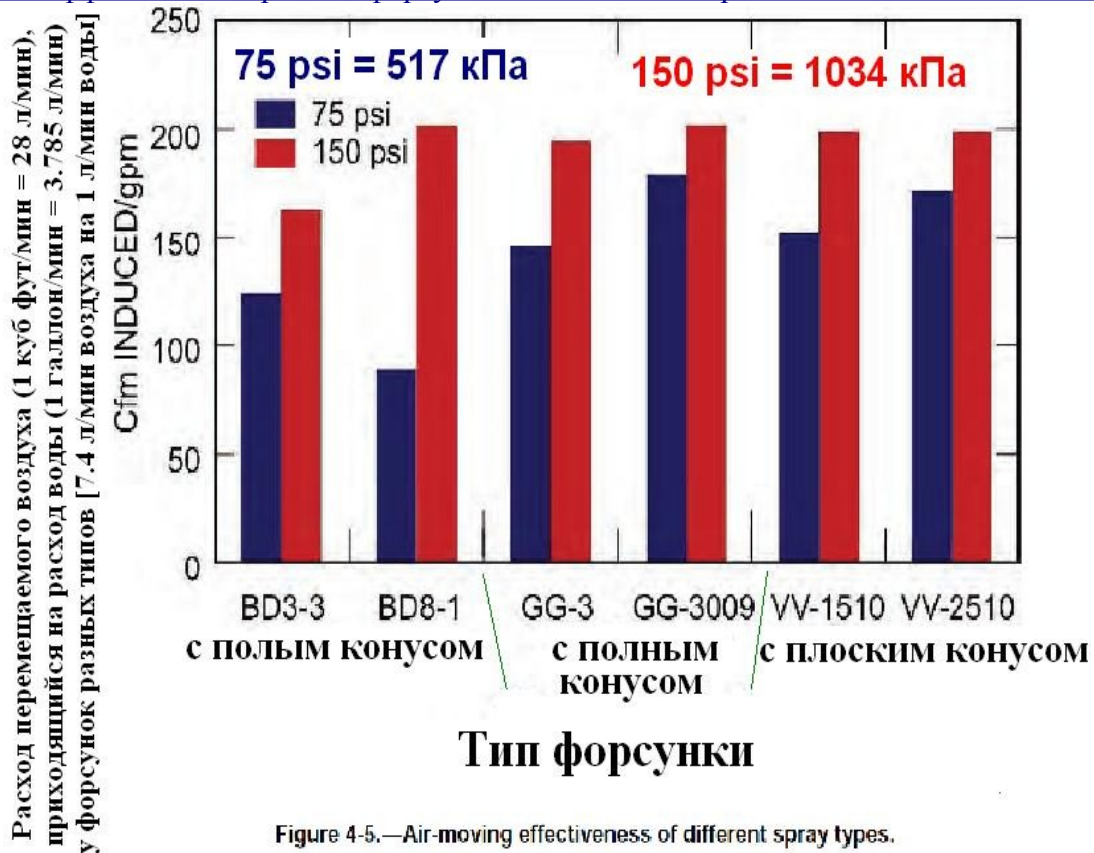
- Смещение облака пыли от рабочего органа в сторону оператора может произойти из-за подачи в конические форсунки с большим углом раскрытия факела воды под большим давлением >690 кПа (>100 psi) [Jayaraman et al. 1984]. Факел типичной форсунки теряет способность улавливать пыль на расстоянии 30 см (12 дюймов) от форсунки. Поэтому форсунки, расположенные выше и ниже рабочего органа, должны быть смещены вперед в максимальной степени (Фиг. 4-4, А и В). Проводившиеся ранее исследования показали, что форсунки - вентиляторы с плоским горизонтальным факелом, работающие при большом расходе и низком <690 кПа (<100 psi) давлении, и расположенные максимально близко к рабочему органу, обеспечивают однородное увлажнение, и не вызывают чрезмерного смещения облака пыли в сторону оператора. Под стрелой, на конвейере забоя, нужно использовать форсунки с большим отверстием и низким давлением воды, при расходе 19 л/мин (5 галлонов в минуту). Раздробленный уголь должен увлажняться при его сборе и транспортировке (Фиг. 4-4, С)[Schroeder et al. 1986].

- Для противодействию пыли, образовавшейся при разрушении угольного пласта, используют форсунки-вентиляторы с плоским факелом, расположенные на расстоянии 30 см (1 фут) сзади от рабочего органа, по бокам, и направленные под углом 30° к корпусу комбайна (на виде сверху). Это препятствует разлетанию пыли, что способствует её всасыванию вентиляционной установкой комбайна [Goodman 2000]. Испытания в лаборатории показали, что увеличение давления воды в соплах, и/или угла их ориентации, увеличивает воздушный поток, создаваемый форсункой, и может увеличить их эффективность как средства ограничения распространения пыли [Pollock and Organiscak 2007].

- Для перемещения запылённого воздуха рекомендуется использование форсунок, работающих при большом давлении. Использование большого давления >1 мПа (>150 psi) повышает эффективность при одном и том же расходе воды [Jayaraman and Jankowski 1988] и позволяет эффективно перемещать запылённый воздух (Фиг. 4-5). Но нужно быть осторожным при определении их положения и ориентации, так как из-за большого давления могут возникнуть завихрения, и смещение облака пыли в сторону оператора комбайна.

- Первоначально систему перемещения воздуха с помощью форсунок-вентиляторов разрабатывали для "сдувания" метана в сторону всасывающего проёма вытяжной вентиляции. Эта система использует несколько насадок с форсунками, которые устанавливаются на комбайн, чтобы направить свежий воздух к месту разрушения угольного пласта, и "сдуть" загрязнения (пыль и метан) в сторону всасывающего проёма вытяжной вентиляции. На практике, система форсунок-вентиляторов используется только тогда, когда проветривание забоя с помощью всасывающей вентиляции. Форсунки-вентиляторы разрабатывались как средство для "сдувания" метана, и они не эффективны в отношении улавливания пыли, находящейся в воздухе [Goodman et al. 2004].

Фиг. 4-5. Эффективность разных форсунок в отношении перемещения запылённого воздуха ↑



- Недавно разработаны комбайны с форсунками, расположенными на рабочем органе, сразу за зубьями. Распыляемая ими вода охлаждает зубья, что уменьшает фрикционное зажигание, может уменьшить образование пыли при разрушении угольного пласта. Используются форсунки с полным конусом с отверстием 1 мм и давлением 690 кПа (100 psi) при расходе 1.5 л/мин (0.4 галлона в минуту), или с полым конусом при расходе 0.76 л/мин (0.2 галлона в минуту) и том же давлении. Но эта технология пока, судя по публикациям, не продемонстрировала преимуществ в отношении уменьшения концентрации пыли. Исследования показывают, что - в том виде, как она сейчас используется - уменьшение запылённости нестабильно [Strebeg 1975; Goodman et al. 2006]. Сообщали, что с точки зрения операторов комбайна её достоинством является улучшение обзора. Это может улучшить управление рабочим органом и, соответственно, улучшить состояние рабочего органа (нужно будет меньше техобслуживания), что уменьшит пылеобразование.

- Хорошая фильтрация воды значительно улучшает эффективность форсунок. Частицы грязи и ржавчины в воде могут часто засорять сопла форсунок. Есть простое незасоряемое устройство для фильтрации воды, и его нужно использовать для замены обычных фильтров форсунок [Divers 1976].

- Перед началом каждого цикла работы операторы должны проверять, очищать и/или заменять форсунки при необходимости.

- Режим работы комбайна должен быть таким, чтобы разрушение пласта - когда это практически приемлемо - происходило от входного отверстия (подачи воздуха) к всасывающему проёму (вытяжной вентиляции), чтобы предотвратить движение загрязнённого воздуха в сторону оператора комбайна — по направлению движения воздуха.

- Использование ручного дистанционного управления позволяет операторам комбайна стоять в стороне от комбайна, когда тот работает. Но положение оператора зависит от используемой схемы вентиляции. Правильное положение оператора будет обсуждаться в разделе "Вентиляция забоя".

- Использование дистанционного управления также позволяет - если это одобрено NSHA - "заглубляться" комбайну больше, чем на традиционные 6 м (20 футов). Но такой режим работы требует более интенсивного проветривания и мероприятий по снижению запылённости. При этом важным компонентом становится скруббер-пылеуловитель, установленный на комбайн.

Скруббер с орошаемой насадкой

Дистанционное управление позволяет оператору оставаться под укреплённым потолком выработки, и это позволяет комбайну "заглубляться" на расстояние до 12 м (если это одобрено MSHA). Это позволяет реже менять положение комбайна, что повышает его производительность. Поэтому в большинстве случаев при добыче угля короткозабойными выемочными комбайнами работают именно так. Но использование дистанционного управления не позволяет оператору комбайна пододвигать вперёд вентиляционную перегородку, способствующую разбавлению метана и пыли в месте разрушения угольного пласта. Для уменьшения этого недостатка устанавливают скруббер с орошаемой насадкой. Всасывающие отверстия вентиляционной системы комбайна находятся вблизи рабочего органа, и они всасывают запылённый и загазованный воздух, направляя его в скруббер, улучшая вентиляцию в месте разрушения угольного пласта и улавливание пыли.

Вентиляционно-пылеулавливающая система комбайна всасывает запылённый воздух вблизи места образования пыли, перемещает его по встроенным в корпус воздуховодам к скрубберу-пылеуловителю, и прокачивает его через фильтрующий элемент, который увлажняется водой, распыляемой форсунками (Фиг. 4-6). Частицы пыли сталкиваются с элементами фильтра и перемешиваются с каплями воды, после чего воздух очищается от них в туманоуловителе. Очищенный воздух выходит из скруббера в атмосферу забоя. На эффективность очистки воздуха от пыли и на расход воздуха через скруббер влияют плотность и вид используемого фильтра / насадки. Режим работы скруббера оптимален, когда весь запылённый воздух от места разрушения угольного пласта прокачивается через скруббер, и улавливается большая доля (>90%) респираторной пыли [NIOSH 1997].

Было показано, что работу скруббера улучшает:

- **Техобслуживание скруббера.** После одного цикла работы (cut) расход воздуха через скруббер может снизиться на треть [Schultz and Fields 1999]. Чаще всего это происходит из-за загрязнения пылеулавливающей насадки. Для измерения расхода воздуха нужно использовать трубку Пито. При большой запылённости требуется чаще очищать фильтр (Фиг. 4-7), туманоуловитель (Фиг. 4-8) и воздуховоды вентиляционной системы комбайна. Также нужно проверять сопла форсунок с воздуховодами, чтобы они полностью увлажняли весь фильтр, а не только его середину.

Один из основных изготовителей такого оборудования дал следующие рекомендации:

(1) Два раза за смену - промывать фильтр водой.

(2) Один раз за смену - Заменять фильтр очищенным. Промывать струёй воды, направленной с задней стороны фильтра, и позволить ему высохнуть. После высыхания стряхнуть грязь перед повторным использованием.

(3) Ежедневно - промывать всасывающие отверстия и воздуховоды вентиляционной системы комбайна.

(4) Ежедневно - промывать трубу Вентури, отстойник и модуль туманоуловителя.

Фиг. 4-6. Составные части и конструкция скруббера с орошаемой насадкой ↑

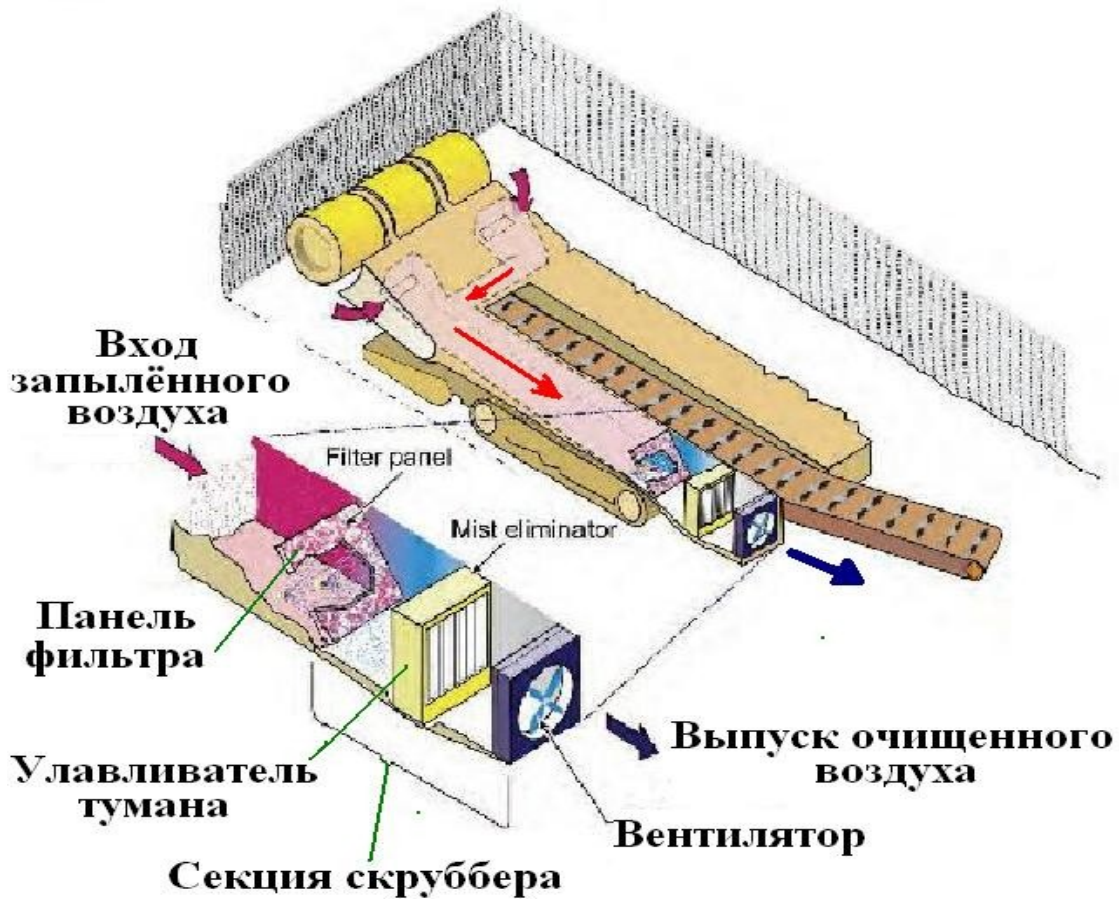


Figure 4-6.—Components and design of a flooded-bed scrubber.

