

6
А 66

Министерство угольной промышленности СССР
Академия наук СССР

Ордена Трудового Красного Знамени
Институт горного дела им. А.А.Скочинского

На правах рукописи

Инженер
Михаил Александрович ТОКМАКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА УВЛАЖНЕНИЯ
УГОЛЬНОГО МАССИВА
КАК КОМПЛЕКСНОГО СРЕДСТВА
УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА
И РАБОТЫ РОТОРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ
НА ЭКИБАСТУЗСКИХ РАЗРЕЗАХ

Специальность 05.15.03 – "Открытая
разработка и эксплуатация
угольных, рудных и
нерудных месторождений"

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва
1972

В В Е Д Е Н И Е

В соответствии с директивным планом развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 гг. в конце пятилетки до 30% угля предусматривается добыть наиболее экономичным и прогрессивным открытым способом.

Широкое развитие открытой разработки месторождений полезных ископаемых стало возможным благодаря современной высокопроизводительной технике. Увеличение объемов работ, применение высокопроизводительной техники неизбежно связано с повышенным выделением в атмосферу карьеров пыли.

На экибастузских угольных разрезах в настоящее время используются роторные экскаваторы производительностью 1000 м³ угля в час, а к 1975 г. будут внедрены экскаваторы производительностью 3 тыс. м³/час и 5 тыс. м³/час, при этом объем добываемого ими угля составит около 84%.

При работе роторных экскаваторов без применения средств борьбы с пылью запыленность воздуха на рабочей площадке достигает 3000 мг/м³, а у роторного колеса - взрывоопасных концентраций. В связи с этим предупреждение пылевыведения и снижение запыленности воздуха у роторных экскаваторов и в карьере в целом является актуальной и неотложной задачей, решение которой должно учитывать целый ряд специфических требований.

Экибастузское месторождение отличается сложными горногеологическими условиями, расположено в районе с жарким и сухим летом, с сильными ветрами, малым количеством осадков, что усложняет выбор эффективного метода пылеподавления. Одним из перспективных способов борьбы с пылью является предварительное увлажнение угольных пластов, которое получило широкое распространение в подземных условиях, а в последние годы применяется и на угольных

6
А 66
Министерство угольной промышленности СССР

Академия наук СССР

Ордена Трудового Красного Знамени
Институт горного дела им. А.А.Скочинского

На правах рукописи

Инженер
Михаил Александрович ТОКМАКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА УВЛАЖНЕНИЯ
УГОЛЬНОГО МАССИВА
КАК КОМПЛЕКСНОГО СРЕДСТВА
УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА
И РАБОТЫ РОТОРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ
НА ЭКИБАСТУЗСКИХ РАЗРЕЗАХ

Специальность 05.15.03 - "Открытая
разработка и эксплуатация
угольных, рудных и
нерудных месторождений"

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1972

В В Е Д Е Н И Е

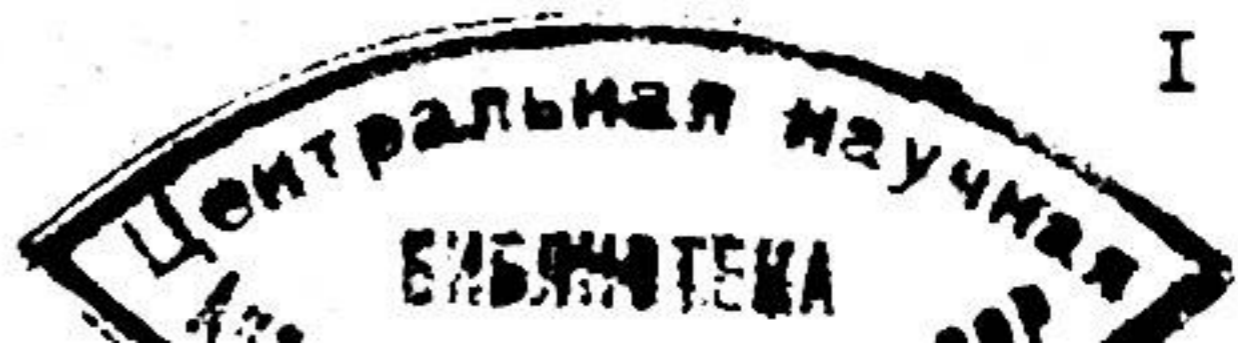
В соответствии с директивным планом развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 гг. в конце пятилетки до 30% угля предусматривается добыть наиболее экономичным и прогрессивным открытым способом.