Такое расписание техобслуживания рекомендуется для обычного режима работы. Но исследования в производственных условиях показали, что в некоторых случаях очистку фильтра нужно проводить чаще. В некоторых случаях фильтр должен очищаться промывкой после каждого изменения места работы комбайна. Кроме того, всасывающие отверстия и воздухопроводы могут требовать более частой очистки. В утверждённом плане вентиляции шахты должны даваться конкретные указания.

Фиг. 4-7. Очистка панели фильтра скруббера струей воды ↑



Figure 4-7.—Cleaning scrubber filter panel with water spray.

[Фиг. 4-8. Очистка туманоуловителя струей воды ↑](#)



Figure 4-8.—Cleaning the demister with a water nozzle.

- **Измерения расхода воздуха.** MSHA требует, чтобы минимальный расход воздуха при проветривании забоя, в котором производится работа, был не ниже 1.4 м³/сек (3000 куб. футов / мин) (30 CFR 75.325). Но при использовании комбайнов с встроенной вентиляционной системой и пылеуловителями, MSHA обычно рекомендует, чтобы расход воздуха, подаваемого в забой, был немного больше, чем расход воздуха вентиляционной системы комбайна. В этом случае расход воздуха у вентиляционной системы комбайна считается минимальным расходом воздуха, который нужно подавать в забой. MSHA рекомендует измерять оба расхода воздуха, измеряя расход воздуха в забое при выключенной вентиляционной системе комбайна. На практике, в большинстве случаев в забой подаётся больше минимума 85 м³/мин (3000 куб футов/мин), чтобы уменьшить концентрацию респираторной пыли и метана.

[Фиг. 4-9. Эффективность пылеулавливания разных панелей фильтров скруббера ↑](#)

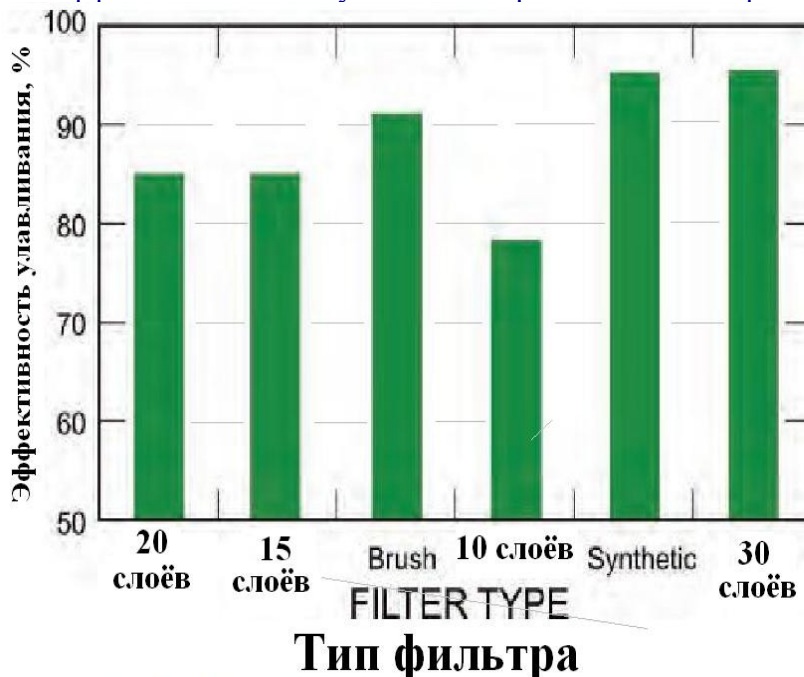


Figure 4-9.—Dust collection efficiency of scrubber filter panels.

- **Толщина панели фильтра.** На эффективность улавливания пыли влияет толщина панели фильтра. Имеются панели из 10, 20 и 30 слоёв фильтра, последняя - наиболее эффективная (улавливается более 90% респираторной пыли) [NIOSH 1987] (Фиг. 4-9). Но нужно заметить, что использование более толстых панелей увеличивает сопротивление, что уменьшает расход отсасываемого запылённого воздуха, пропускаемого через скруббер. Форсунки фильтра должны исправно работать, и обеспечивать равномерное увлажнение фильтра. Для смачивания фильтра обычно используют форсунки с полным конусом при низком давлении воды (<50 psi, 335 кПа).

- **Факторы, влияющие на улавливание пыли.** Эффективность работы всей вентиляционной системы комбайна зависит от эффективности улавливания скруббера, и от того, насколько хорошо эта вентиляционная система улавливает, всасывает запылённый воздух - расхода воздуха через скруббер [Colinet and Jankowski 2000]. На эффективность вентиляционной системы влияют факторы, относящиеся к комбайну - расположение всасывающих отверстий, расход воздуха. Расход воздуха во всех случаях должен быть максимально возможным, а всасывающие отверстия должны находиться как можно ближе к рабочему органу - насколько это практически возможно. Увеличение плотности фильтра увеличивает эффективность улавливания кварца, но это уменьшает расход воздуха, пропускаемого через скруббер [Jayaraman et al. 1992]. Кроме того, при окончании работы (разрушения угольного пласта) нужно дать скрубберу поработать ещё 10-12 секунд, чтобы он высосал и очистил оставшийся около рабочего органа запылённый воздух.

- **Использование поверхностно-активных веществ.** Поверхностно-активные вещества могут увеличить смачиваемость пыли, уменьшая поверхностное натяжение воды, и улучшая улавливание частиц пыли. В одном исследовании использование поверхностно-активных веществ в воде, распыляемой форсунками скруббера (концентрация 0.013%) уменьшило запылённость на величину до 31% [Hirschi et al. 2002].

- **Изменение направления выброса очищенного воздуха.** При проветривании забоя, когда средняя скорость воздуха маленькая, скорость воздуха можно увеличить за счёт изменения направления выпуска очищенного воздуха из вентиляционной системы комбайна - направив его в сторону рабочего органа. Но это зависит от концентрации метана в месте разрушения пласта угля. Предварительное исследование NIOSH показало, что такое изменение направления части выброса в сторону рабочего органа способствует уменьшению концентрации пыли. NIOSH также проводил небольшое исследование изменения направления (выпуска воздуха из) скруббера в шахте в восточной части США, которое показало, что это уменьшает воздействие пыли на оператора транспортной машины на 50%. Влияние на воздействие на оператора комбайна было меньше, что показывает, что нужно взаимно сбалансировать перенаправление потока воздуха из скруббера и работу вентиляции, обеспечивающей проветривание забоя.

Вид зубьев рабочего органа и их износ

На концентрацию респираторной пыли также влияет форма зубьев рабочего органа и их износ. Регулярная проверка и замена затупившихся, сломанных зубьев, и установка новых зубьев вместо вывалившихся улучшает эффективность работы и помогает уменьшить концентрацию пыли. Также исследования показали, что использование зубьев с большими твёрдосплавными вставками и плавным переходным участком (твёрдая вставка - стальная ножка) обычно приводит к меньшему пылеобразованию [Organiscak et al. 1996], Фиг. 4-10. Лабораторные исследования конических зубьев показали, что сильно изношенные зубья с сорванными твёрдосплавными вставками дают значительно больше пыли [Organiscak et al. 1996].

Фиг. 4-10. Образование пыли можно уменьшить за счёт конструкции зубьев рабочего органа ↑



- **Большой твёрдосплавной наконечник**
- **Плавный переход от наконечника к стальной ножке**
- **Маленькая скорость работы**
- **Низкая концентрация пыли**

Figure 4-10.—Proper bit design can lower dust generation.

Изменение режима работы комбайна

Если нужно увеличить высоту выработки так, чтобы требовалось разрушение породы, находящейся выше угольного пласта (высота выработки больше толщины пласта), то с точки зрения снижения запылённости желательно сначала разрушить только угольный пласт, и только потом - породу выше пласта. При таком режиме работы комбайна порода над пластом остаётся нетронутой до тех пор, пока при её разрушении под ней не будет свободное, пустое пространство. Это приводит к уменьшению концентрации респираторной пыли, особенно - пыли кварца [Jayaraman et al. 1988], Фиг. 4-11.

Фиг. 4-11. Изменение последовательности разрушения угольного пласта может уменьшить запылённость ↑

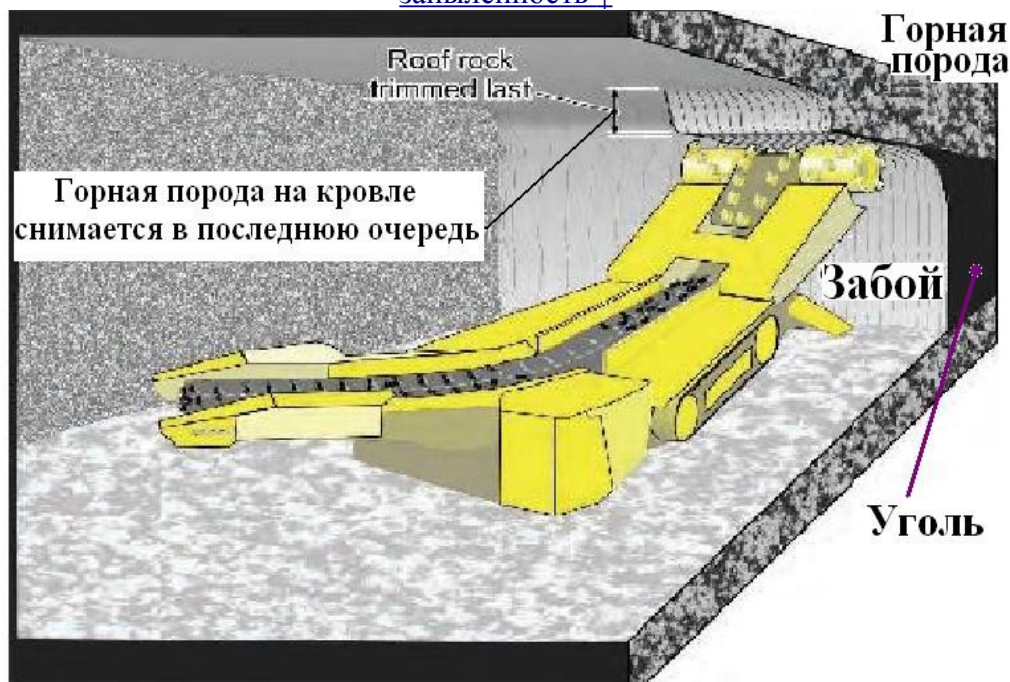


Figure 4-11.—Modified cutting cycle can lower dust generation.

Вентиляция забоя ↑

Для уменьшения воздействия респираторной пыли на оператора комбайна имеет большое значение скорость воздуха при проветривании забоя и его расход. При хорошо организованной вентиляции забоя в него подаётся достаточно много воздуха для разбавления респираторной пыли и скорость воздуха достаточно велика для того, чтобы предотвратить распространение облака пыли от места её образования в сторону оператора, и / или направит, "сдуть" её в сторону всасывающей части вентиляционной системы, отводящей воздух из забоя. Чаще всего для вентиляции забоев используют системы двух видов - нагнетательную и всасывающую. У этих систем есть достоинства и недостатки, влияющие на воздействие пыли на шахтёров.

Нагнетающая вентиляционная система

При использовании нагнетающей вентиляции чистый воздух подаётся к месту образования пыли по трубам или с помощью вентиляционной перегородки (от пола до потолка), которая отделяет от всего пространства выработки узкий канал около боковой стены. Чистый воздух подаётся к месту разрушения угольного пласта, и сдувает, уносит запылённый воздух через основное пространство выработки назад. Использование такой схемы проветривания позволяет оператору комбайна находиться в потоке чистого воздуха (около выходного отверстия трубы или у конца вентиляционной перегородки, Фиг. 4-12 - верхнее положение), управляя комбайном с помощью дистанционного управления. Хотя такой способ проветривания позволяет эффективно удалять пыль и метан от места разрушения угольного пласта, но при этом запылённый воздух движется от комбайна через основное пространство выработки, и в него попадают оператор транспортной машины и шахтёры, которые укрепляют кровлю. Это также ограничивает перемещение оператора комбайна, так как он должен находиться в потоке чистого воздуха.

При нагнетающей схеме проветривания для снижения воздействия пыли рекомендуется:

- Оператор (комбайна) должен находиться около места выпуска чистого воздуха из воздуховода в забой. При использовании вентиляционной перегородки он не должен заходить за её край. Если ему нужно перейти в основное пространство выработки, то часть чистого воздуха должна подаваться за перегородку так, чтобы он попадал на оператора, находящегося в запылённом воздухе (Фиг. 4-12). В зависимости от того, где находится оператор комбайна, могут возникнуть проблемы при необходимости общения с оператором транспортной машины, так как обзор может быть ухудшен.

Фиг. 4-12. Схема нагнетательной вентиляционной системы ↑

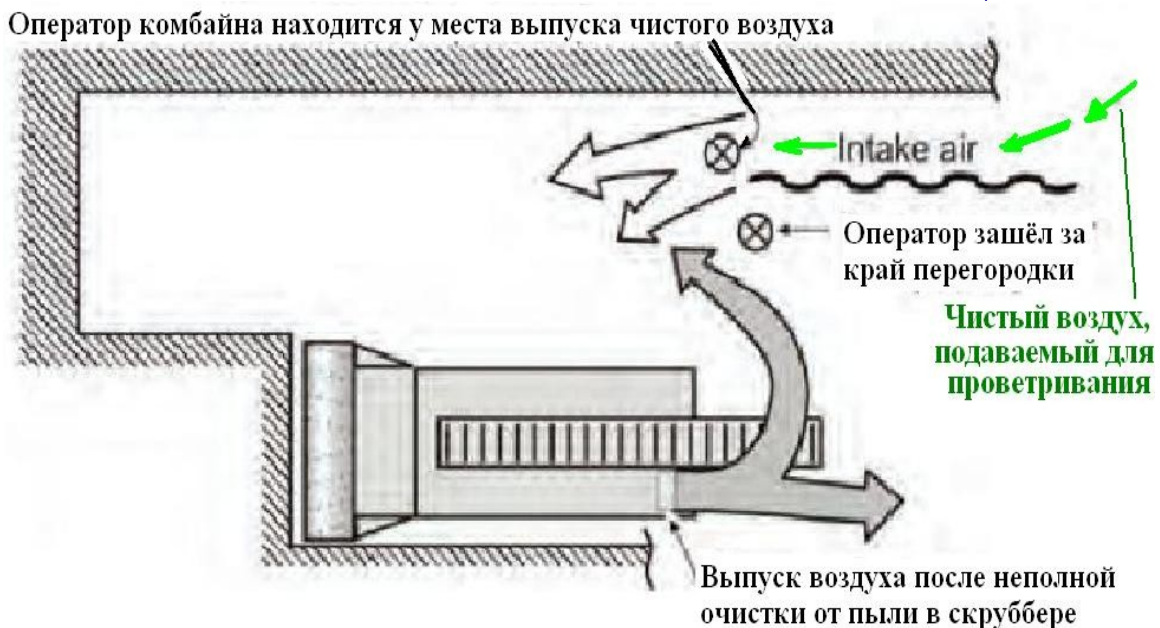


Figure 4-12.—Schematic of a blowing ventilation system.

- Согласно MSHA, если оператор должен перейти из места, где он находился в потоке чистого воздуха, он перед перемещением должен (прекратить работу комбайна), подождать, пока вентиляция очистит воздух от пыли, и затем перейти на другое место.

- Согласно MSHA, при выравнивании (нацеливании) комбайна, когда оператор должен находиться около комбайна, он должен после окончания выравнивания вернуться на место (где чистый воздух), и только затем включить комбайн. Это уменьшает вероятность травмирования.
- При скорости воздуха, выходящего из-за вентиляционной перегородки, больше 4.1 м/с (800 футов/мин) происходит наилучшее разбавление метана и пыли. Если же скорость выходящего воздуха меньше 2 м/с (400 футов/мин), то отличие в работе нагнетательной и отсасывающей будет незаметным [Luxner 1969].
- Воздух, прошедший через вентиляционную систему комбайна, и скруббер-пылеуловитель, и не полностью очищенный от пыли, должен выбрасываться в выработку со стороны, противоположной стороне, с которой подаётся чистый воздух для проветривания - чтобы он сразу попадал в удаляемый запылённый воздух.
- При проветривании забоя количество подаваемого в него чистого воздуха должно превышать расход воздуха вентиляционной системы комбайна, но не более чем на 0.47 м³/мин (1000 куб футов/мин). При большей подаче чистого воздуха его поток нарушит нормальную работу вентиляционной системы комбайна, сдувая запылённый воздух мимо всасывающих отверстий [Schultz and Fields 1999]. Поэтому MSHA обычно требует, чтобы расход чистого воздуха, подаваемого в забой, был равен или превышал расход воздуха вентиляционной системы комбайна, но не более чем на 0.47 м³/мин (1000 куб футов / мин). Расход воздуха, подаваемого в забой, должен измеряться при выключенной вентиляционной системе скруббера.
- Если скорость воздуха, выходящего из воздуховода (труб или из-за вентиляционной перегородки) слишком большая, то для её уменьшения можно немного расширить воздуховод на конце, чтобы предотвратить негативное влияние этого потока на работу вентиляционной системы комбайна [Schultz and Fields 1999].
- Эксперименты показали, что установка небольшой завесы при *slab¹³ cut* закрывает оператора от струи воздуха, выбрасываемого нагнетающей вентиляционной системой.

Всасывающая вентиляционная система

При использовании всасывающей вентиляционной системы чистый воздух движется к месту образования пыли в основном пространстве выработки. Он обдувает место разрушения угольного пласта, разбавляет метан и пыль, и уносит их к отверстию всасывающей вентиляционной системы (отверстию воздуховода или входу в пространство, отгороженное вентиляционной перегородкой). Использование такой вентиляционной системы приводит к тому, что оператор транспортной машины постоянно находится в чистом воздухе, и оператор комбайна может перемещаться более свободно, чем при использовании нагнетающей вентиляционной системы. Кроме того, всасывающая система улучшает обзор, так что оператор транспортной машины легко может определить, где находится оператор комбайна, когда заезжает в забой.

При использовании всасывающей схемы проветривания рекомендуют:

- На Фиг. 4-13 показана схема всасывающего проветривания забоя. Она даёт больше возможностей снизить запылённость воздуха, чем нагнетательная, и позволяет оператору более свободно перемещаться во время работы. Но MSHA (требует), чтобы оператор комбайна находился на той стороне от вентиляционной перегородки, где чистый воздух движется к месту разрушения угольного пласта. Как всегда, для безопасности оператора комбайна важно, чтобы он мог свободно общаться с оператором транспортной машины.
- Достоинство этой схемы проветривания - то, что оператор транспортной машины всегда находится в потоке чистого воздуха.
- Количество воздуха, достигающего конца вентиляционной системы (конца всасывающей трубы или вентиляционной перегородки) должно быть равно или немного больше, чем расход воздуха в вентиляционной системе комбайна, чтобы предотвратить рециркуляцию (не полностью очищенного скруббером запылённого) воздуха.

¹³ Расщепленные или мелкие параллельные соединенные (слои) породы, которые разделены на слои толщиной 2,54÷10,16 см (1÷4 дюйма). *Cut* – разрушение пласта комбайном.

- Согласно требованиям MSHA, при использовании всасывающей схемы проветривания забоя, средняя скорость чистого воздуха, движущегося в основном пространстве выработки к источнику пыли, должна быть не меньше 0.3 м/с (60 футов/мин).

- Если вентиляционная система комбайна со скруббером-пылеуловителем не используется, то расстояние от края вентиляционных воздуховодов всасывающей вентиляционной системы (отверстия труб или края вентиляционной перегородки) до места разрушения угля должно быть не более 3 м (10 футов), чтобы обеспечить достаточно хорошее проветривание места разрушения угольного пласта.

Фиг. 4-13. Схема вентиляции всасывающим способом ↑

Комбайн находится на той же стороне, что и вентиляционная перегородка
Комбайн находится на стороне, противоположной положению вентиляционной перегородки

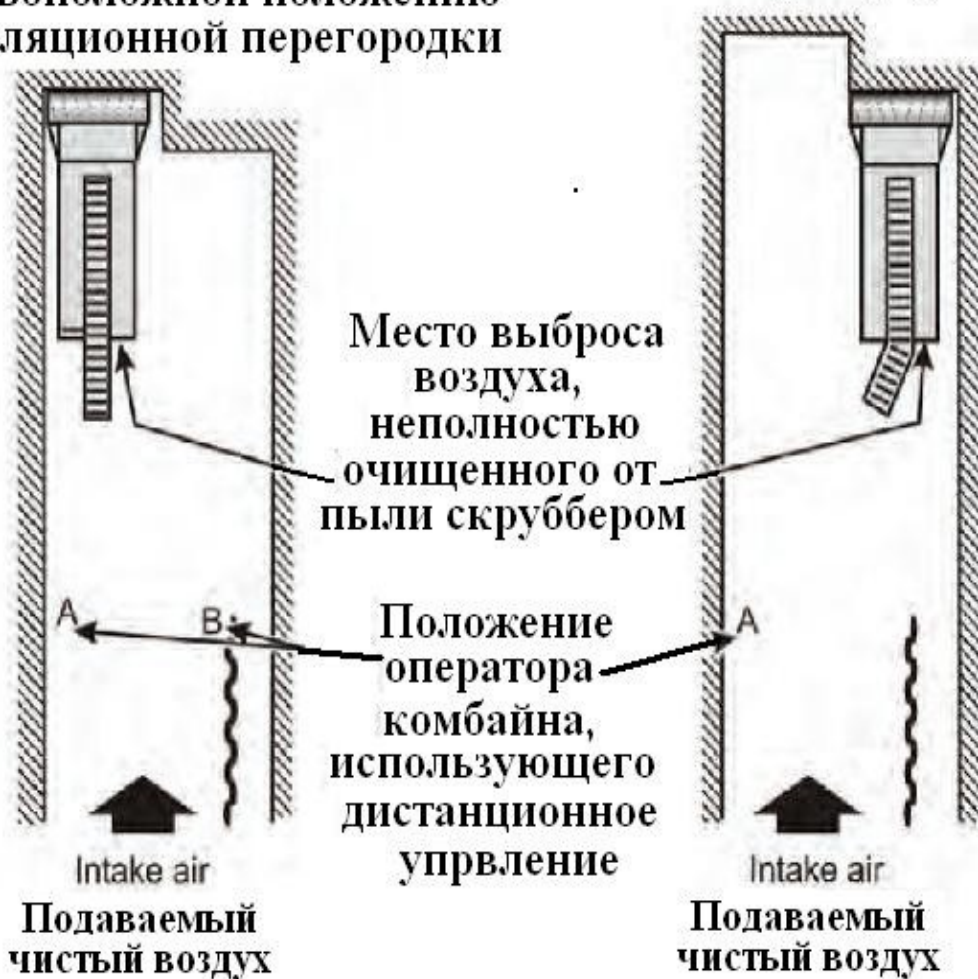


Figure 4-13.—Schematic of an exhaust ventilation system.

- При использовании вентиляционной перегородки, оператор комбайна не должен переходить за её край (на сторону, где запылённый воздух отсасывается из забоя), так как он подвергнется воздействию чрезмерно загрязнённого воздуха. Если измерения запылённости в зоне дыхания (около лица) оператора комбайна показывают, что она чрезмерна, то в первую очередь нужно проверить - не переходил ли он за край вентиляционной перегородки [Kissell and Goodman 2003].

- Воздух вентиляционной системы комбайна, не полностью очищенный скруббером от пыли, должен выходить из в выработку так, чтобы его струя попадала прямо в поток отсасываемого воздуха [Colinet and Jankowski 1996].

Снижение запылённости при буровых работах для крепления кровли ↑

На большинство машин для проведения буровых работ (для крепления кровли) устанавливаются сертифицированные MSHA сухие пылеулавливающие системы, удаляющие пыль, которая образуется во время работы. Чрезмерное воздействие пыли на операторов этих машин может произойти при проведении буровых работ, выгрузке уловленной пыли из пылеуловителя, при недостаточно хорошем техобслуживании пылеулавливающей системы, или при нахождении ниже от машины по потоку воздуха. При работе ниже по потоку по отношению к угольному комбайну последний становится основным источником воздействия пыли. При креплении кровли, когда оно проводится не ниже по потоку по отношению к комбайну, и при правильном надлежащем техобслуживании пылеулавливающей системы, концентрация пыли очень низкая [USBM 1984].

При проведении буровых работ для крепления кровли тремя основными проблемами являются: 1) проблемы с фильтром (просачивание или засорение), 2) скапливание пыли в пылеулавливающей системе, и 3) маленький расход воздуха около бура из-за просачиваний в шланге, соединениях или в предохранительном клапане (*relief valve*).

Для уменьшения воздействия пыли на рабочих, крепящих кровлю, рекомендуется:

- **Проводить (своевременное) техобслуживание пылеулавливающей системы.** Нужно проверять, нет ли просачиваний в шлангах и уплотнениях. Для обнаружения мест просачивания можно использовать трубки - генераторы дыма. Также нужно проверять плотность уплотнений в местах присоединения шлангов и повреждение уплотнения люка бункера пылеуловителя. Ежедневно с помощью подходящего манометра должен проверяться источник разрежения около головки буровой установки, чтобы оно соответствовало данным изготовителя, и было достаточным для создания необходимого расхода воздуха.

- **Выгрузка уловленной пыли.** Для нормальной работы пылеулавливающей системы нужно часто проводить выгрузку уловленной пыли. При выгрузке пыли оператор должен находиться выше по потоку воздуха чтобы уменьшить воздействие пыли. Если для выгреба пыли используется скребок, нужно принять меры предосторожности для предотвращения (сильного) запыления воздуха, и пыль не должна попадать на одежду (которая из-за этого в дальнейшем становится вторичным источником пыли). При использовании вентиляционной системы на буровой машине с двумя стрелами, сначала нужно выгрузить уловленную пыль с той стороны машины, которая находится ниже по потоку (*return-side*), а затем оператор должен перейти на сторону машины, которая выше по потоку, и находиться там, пока выгружается пыль, уловленная с этой стороны. И в этом случае важно, чтобы оператор находился выше по потоку воздуха (по отношению к источнику пыли), чтобы уменьшить её воздействие, и при выполнении этой работы рекомендуется использование респиратора. Также очистка должна проводиться в хорошо проветриваемом месте так, чтобы попавшая в воздух пыль быстро уносилась воздухом из зоны дыхания оператора. В руководствах по эксплуатации большинства буровых машин для крепления кровли подробно описано, как обращаться с уловленной пылью.

- **Использование мешков для уловленной пыли.** Для уменьшения воздействия пыли при её выгрузке в сухих пылеулавливающих системах могут использоваться мешки для пыли. Для использования таких мешков в старых пылеуловителях, использующих циклоны для предварительной очистки воздуха, есть специальные наборы, позволяющие проводить их модернизацию (Фиг. 4-14). Использование мешков для уловленной пыли в основном отделении позволяет рабочим легко удалять из него уловленную пыль, и складывать мешки у стенки выработки. (Это) уменьшает воздействие пыли при выгрузке, она не попадает в воздух, подаваемый для проветривания, уловленная пыль не попадает на дорогу в шахте, и из-за меньшей концентрации пыли возрастает срок службы тканевого фильтра второй ступени очистки [NIOSH 2007].

- **Замена тканевых фильтров.** Раньше для очистки фильтровального материала тканевых фильтров от пыли кассеты вынимали, и стучали ими обо что-нибудь твёрдое для выбивания пыли. Затем фильтры устанавливали на прежнее место. К сожалению, это приводило к попаданию большого количества пыли в зону дыхания оператора буровой установки. Очистка фильтра таким способом также может привести к попаданию респираторной пыли в части вентиляционной системы, которые находятся после фильтров (вакуумный насос и глушитель) (Фиг. 4-15). А при загрязнении

этих частей вентиляционной системы они могут стать вторичными источниками респираторной пыли, выбрасывая её в воздух шахты. Чтобы исправить это, нужно снять и промыть водой такие компоненты, как описано в следующем пункте. Хотя всё ещё случается, что фильтры снимают, очищают и используют повторно, но NIOSH, MSHA и изготовители буровых машин рекомендуют заменять загрязнённые фильтры для уменьшения воздействия пыли на рабочих. Замена кассет с фильтрами должна проводиться в хорошо проветриваемом месте.

[Фиг. 4-14. Бункер пылеуловителя с установленным мешком для пыли ↑](#)



Figure 4-14.—Dust collector box with collector bag installed.

- **Очистка той части пылеулавливающей вентиляционной системы, через которую выходит очищенный воздух.** Если произошло загрязнение той части системы, по которой очищенный воздух выходит наружу (из-за повреждения фильтра и/или просачиваний неотфильтрованного воздуха), то все компоненты системы, находящиеся после фильтров, должны быть сняты и промыты водой. Обследования показали, что проведение этих процедур заметно уменьшает концентрацию пыли и кварца в воздухе, выбрасываемом этими вентиляционными системами.

[Фиг 4-15 Схема пылеулавливателя, используемого при сверлении отверстий для крепления кровли ↑](#)

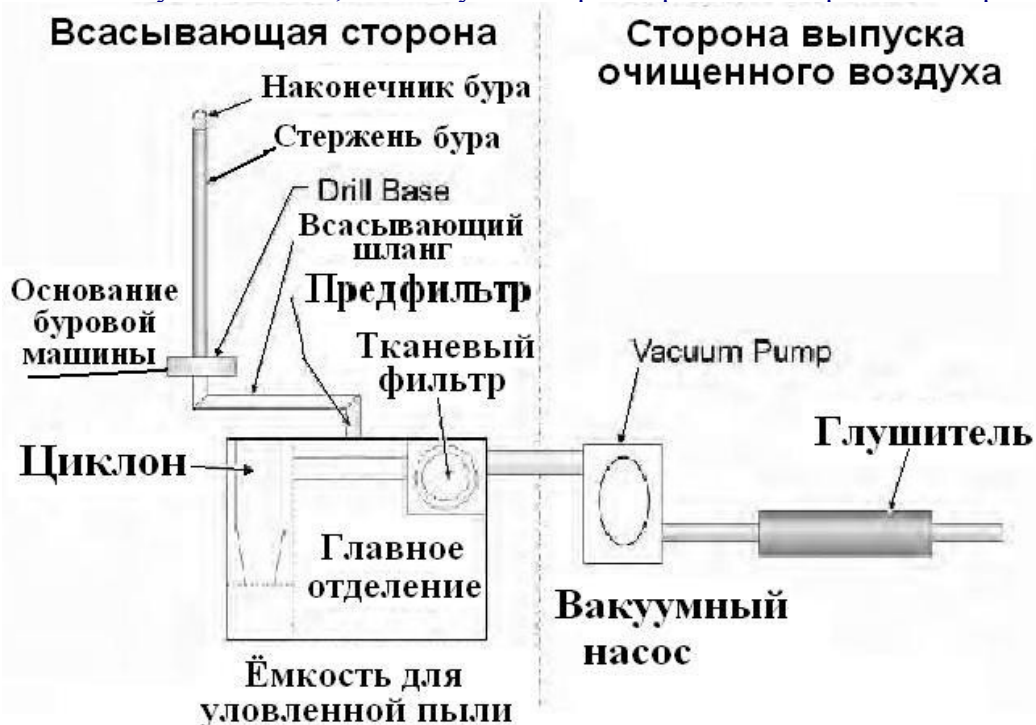


Figure 4-15.—Schematic of roof bolter dust collector components.

- **Удлинение мусоропровода для выгрузки пыли из пылеуловителя.** Некоторые буровые установки снабжаются устройствами для предварительной очистки воздуха - циклонами, которые улавливают крупную пыль перед тем, как воздух попадёт в (основной) пылеуловитель. Обычно пыль, уловленная этими циклонами, сбрасывается после сверления каждого отверстия, и в ней может присутствовать некоторое количество респираторной пыли. После открывания люка бункера циклона, попавшая туда пыль падает на пол выработки по мусоропроводу пылеуловителя - в не ограниченном пространстве. Часть пыли при падении может попасть в воздух, подаваемый для проветривания. Для уменьшения этого можно сделать "рукав" из (гибкого) материала, из которого делают вентиляционные перегородки, или из резины транспортёра - так, чтобы удлинить мусоропровод пылеуловителя, уменьшив расстояние, которое пыль падает в не ограниченном пространстве.

- **Использование наконечников буров с отсосом пыли.** У таких наконечников есть отверстие для всасывания запылённого воздуха, и они более эффективны (в отношении предотвращения запыления воздуха), чем те буры, у которых отсасывание запылённого воздуха проводится через отверстие не в наконечнике, а в стержне бура. В одном из исследований использование буров последнего типа привело к тому, что из-под укрытия места бурения вынос пыли был в 3-10 раз больше, чем при использовании буров с отсосом в наконечнике [USBM 1985]. Везде, где возможно, нужно немедленно заменить буры с отверстием в стержне на буры с отверстием в наконечнике.

- **Планирование выполнения работы так, чтобы уменьшить воздействие пыли на шахтёров, которые крепят кровлю.** Вне зависимости от используемой схемы проветривания, работа должна быть спланирована так, чтобы уменьшить количество времени, которое проводят шахтёры, укрепляющие кровлю, в потоке воздуха сзади комбайна. При правильно спланированной последовательности выполнения работ, при отдельном проветривании двух секций шахты (две вентиляционные ветви) нет необходимости работать в потоке запылённого воздуха ниже короткозабойного выемочного комбайна. Но при отдельном проветривании двух секций шахты часто в каждой секции работает по два комбайна и по две буровые установки для крепления кровли. Тогда¹⁴ в каждой из секций последовательность выполнения работ должна быть такой, чтобы уменьшить вредное воздействие на людей.

- **Бурение отверстий с промывкой или с подачей тумана.** Хотя при бурении с промывкой водой удаётся эффективно уменьшить пылеобразование, но это создаёт определённые проблемы для оператора.[Kissell and Goodman 2003]. Для эффективного снижения обычно требуется подача 7.5 л/мин (2 галлонов воды в минуту). Эта вода закачивается через отверстие в буре, улавливает пыль, и и затем вытекает из просверленного отверстия на пол выработки. Это создаёт проблемы, и ухудшает условия работы операторов бурового оборудования. Как попытка уменьшить эти проблемы, применяется бурение с подачей тумана. Расход воды уменьшается до, обычно, менее 1.9 л/мин (0.5 галлона в минуту), но нужен сжатый воздух. Хотя с точки зрения операторов бурового оборудования этот метод предпочтительнее, но при надлежащем обслуживании сухих пылеулавливающих систем или при бурении с промывкой пылеобразование всё же ниже [Beck and Goodman 2008]

- **Использование воздушного душа из чистого воздуха¹⁵.** Кроме той пыли, которую создаёт сама буровая установка, на её операторов может воздействовать пыль, созданная угольным комбайном, когда тот работает выше по потоку воздуха. Сейчас NIOSH разрабатывает и испытывает устройство, которое подаёт чистый воздух в зону дыхания оператора для уменьшения вредного

14 *Super sections - работа двух групп оборудования в одной секции шахты с общим местом выгрузки угля, но с разделением одного потока вентиляционного воздуха на два отдельных*

15... разработана и изготовлена система воздушного душирования СВД-1С. Она состоит из фильтра грубой очистки ... вентилятора ... воздухораспределителя ... фильтра тонкой очистки Испытания опытного образца ... показали возможность снижения запылённости воздуха ... в 4-5 раз, вплоть до пределов, близких к санитарным нормам. Сельсков ВМ, Казак ЮП, Бузин ВА. Локальное обеспыливание на комплексе "Урал-10КС" посредством системы воздушного душирования. Актуальные вопросы охраны труда в химической промышленности Материалы научно-практической конференции Минск 1976

воздействия при работе в воздухе, загрязнённом короткозобойным выемочным комбайном [Goodman and Organiscak 2002]. Вентилятор установки засасывает воздух, пропускает его через фильтр и по трубам подаёт его в воздухораспределитель (Фиг. 1-15), который находится под защитным козырьком, защищающим операторов от падения породы с кровли. Размеры воздухораспределителя равны размерам защитного козырька. Лабораторные испытания показали, что концентрация пыли под воздушным душем уменьшается на ~50%.

Фиг. 4-16. Прототип навеса с подачей чистого воздуха (canopy curtain) ↑

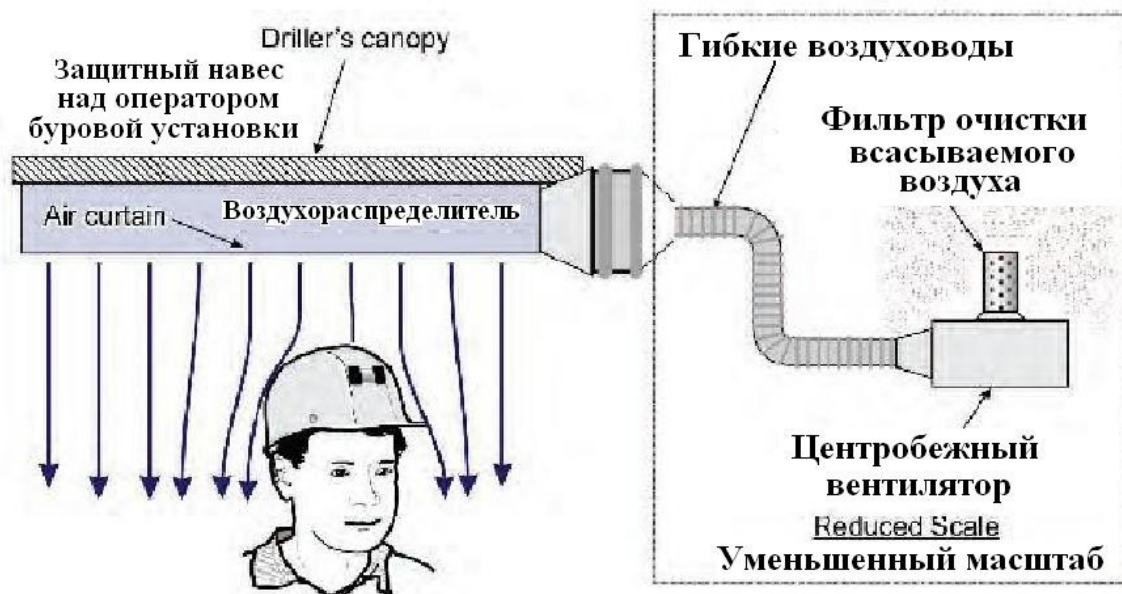


Figure 4-16.—Prototype of canopy curtain.

- **Отвод запылённого воздуха в ту часть вентиляционной системы, которая уносит воздух из забоя.** Самый простой эффективный способ уменьшения воздействия респираторной пыли при работе ниже комбайна по потоку в секциях шахты, которые проветриваются с помощью вентиляторов местного проветривания, отсасывающих воздух - с помощью лёгких складных труб направить запылённый воздух прямо в вытяжку [Jayaraman et al. 1989]. В этом случае запылённый воздух покинет забой, минуя операторов буровой машины.

- **Работа с подветренной стороны от буровой установки.** Если операторы находятся ниже по потоку от буровой установки, то воздействие кварц-содержащей респираторной пыли на них больше (прибавка до 25%) из-за пыли, образующейся при бурении. Обычно это связано с недостаточно хорошим обслуживанием вентиляционной системы буровой установки. [Organiscak et al. 1990].

Снижение запылённости подаваемого чистого воздуха ↑

Средняя запылённость чистого воздуха, подаваемого для проветривания забоя, должна быть не выше 1 мг/м³ (респираторная пыль) на расстоянии 60 м от места разрушения угля. Но чтобы обеспечить требуемое уменьшение запылённости в забое, MSHA рекомендует, чтобы концентрация пыли в воздухе, всасываемом вентиляционной системой, была меньше 0.5 мг/м³ [Shultz and Fields 1999]. Обычно поддержание такой концентрации не представляет проблем, но это требует внимания администрации к деятельности, которая может привести к загрязнению воздуха, подаваемого для проветривания по вентиляционным выработкам. Обычно повышенная концентрация пыли во всасываемом воздухе бывает кратковременно и связана с какой-то деятельностью, которая может проводиться во время работы смены. Сюда входит:

- Доставка расходных материалов и/или сотрудников,
- Установка в вентиляционные выработки оборудования, которое не используется,
- Осланцовывание,
- Работа ковшевого погрузчика и т.п.
- Возведение перегородок и другая строительная деятельность.

Кроме того, для подачи воздуха в забой может использоваться конвейерный штрек, и при этом может происходить запыление воздуха. Если запылённости воздуха, всасываемого на поверхности велика, то для её снижения можно:

- Поддерживать чистоту около всасывающего отверстия вентиляционной системы, убрать оттуда мусор, оборудование и расходные материалы.
- Организовать работу так, чтобы доставка расходных материалов, погрузочно-разгрузочные работы, строительные работы и осланцовывание во время добычи угля - не проводились.
- Если во время рабочей смены должна проводиться перевозки, то покрытие дорог, по которым будут проводится перевозки, должны быть всё время влажными. Так как вода будет испаряться при движении вентиляционного воздуха, то нужно использовать гигроскопические соли или эффективные средства пылеподавления [Ondrey et al. 1994]. Поддержание влажности в главной вентиляционной выработке уменьшит запыление воздуха при работе в этих местах.
- Оборудование должно парковаться в кверштагах, чтобы не сужать поперечное сечение вентиляционных выработок.

Если для подачи вентиляционного воздуха используется конвейерный штрек, нужно уменьшить пылеобразование при работе конвейера. Potts and Jankowski [1992] измеряли, как влияет на запылённости использование конвейерного штрека для подачи воздуха при добыче угля короткозабойным выемочным комбайном. Пылеподавление на конвейере помогало уменьшить концентрацию пыли в воздухе. Пылеподавление в месте выгрузки угля с конвейера снижало запылённость воздуха в конвейерном штреке. Для уменьшения пылеобразования в местах перегрузки использовались автоматические форсунки; и использовался скребок с форсунками, очищавший ленту конвейера с наружной стороны после выгрузки угля. Эти мероприятия рассмотрены в Главе 3.

Питатель дробилки и транспортно-погрузочная техника ↑

Измерения запылённости показали, что значительный вклад в загрязнение воздуха (подаваемого для проветривания забоя) респираторной пылью вносит работа транспортных и погрузочных машин. Это показывает, что нужно применять пылеподавление в местах её работы [Potts and Jankowski 1992]. Из-за присутствия респираторной пыли кварца, в местах, примыкающих к забою, более строгие требования к концентрации пыли. Исследование Organiscak et al. [1990] показало, что в местах работы погрузчика и транспортной машины повышенная концентрация респираторной пыли кварца. Основные мероприятия по снижению запылённости в местах работы этих машин:

- MSHA рекомендует использовать форсунки с полым или с полным конусом в местах загрузки угля в дробилку для его увлажнения и для снижения концентрации пыли кварца [Ondrey et al. 1994].
- Для снижения запылённости при разгрузке транспортной машины можно использовать автоматические форсунки в приёмном отверстии дробилки, которые включаются при сбрасывании угля (для его увлажнения перед разрушением).
- Форсунки на короткозабойном выемочном комбайне увлажняют уголь при его попадании на конвейер, что уменьшает запылённость при перегрузке угля в транспортную машину, и её последующей выгрузке. Может потребоваться перенаправление небольшой части воды на комбайне на цепной конвейер, чтобы обеспечить достаточное увлажнение угля так, чтобы уменьшить концентрацию пыли в месте его выгрузки [Ondrey et al. 1994].
- Транспортная машина не должна стоять, дожидаясь начала цикла своей работы так, чтобы её корпус находился в проёме вентиляционной двери-перегородки (тем самым открывая её для прохода воздуха).
- Оператор транспортной машины не должен находиться напротив места выброса не полностью очищенного воздуха из вентиляционной системы комбайна.
- При использовании нагнетательной вентиляционной системы нужно управлять транспортной машиной так, чтобы уменьшить количество времени, которое она находится в воздухе, уходящем из забоя (вместе с пылью)

[Ссылки ↑](#)

- Beck TW, Goodman GVR** [2008]. Evaluation of dust exposures associated with mist drilling technology for roof bolters. *Min Eng* 60(12):35–39.
- CFR**. Code of federal regulations. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, Office of the Federal Register.
- Colinet JF, Jankowski RA** [1996]. Dust control considerations for deep-cut faces when using exhaust ventilation and a flooded-bed scrubber. In: Transactions of Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Vol. 302. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 104–111.
- Colinet JF, Jankowski RA** [2000]. Silica collection concerns when using flooded-bed scrubbers. *Min Eng* 52(4):49–54.
- Divers EF** [1976]. Nonclogging water spray system for continuous mining machines: installation and operating guidelines. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, IC 8727. NTIS No. PB 265 934.
- Fields KG, Atchison DJ, Haney RA** [1991]. Evaluation of dust control for deep cut coal mining systems using a machine mounted dust collector. In: Proceedings of the Third Symposium on Respirable Dust in the Mineral Industries. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 349–353.
- Goodman GVR** [2000]. Using water sprays to improve performance of a flooded-bed dust scrubber. *Appl Occup Env Hyg* 15(7):550–560.
- Goodman GVR, Organiscak JA** [2002]. An evaluation of methods for controlling silica dust exposures on roof bolters. SME preprint 02-163. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Goodman GVR, Pollock DE, Beck TW [2004]. A comparison of a directional spray system and a flooded-bed scrubber for controlling respirable dust exposures and face gas concentrations. In: Ganguli R, Bandopadhyay S, eds. Mine ventilation: Proceedings of the 10th U.S./North American Mine Ventilation Symposium (Anchorage, AK, May 16–19, 2004). Leiden, Netherlands: Balkema, pp. 241–248.
- Goodman GVR, Beck TW, Pollock DE, Colinet JF, Organiscak JA** [2006]. Emerging technologies control respirable dust exposures for continuous mining and roof bolting personnel. In: Mutmansky JM, Ramani RV, eds. Proceedings of the 11th U.S./North American Mine Ventilation Symposium (University Park, PA, June 5–7, 2006). London: Taylor & Francis Group, pp. 211–216.
- Hirschi JC, Chugh YP, Saha A, Mohany M** [2002]. Evaluating the use of surfactants to enhance dust control efficiency of wet scrubbers for Illinois coal seams. In: De Souza E, ed. Proceedings of the North American/Ninth U.S. Mine Ventilation Symposium (Kingston, Ontario, Canada). Lisse, Netherlands: Balkema, pp. 601–606.
- Jayaraman NI, Kissell FN, Schroeder W** [1984]. Modify spray heads to reduce dust rollback on miners. *Coal Age* 89(6):56–57.
- Jayaraman NI, Jankowski RA** [1988]. Atomization of water sprays for quartz dust control. *Appl Ind Hyg* 3(12):327–331.
- Jayaraman NI, McClelland JJ, Jankowski RA** [1988]. Reducing quartz dust with flooded-bed scrubber systems on continuous miners. In: Proceedings of the Seventh International Pneumoconiosis Conference (Pittsburgh, PA), pp. 86–93.
- Jayaraman NI, Babbitt CA, O'Green J** [1989]. Ventilation and dust control techniques for personnel downwind of continuous miner. In: Transactions of Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Vol. 284. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 1823–1826.
- Jayaraman NI, Colinet JF, Jankowski RA** [1992]. Recent Basic research on dust removal for coal mine applications. In: Proceedings of the Fifth International Mine Ventilation Congress (Johannesburg, Republic of South Africa), pp. 395–405.
- Kissell FN** [2003]. Dust control methods in tunnels and underground mines. In: Kissell FN, ed. Handbook for dust control in mining. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2003-147, IC 9465, pp. 3–21.
- Kissell FN, Goodman GVR** [2003]. Continuous miner and roof bolter dust control. In: Kissell FN, ed. Handbook for dust control in mining. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2003-147, IC 9465, pp. 23–38.
- Luxner JV** [1969]. Face ventilation in underground bituminous coal mines. Airflow and methane distribution patterns in immediate face area: line brattice. Washington, DC: U.S. Department of the Interior, U.S. Bureau of Mines, RI 7223.
- MSHA** [2009]. Standardized Information System: Respirable coal mine quartz dust data. Arlington, VA: U.S. Department of Labor, Mine Safety and Health Administration.
- NIOSH** [1997]. Hazard identification 1: Exposure to silica dust on continuous mining operations using flooded-bed scrubbers. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and

Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, HID1, DHHS (NIOSH) Publication No. 97-147.

NIOSH [2007]. Technology news 523: Evaluation of dust collector bags for reducing dust exposure of roof bolter operators. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2007-119.

Ondrey RS, Haney RA, Tomb TF [1994]. Summary of minimum dust control parameters. In: Proceedings of the Fourth Symposium on Respirable Dust in the Mineral Industries (Pittsburgh, PA, November 8-10, 1994).

Organiscak JA, Page SJ, Jankowski RA [1990]. Sources and characteristics of quartz dust in coal mines. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, IC 9271. NTIS No. PB 91-160911/AS.

Organiscak JA, Khair AW, Ahmad M [1996]. Studies of bit wear and respirable dust generation. In: Transactions of Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Vol. 298. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 1932-1935.

Pollock DE, Organiscak JA [2007]. Airborne dust capture and induced airflow of various spray nozzle designs. *Aerosol Sci Technol* 41(7):711-720.

Potts JD, Jankowski RA [1992]. Dust considerations when using belt entry air to ventilate work areas. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, RI 9426.

Schroeder WE, Babbitt C, Muldoon TL [1986]. Development of optimal water spray systems for dust control in underground mines. Foster-Miller, Inc. U.S. Bureau of Mines contract H0199070. NTIS No. PB 87-141537.

Schultz MJ, Fields KG [1999]. Dust control considerations for deep cut mining sections. SME preprint 99-163.

Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Strebic KC [1975]. "Wet-head" tests on miners concluded. *Coal Min & Process* 12(4): 78-80, 88.

Thaxton RA [1984]. Maintenance of a roof bolter dust collector as a means to control quartz. In: Proceedings of the Coal Mine Dust Conference (Morgantown, WV, October 8-10, 1984), pp. 137-143.

USBM [1984]. Technology news 198: Better roof bolter dust collector maintenance reduces silica dust levels. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.

USBM [1985]. Technology news 219: Reducing dust exposure of roof bolter operators. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.

Глава 5. Снижение запылённости при выполнении работ на поверхности ↑

Автор: John A. Organiscak

При чрезмерном воздействии респираторной пыли кварца у шахтёров может развиваться силикоз - серьёзное и потенциально смертельно-опасное заболевание лёгких. Добыча полезных ископаемых остаётся отраслью с наибольшим числом случаев профзаболеваний силикозом, а профессия "оператор комбайна" у больных встречается чаще всего [NIOSH 2003]. Конкретно, некоторое количество наиболее серьёзных случаев силикоза наблюдалось у операторов буровых установок, работавших на поверхности [NIOSH 1992]. Проверка лёгких у рабочих, которые работают на поверхности, проводившаяся в Пенсильвании (добровольная) в 1996г показала, что заболевания силикозом напрямую связаны с возрастом и со стажем работы на буровых машинах [CDC 2000].

У шахтёров США сохраняется опасность воздействия пыли кварца при чрезмерной концентрации. Измерения инспекторов охраны труда из *Mine Safety and Health Administration (MSHA)*, проводившиеся в 2004-2008г, показали что превышение ПДК происходило в: 12% случаев при добыче золотоносного песка и гравия, в 13% случаев в железорудных шахтах, 18% на неметаллических рудниках, 21% при добыче металлической руды и 11% при добыче угля [MSHA 2009]. При работе на поверхности, чаще всего воздействие превышало ПДК у операторов машин: бульдозеров, буровых установок, скреперов, ковшевых погрузчиков, карьерных самосвалов и дробилок.

В этой главе сделана сводка современных способов снижения воздействия пыли при работе на поверхности. Такие работы создают динамичную и очень непостоянную концентрацию пыли кварца - при перемещении машин, бульдозеров, ковшевых погрузчиков, добывающих и перемещающих кварц-содержащую породу и минералы. Для уменьшения воздействия респираторной пыли, включая пыль кварца, усилия прикладываются в четырёх направлениях: пылеулавливающие системы для буровых установок, системы обеспечения чистым воздухом кабин, грунтовые дороги и снижение запылённости при выгрузке гуля в места хранения.

Во многих случаях причины запыления воздуха при выполнении работ на поверхности можно обнаружить визуально. Выбросы визуально заметной пыли при выполнении определённых работ обычно показывают, что в облаке пыли может быть респираторная пыль кварца, и есть потенциальная опасность воздействия на рабочих. Визуально заметные выбросы пыли вблизи рабочих показывают, что требуется использование технических средств снижения запылённости; или требуется техобслуживание и/или ремонт имеющихся технических средств. Изучение возможных причин визуально обнаруженных выбросов пыли может показать, что часто это происходит из-за недостаточной эффективности технических средств снижения запылённости. При частом визуальном контроле технических средств может оказаться, что для улучшения их эффективности нужно провести техобслуживание. Нужно проводить измерения запылённости - и воздуха рабочей зоны, и воздуха зоны дыхания с помощью индивидуальных пробоотборников - и определить вклад (этих) источников пыли во вредное воздействие на рабочего.

Снижение запылённости при буровых работах ↑

При бурении пыль попадает в атмосферу вместе со сжатым воздухом, который подаётся в бур и выдувает из отверстия разрушенную породу. Для уменьшения выброса пыли используются сухие и мокрые способы. Чаще используют сухие пылеулавливающие системы, устанавливаемые на буровые установки их изготовителями, так как они могут использоваться при отрицательных температурах. На Фиг. 5-1 показана типичная сухая пылеулавливающая система буровой установки. В неё входит самоочищающийся тканевый фильтр (для очистки ткань продувается сжатым воздухом в обратном направлении), который улавливает пыль из воздуха, отсасываемого из укрытия над местом входа бура в грунт. При использовании такой системы 90% выбросов пыли происходит через зазор между верхней пластиной укрытия (*drill deck*) и стержнем бура, зазоры между грунтом и укрытием и при выгрузке уловленной пыли. При мокром пылеподавлении в поток воздуха,

который по полюсу стержню бура идёт к наконечнику, добавляется вода. При выходе на поверхность воздуха, воды и разрушенной породы они перемешиваются, и запылённость воздуха уменьшается. Но из-за проблем при отрицательной температуре, повышенной скорости износа наконечников бура и потребности в воде, которую может быть трудно удовлетворить, этот способ используют редко. Исследования US Bureau of Mines и NIOSH показали практические способы улучшения работы таких пылеулавливающих систем. Ниже они рассмотрены при использовании обоих способов снижения запылённости.

Фиг. 5-1. Типичная сухая пылеулавливающая система для бурения на поверхности ↑

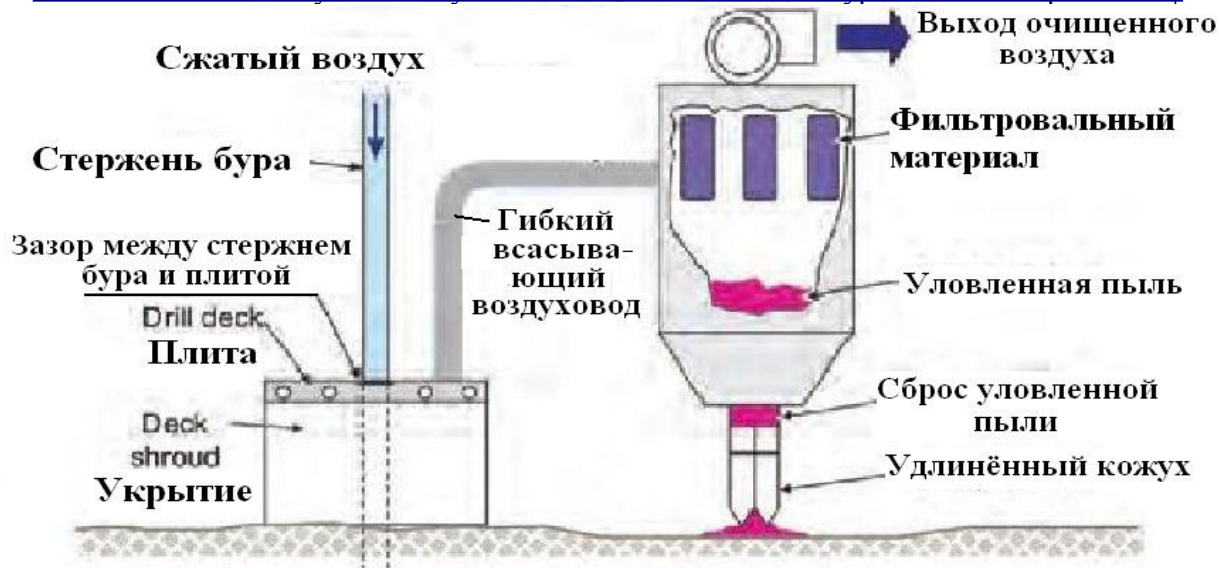


Figure 5-1.—Typical dry dust collection system used on surface drills.

Сухая пылеулавливающая система

- **Обеспечение плотного прилегания укрытия к грунту.** Если зазор между укрытием и грунтом меньше 8 дюймов (~20 см), то выбросы пыли через этот зазор значительно уменьшаются [NIOSH 2005, USBM 1987]. Для этого оператор может более тщательно регулировать вертикальное положение (укрытия буровой установки), чтобы зазор был меньше. При изменении процедуры установки буровой машины оператором выброс пыли из зазора между грунтом и укрытием значительно снизился (концентрация уменьшилась с 21.4 до 2.5 мг/м³) [Organiscak and Page 1999]. При использовании гибкого укрытия зазор между укрытием и грунтом можно уменьшить - особенно если грунт неровный. Такое гибкое укрытие может механически подниматься и опускаться с помощью тросов или гидропривода. Использование такого укрытия при выполнении некоторых буровых работ позволило снизить концентрацию пыли до <0.5 мг/м³ [NIOSH 1998, 2005]. Наконец, просачивание может происходить, если укрытие сделано из нескольких вертикальных секций, и между секциями есть зазоры. При перекрывании секций уменьшает зазоры и просачивание. На буровой установке с прямоугольной плитой у укрытия могут быть угловые секции и перекрывание боковых секций [Page and Organiscak 1995].

- **Расход воздуха, отсасываемого из укрытия, должен быть в три раза больше расхода сжатого воздуха, подаваемого в бур.** При отношении расходов воздуха - отсасываемого к подаваемому 3:1 запылённость значительно уменьшается [NIOSH 2005]. Уменьшение расхода воздуха, отсасываемого из укрытия, обычно происходит из-за появления препятствий проходу воздуха или при просачиваниях через неплотности. Загрязнение фильтровального материала и воздуховодов может мешать прохождению воздуха, а повреждение воздуховодов может привести к просачиванию. Для обеспечения оптимальной работы пылеулавливающей системы и требуемого расхода воздуха жизненно важно проводить её проверки и техобслуживание.

- **Обеспечение плотного закрывания зазора между стержнем бура и плитой.** На Фиг. 5-1 показано резиновое уплотнение этого зазора, и при механическом износе оно должно заменяться.

Другое решение - использование кольцевого трубопровода со сжатым воздухом и отверстиями. Похожий на пончик трубопровод охватывает стержень бура по периметру вблизи зазора, и в нём есть отверстия, направленные по радиусу вовнутрь. Эти отверстия направляют струи сжатого воздуха так, что сжатый воздух препятствует просачиванию запылённого воздуха. В исследовании [Page 1991] это уплотнение позволило уменьшить выброс пыли через плиту на 41-70%.

- **Уменьшение высоты свободного падения уловленной пыли при очистке бункера пылеуловителя.** Сброс пыли из бункера пылеуловителя с высоты около метра может привести к образованию облака пыли. При установке на трубу для сброса уловленной пыли удлинённого кожуха (Фиг. 5-1) запылённость снизилась больше, чем на 63% [Reed et al. 2004; USBM 1995]. Такой кожух можно быстро сделать из гибкого материала вентиляционных перегородок, обернув его вокруг трубы для сброса пыли и закрепив зажимом.

- **Обслуживание пылеуловителя согласно указаниям изготовителя.** Компоненты пылеулавливающей системы должны регулярно проверяться, а повреждённые компоненты - ремонтироваться или заменяться. В одном случае после замены разорванного ремня вентилятора выброс пыли уменьшился на 51%, а в другом после замены изношенной плиты выброс пыли уменьшился на 83% [Organiscak and Page 1999].

Использование мокрых способов снижения запылённости

- **Добавление небольшого количества воды в сжатый воздух, подаваемый для продувки пробуренной скважины до тех пор, пока не произойдёт снижение визуально заметного выброса пыли.** При увеличении подачи воды с 0.76 до 2.3 л/мин (с 0.2 до 0.6 галлонов в минуту) [USBM]. Для обеспечения регулировки расхода воды устанавливаются расходомер и игольчатый клапан. Но при чрезмерной подаче воды могут возникнуть дополнительные проблемы при работе установки без заметного уменьшения запылённости.

- **Уменьшение подачи воды к наконечнику бура увеличивает срок службы наконечника.** При мокром пылеподавлении и использовании наконечника бура с шарошечным долотом режущего типа может произойти преждевременный износ наконечника. При установке в стержне бура выше наконечника улавливателя крупных капель срок службы наконечника может повыситься без негативных последствий для пылеподавления [Listak and Reed 2007; USBM 1988]. Этот сепаратор - стабилизатор бура с внутренним циклоном или импактором, и он удаляет большую часть воды из потока воздуха до того, как последний достигнет наконечника. Вода, уловленная этим сепаратором, выпускается через боковые отверстия в стабилизаторе (Фиг. 5-2).

[Фиг. 5-2. Водоотделитель не позволяет воде попасть на наконечник бура ↑](#)



Figure 5-2.—Water separator discharging water before it reaches the drill bit.

Обеспыливание закрытых кабин ↑

Основным способом уменьшения воздействия респираторной пыли на операторов мобильного оборудования является использование закрытых кабин с фильтрующей вентиляционной системой. Обычно для защиты операторов такого оборудования от неблагоприятных внешних воздействий у него есть встроенные кабины с системой отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC). Часто в такой системе есть фильтр для уменьшения воздействия пыли. Исследования условий работы операторов буровых установок и бульдозеров, проводившиеся NIOSH, показали, что закрытые кабины могут надёжно защищать оператора, но их эффективность может быть различной [Organiscak and Page 1999]. Коэффициент защиты закрытой кабины (отношение концентрации пыли снаружи кабины к концентрации в кабине) у вращающихся буровых установок изменялось от 2.5 до 84, а у бульдозеров от 0 до 45 (*вероятно, от 1 до 45 - прим. пер.*). Также NIOSH проводил производственные исследования модернизации старого кабин оборудования для улучшения их способности защищать операторов от пыли. Изучали модернизацию кабин, оборудованных системами вентиляции, отопления и кондиционирования, чтобы показать эффективность таких мероприятий. Для повышения защитных свойств все возможные места просачивания респираторной пыли через трещины, зазоры и отверстия уплотнялись с помощью силикона и ленты из поролона с закрытыми ячейками. Удавалось добиться разной степени герметичности кабин. В таблице 5-1 показаны результаты такой модернизации - в порядке возрастания эффективности.

Таблица 5-1. Результаты измерений запылённости
у модернизированных кабин в производственных условиях ↑

Оборудование	Исследование	Избыточное давление, дюймов водяного столба	Эквивалент. скорость* воздуха, миль/час	Средняя концентрация пыли в кабине, мг/м ³	Средняя концентрация пыли снаружи кабины, мг/м ³	Коэффициент защиты (наруж/внутр)
Буровая установка	Organiscak et al. [2003a]	Не обнаружено	0	0,08	0,22	2,8
Карьерный самосвал	Chekan and Colinet [2003]	0.01	4,5	0,32	1,01	3,2
Ковшевый погрузчик	Organiscak et al. [2003a]	0.015	5,6	0,03	0,3	10
Буровая установка	Cecala et al. [2003]	0.20-0.40	20.3-28.7	0,05	2,8	56
Буровая установка	Cecala et al. [2005]	0.07-0.12	12.0-15.7	0,07	6,25	89,3

1 дюйм водяного столба = 254 Па; 1 миля в час = 1.6 км/ч = 0.44 м/с.

* - Скорость = $(2 \cdot \Delta P / \rho)^{0.5}$ (СИ), Результаты приведены при стандартных температуре и давлении.

Важнейшие факторы, влияющие на эффективность закрытых кабин

- **Обеспечение целостности кабины (отсутствие зазоров и т. п.) для создания и поддержания избыточного давления, препятствующего прониканию пыли при ветре.** Как показано в таблице 5-1, измерения в производственных условиях показали, что значительное улучшение коэффициента защиты кабины достигается при давлении в ней больше 2.5 Па (*0.01 дюйма водяного столба*). Это соответствует эквивалентной скорости (как показателя способности кабины противостоять скоростному напору ветра) более 2 м/с (*4.5 миль в час*). Кабины с давлением выше 2.5 Па (*0.01 дюйма водяного столба*) были "закрытого типа", без зазоров, и их герметизация легко улучшалась за счёт заклеивания щелей, зазоров или отверстий силиконом и поролоном с закрытыми ячейками. А "неплотные" кабины у одного трактора и одной буровой установки было трудно загерметизировать, и из-за этого не удалось добиться создания значительного избыточного давления.

- **Использование высокоэффективных противоаэрозольных фильтров для очистки воздуха, подаваемого в кабину.** Исследования [Chekan and Colinet 2003; Cecala et al. 2003, 2005; Organiscak et al. 2003a] показали, что для очистки воздуха, подаваемого в кабины, используются фильтры, улавливающие 95% и более респираторной пыли. А лабораторные исследования показали, что при увеличении степени защиты кабины на порядок, если используются фильтры с эффективностью 99%, а не 38% (при улавливании респираторной пыли) [NIOSH 2007].

- **Использование эффективного фильтра очистки воздуха при его рециркуляции в кабине.** У всех кабин, которые изучались в исследованиях [Chekan and Colinet 2003; Cecala et al. 2003, 2005; Organiscak et al. 2003a], в системе рециркуляции воздуха в кабине устанавливались фильтры, улавливавшие не менее 95% частиц респираторного размера. Лабораторные исследования показали степень улучшения коэффициента защиты кабины при использовании фильтров с эффективностью 85-94.9% по сравнению с не использованием системы рециркуляции [NIOSH 2007]. Лабораторные эксперименты показали, что при использовании системы рециркуляции воздуха в кабине (с очисткой), интервал времени, в течение которого концентрация пыли в кабине стабилизируется после открывания двери, уменьшается в больше чем в 2 раза.

- **Сведение к минимуму пылеобразования в кабине.** Необходимо поддерживать чистоту в кабине, и повернуть отверстия выпуска подогретого воздуха так, чтобы они не сдували пыль с пола. Исследование [Cecala et al. 2005] показало, что при изменении направления выпуска подогретого воздуха в сторону пола концентрация пыли возросла с 0.03 до 0.26 мг/м³. Подогреватели у пола сняли, и воздух в кабине подогревали с помощью системы HVAC (отопление, вентиляция, кондиционирование), установленной у потолка. Это уменьшило концентрацию пыли при использовании подогревателя воздуха зимой. Другой способ уменьшения запылённости из-за уноса пыли с пола - использование специального покрытия, к которому прилипают загрязнения во время работы. Большинство таких составов, имеющих в продаже, сделаны на основе воска или нефтепродуктов. Но нужно сказать, что часть людей чувствительны к воздействию паров нефтепродуктов, и у них при использовании таких покрытий в закрытых кабинах может возникнуть аллергия. Существует несколько покрытий, в которых используется натуральное масло или специальные химические добавки [NIOSH 2001]. Также рекомендуется держать на полу резиновый коврик, а не коврик из ткани, чтобы облегчить уборку. Другое решение проблемы - более частое проведение уборки кабины оператором.

- **Во время работы двери кабины должны быть закрыты.** Один раз во время выполнения бурения, средняя концентрация пыли в кабине при закрытой двери была 0.09 мг/м³, а при кратковременном открывании для наращивания длины бура - 0.81 мг/м³ [Cecala et al. 2007]. Хотя дверь открывалась после прекращения бурения, и после того, как видимое облако пыли рассеялось, но даже кратковременное открывание для увеличения длины бура во время работы может увеличить концентрацию респираторной пыли в кабине в 9 раз.

Снижение пылеобразования на дорожном покрытии ↑

При добыче полезных ископаемых широко используют карьерные самосвалы. При движении по дорогам без покрытия они вносят основной вклад в запылённость воздуха в районе шахты. Хотя большая часть пыли, поднимаемой в воздух карьерными самосвалами, не-респираторная, но до 20% - респираторная [Organiscak and Reed 2004]. Для уменьшения пылеобразования чаще всего используют увлажнение дороги. На Фиг. 5-3 показана эффективность увлажнения дороги без покрытия - концентрация респираторной пыли. Дорогу увлажнили утром, и после обеда она (уже) высохла. Хотя было показано, что способы уменьшения пылеобразования очень эффективны, но они требуют повторного применения из-за "износа" дороги, сухой погоды, и просыпания (перевозимого) материала на дорогу. Если не использовать технические средства снижения запылённости, то пылеобразование во время добычи угля может стать неизбежным. Учитывая, что карьерные самосвалы подвижны, они могут загрязнять воздух респираторной пылью так, что она будет воздействовать и на других сотрудников, работающих на поверхности, и на водителей других самосвалов, едущих по дороге. NIOSH недавно изучил распределение по размерам, концентрации и неравномерность пространственного распределения пыли, создаваемой при движении по дорогам без покрытия, чтобы определить риск для здоровья людей, и найти другие способы снижения вредного воздействия. Ниже приводятся рекомендуемые способы уменьшения вредного воздействия.

Фиг. 5-3. Увеличение запылённости по мере высыхания увлажнённого покрытия дороги ↑

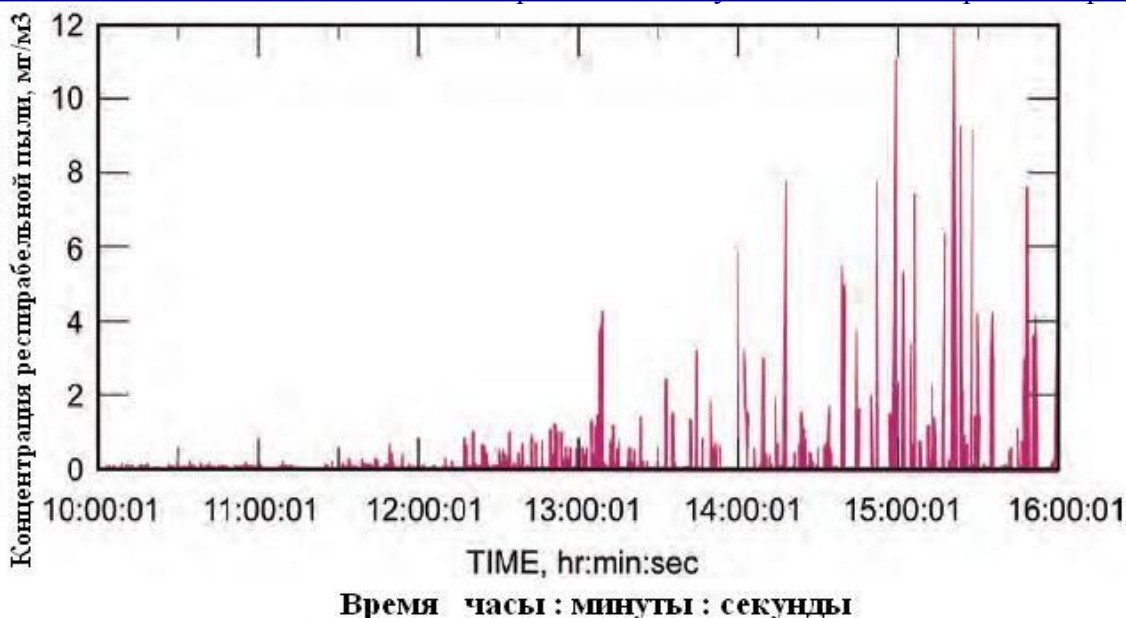


Figure 5-3.-Increase in dust when a wet haul road dries.

Способы уменьшения воздействия дорожной пыли

- **Обработка поверхности немощёных дорог.** На Фиг. 5-3 показана эффективность увлажнения дороги водой и её изменение с течением времени [Organiscak and Reed 2004]. Также для обработки дорог используют гигроскопические соли, поверхностно-активные вещества, цемент для грунта, битум и полимерные плёнки - что увеличивает эффективность так, что интервал между обработками может возрасти до нескольких недель [Organiscak et al. 2003b; Olson and Veith 1987].

- **Увеличение интервалов между самосвалами.** Исследования показали, что после прохождения карьерного самосвала по немощёной дороге запылённость быстро снижается, и она быстро достигает запылённости на расстоянии 30 м от дороги [Organiscak and Reed 2004]. Рассеивание и разбавление пыли позволяет использовать для снижения воздействия пыли на людей административно-организационные мероприятия. Если интервал при движении карьерных самосвалов будет больше 20 секунд, то за это время значительная часть пыли успеет рассеяться. Это снижает концентрацию респираторной пыли, воздействующей на водителя следующего самосвала, на 40% [Reed and Organiscak 2005]. Наконец, для уменьшения воздействия пыли на других рабочих можно использовать более совершенное расположение дорог и график перевозок по ним [Organiscak and Reed 2004].

Снижение запылённости на месте выгрузки добытого угля ↑

Обычно добытый под землёй продукт грузят в карьерные самосвалы, и отвозят из места хранения к дробилке. Этот продукт или прямо выгружают в приёмное отверстие дробилки, или выгружают в месте хранения. Если он выгружается в месте хранения, то затем ковшевый погрузчик забирает его, и подаёт в дробилку. Во всех случаях при выгрузке образуются облако пыли. При быстром высыпании большого количества угля, он вытесняет большой объём воздуха за небольшой интервал времени, и перемещает наружу образовавшееся облако пыли. Если оператор оборудования, которая высыпает продукт, будет находиться в герметизированной кабине (как описано выше), то это уменьшит воздействие пыли на него. Но если рядом находятся другие рабочие (оператор дробилки; ремонтники и др.) могут подвергаться воздействию этой пыли. Для снижения загрязнённости воздуха есть несколько эффективных способов, включая устройство укрытия над местом выгрузки материала, и использование распыления воды для уменьшения концентрации пыли, и для предотвращения её распространения.

Важные факторы, влияющие на распространение пыли при выгрузке материала

- **Устройство укрытий над местом сбрасывания материала.** Вокруг места хранения добытого угля может быть сделано укрытие - стены вокруг. Стены могут быть или стационарными (жёсткими), или подвижными (из гибкого материала, или в виде занавеси) - с учётом требований доступа для погрузки и выгрузки. Чтобы уменьшить естественную тенденцию пыли вылетать из бункера при высыпании большого количества материала за небольшой интервал времени, используют "занавеси-успокоители" (*staging curtains, stilling curtains*), Фиг. 5-4 [Weakly 2000]. Можно использовать подвижную занавесь, закрывающую место выгрузки материала. Эффективно использование пластиковых лент, которые герметично закрывают место выгрузки, и которые подвешиваются с взаимным перекрытием. Использование такого закрывания отверстия для высыпания материала уменьшает повреждение при контакте с ковшом погрузчика или кузовом самосвала при выгрузке. Наконец, для фильтрации воздуха, загрязнённого пылью в месте выгрузки, может использоваться местная вентиляционная система. Это наиболее подходящий метод, если сброс материала производится в таком месте, где пыль может попасть в соседнее здание, или воздействовать на других рабочих. Так как обычно ёмкости для хранения большие, то для создания такого разрежения в укрытии, которое не позволяло бы пыли вылетать наружу, нужен большой расход воздуха. Это более дорогой способ уменьшения запылённости, чем использование распыления воды [Rodgers et al. 1978].

- **Распыление воды форсунками для уменьшения запылённости в укрытии.** Распыление воды форсунками, направленными на высыпaeмый материал, увлажнит его, и уменьшит пылеобразование. Для начала можно добавить воды так, чтобы влажность возросла на 1% [Quilliam 1974]. Степень увлажнения выбирается с учётом уменьшения запылённости и с учётом влияния влажности на материал, чтобы не добавлять воды слишком много. Так как непрерывное распыление воды форсунками в интервале между выгрузками не нужно, то их включают только во время выгрузки, используя фотоэлемент или механический выключатель. Также может устанавливаться таймер, чтобы форсунки продолжали работать некоторое время после выгрузки для подавления образовавшейся пыли.

- **Предотвращение выноса пыли через пространство под корпусом машины.** Для уменьшения выноса пыли под машиной, которая разгружается, рекомендуется использование системы распыления воды. Эта система (*Jersey barrier*) в наиболее удалённом месте, где производится сброс материала. Система распыления воды крепится к стороне барьера, противоположном расположению машины, и она распыляет воду так, что препятствует выходу запылённого воздуха под корпусом машины. Кроме того, над форсунками должен быть козырёк для предотвращения их повреждения при падении материала (Фиг. 5-5). Кроме того, в системе должно быть приспособление для её включения только в момент выгрузки.

[Фиг. 5-4. Подвижная занавесь предотвращает распространение пыли из укрытия ↑](#)

Занавеси-"успокоители"

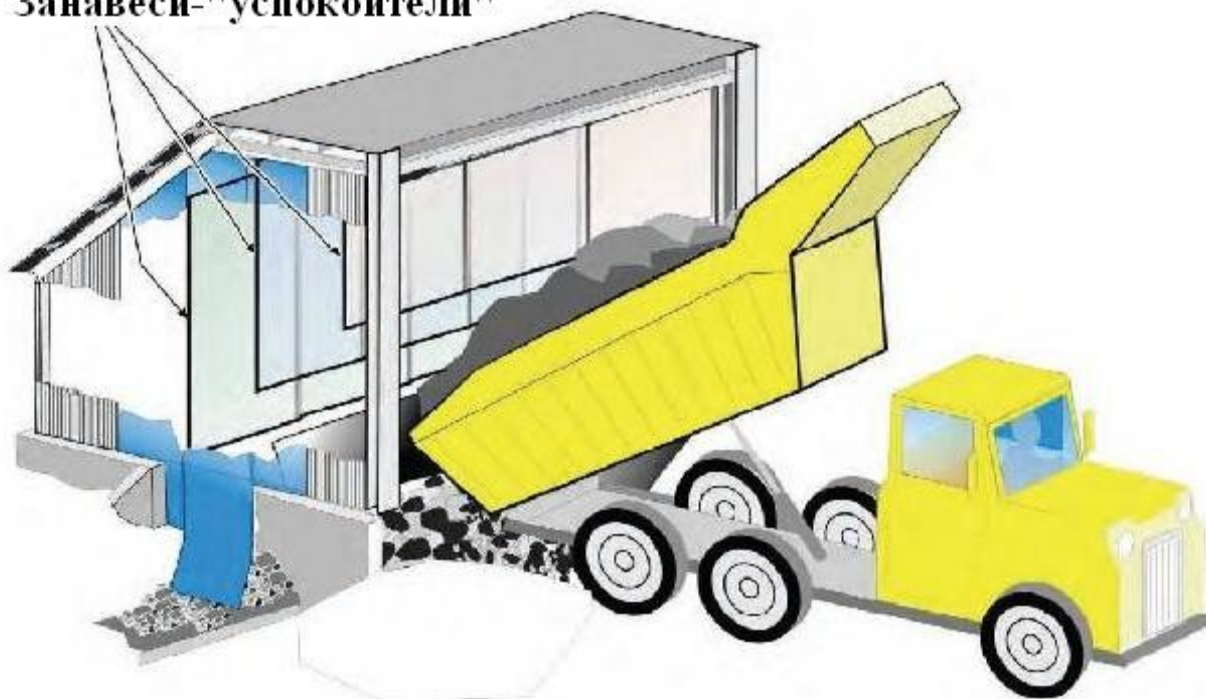
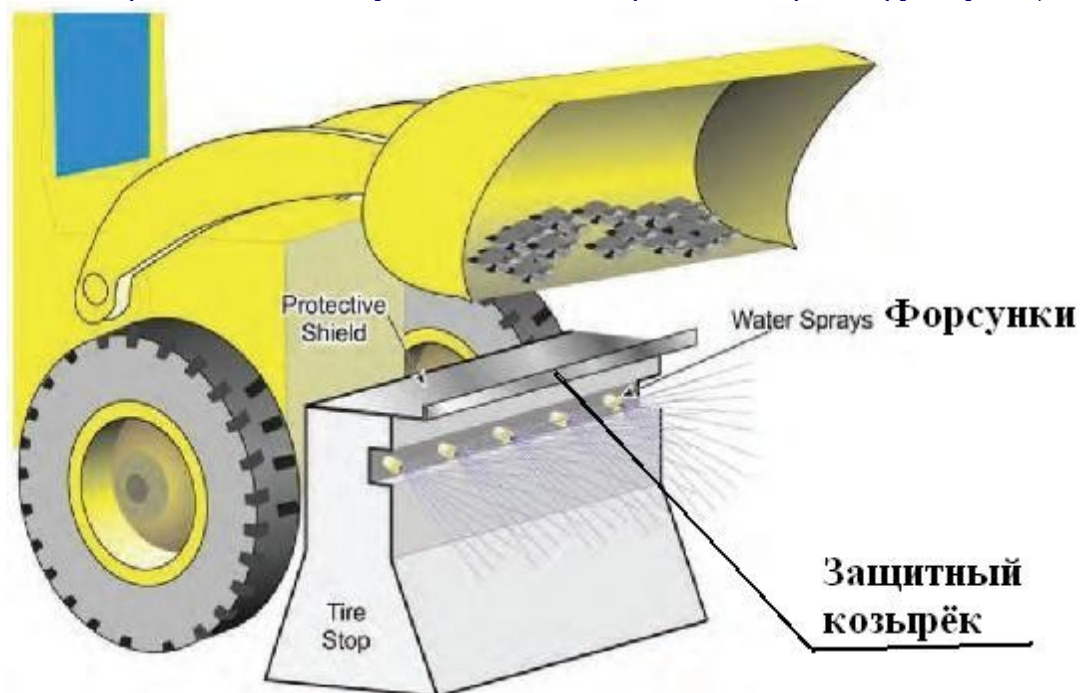


Figure 5-4.—Staging curtains used to prevent dust from billowing out of enclosure.

[Фиг. 5-5. Система распыления воды уменьшает пылеобразование при выгрузке угля ↑](#)



Барьер

Figure 5-5.—Tire-stop water spray system reduces dust rollback under the dumping vehicle.

[Ссылки ↑](#)

- Cecala AB, Organiscak JA, Heitbrink WA, Zimmer JA, Fisher T, Gresh RE, Ashley JD** [2003]. Reducing enclosed cab drill operator's respirable dust exposure at a surface coal operation using a retrofitted filtration and pressurization system. In: Yernberg WR, ed. Transactions of Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Vol. 314. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 31–36.
- Cecala AB, Organiscak JA, Zimmer JA, Heitbrink WA, Moyer ES, Schmitz M, Ahrenholtz E, Coppock CC, Andrews EH** [2005]. Reducing enclosed cab drill operator's respirable dust exposure with effective filtration and pressurization techniques. *J Occup Environ Hyg* 2(1):54–63.
- Cecala AB, Organiscak JA, Zimmer JA, Moredock D, Hillis M** [2007]. Closing the door to dust when adding drill steels. *Rock Prod* 110(10):29–32.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention)** [2000]. Silicosis screening in surface coal miners: Pennsylvania, 1996–1997. *MMWR* 49(27):612–615.
- Chekan GJ, Colinet JF** [2003]. Retrofit options for better dust control. *Aggregates Manag* 8(9):9–12.
- Listak JM, Reed WR** [2007]. Water separator shows potential for reducing respirable dust generated on small-diameter rotary blasthole drills. *Int J Min Reclam Environ* 21(3):160–172.
- MSHA** [2009]. Program Evaluation and Information Resources, Standardized Information System. Arlington, VA: U.S. Department of Labor, Mine Safety and Health Administration.
- NIOSH** [1992]. NIOSH alert: Request for assistance in preventing silicosis and deaths in rock drillers. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 92–107.
- NIOSH** [1998]. Hazard controls: New shroud design controls silica dust from surface mine and construction blast hole drills. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, HC27, DHHS (NIOSH) Publication No. 98–150.
- NIOSH** [2001]. Technology news 487: Sweeping compound application reduces dust from soiled floors within enclosed operator cabs. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health.
- NIOSH** [2003]. Work-related lung disease surveillance report, 2002. Morgantown, WV: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2003111.
- NIOSH** [2005]. Technology news 512: Improve drill dust collector capture through better shroud and inlet configurations. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2006–108.
- NIOSH** [2007]. Technology news 528: Recirculation filter is key to improving dust control in enclosed cabs. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2008–100.
- Olson KS, Veith DL** [1987]. Fugitive dust control for haulage roads and tailing basins. Minneapolis, MN: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, RI 9069.
- Organiscak JA, Page SJ** [1999]. Field assessment of control techniques and long-term dust variability for surface coal mine rock drills and bulldozers. *Int J Surf Min Reclam Env* 13:165–172.
- Organiscak JA, Reed WR** [2004]. Characteristics of fugitive dust generated from unpaved mine haulage roads. *Int J Surface Min Reclam Environ* 18(4):236–252.
- Organiscak JA, Cecala AB, Thimons ED, Heitbrink WA, Schmitz M, Ahrenholtz E** [2003a]. NIOSH/industry collaborative efforts show improved mining equipment cab dust protection. In: Yernberg WR, ed. Transactions of Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Vol. 314. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 145–152.
- Organiscak JA, Page SJ, Cecala AB, Kissell FN** [2003b]. Surface mine dust control. In: Kissell FN, ed. Handbook for dust control in mining. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2003-147, IC 9465, pp. 73–81.
- Page SJ** [1991]. Respirable dust control on overburden drills at surface mines. In: Proceedings of the American Mining Congress Coal Convention, pp. 523–539. Page SJ, Organiscak JA [1995]. Taming the dust devil: an evaluation of improved dust controls for surface drills using rotoclone collectors. *Eng Min J Nov*:30–31.
- Quilliam JH** [1974]. Sources and methods of control of dust. In: The ventilation of South African gold mines. Yeoville, Republic of South Africa: The Mine Ventilation Society of South Africa.
- Reed WR, Organiscak JA** [2005]. Evaluation of dust exposure to truck drivers following the lead haul truck. In: Yernberg WR, ed. Transactions of Society for Mining, Metallurgy, and Explorations, Inc. Vol. 318. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 147–153.
- Reed WR, Organiscak JA, Page SJ** [2004]. New approach controls dust at the collector dump point. *Eng Min J*

205(7):29–31.

Rodgers SJ, Rankin RL, Marshall MD [1978]. Improved dust control at chutes, dumps, transfer points, and crushers in noncoal mining operations. MSA Research Corp. U.S. Bureau of Mines contract No. H0230027. NTIS No. PB297-422.

USBM [1987]. Technology news 286: Optimizing dust control on surface coal mine drills. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.

USBM [1988]. Technology news 308: Impact of drill stem water separation on dust control for surface coal mines. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.

USBM [1995]. Technology news 447: Dust collector discharge shroud reduces dust exposure to drill operators at surface coal mines. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.

Weakly A [2000]. Controlling dust without using bag houses. *Coal Age Nov*:24–26.