Широкое развитие открытой разработки месторождений полезных ископаемых стало возможным благодаря современной высокопроизводительной технике. Увеличение объемов работ, применение высокопроизводительной техники неизбежно связано с повышенным выделением в атмосферу карьеров пыли.

На экибастузских угольных разрезах в настоящее время используются роторные экскаваторы производительностью 1000 м³ угля в час, а к 1975 г. будут внедрены экскаваторы производительностью 3 тыс. м³/час и 5 тыс. м³/час, при этом объем добываемого ими угля составит около 84%.

При работе роторных экскаваторов без применения средств борьбы с пылью запыленность воздуха на рабочей площадке достигает 3000 мг/м³, а у роторного колеса - взрывоопасных концентраций. В связи с этим предупреждение пылевыведения и снижение запыленности воздуха у роторных экскаваторов и в карьере в целом является актуальной и неотложной задачей, решение которой должно учитывать целый ряд специфических требований.

Экибастузское месторождение отличается сложными горногеологическими условиями, расположено в районе с жарким и сухим летом, с сильными ветрами, малым количеством осадков, что усложняет выбор эффективного метода пылеподавления. Одним из перспективных способов борьбы с пылью является предварительное увлажнение угольных пластов, которое получило широкое распространение в подземных условиях, а в последние годы применяется и на угольных



разрезах. Этот метод позволяет не только снизить интенсивность пылевыведения, но и оказать воздействие на расслабление массива, что является немаловажным, с точки зрения увеличения производительности экскаваторов и улучшения их технико-экономических показателей. Это особенно важно в условиях экибастузских разрезов, угольные пласты которых имеют крепость 3-5 по шкале профессора М.М.Протодяконова и требуют предварительного разрыхления с помощью буровзрывных работ перед выемкой их как одноковшовыми, так и роторными экскаваторами.

Проведение буровзрывных работ связано со значительными дополнительными затратами и сопровождается выделением пыли и газов в атмосферу разреза.

Настоящая работа посвящена исследованию метода предварительного увлажнения как средства снижения запыленности воздуха и ослабления прочности угольных уступов при отработке их роторными экскаваторами. В связи с этим основными ее задачами являлись следующие:

1. Исследование запыленности атмосферы и интенсивности пылевыведения при различных производственных процессах.

2. Изучение фильтрационных свойств экибастузских углей при их увлажнении различными жидкостями.

3. Изыскание рациональной схемы увлажнения угольных уступов и определение оптимальных параметров нагнетания жидкости.

4. Оценка эффективности пылевыведения и влияния метода предварительного увлажнения на снижение крепости угольных уступов.

В работе использовался комплексный метод исследований, включающий обобщение практического опыта и обзор имеющихся работ, натурные наблюдения на разрезах, эксперименты в лабораторных и производственных условиях, теоретический анализ.

Работа состоит из 4 глав, содержание которых изложено на 143 страницах машинописного текста, включает 24 таблицы, 33 рисунка и список использованной литературы.

В первой главе рассматривается технология работ на экибастузских угольных разрезах, температурные условия, основные источники пылевыведения и баланс поступления пыли в атмосферу разрезов.

Запыленность воздуха при отсутствии средств борьбы с пылью на рабочих местах в большинстве случаев значительно превышает допустимую норму, а в общей атмосфере она в 2,5 раза выше. При этом 77-98% пылинок имеют размер менее 10 мкм, улавливание которых технически осуществить наиболее трудно.

При работе роторных экскаваторов интенсивность пылевыведения в 10-18 раз выше, чем при работе мехлопат (табл. I). Это объясняется тем, что ротор экскаватора дополнительно разрушает горную массу с выделением до 30% мелочи крупностью 0-6 мм, что в 4 раза выше, чем при работе одноковшовых экскаваторов.

Т а б л и ц а I

Источники пылевыведения	Интенсивность пылевыведения, мг/сек	Удельное значение источников в загрязнении атмосферы, %	
		группы	одного
Погрузка угля мехлопатою в железнодорожные вагоны	730	9,0	0,9
Погрузка породы в думпкары	II150	10,7	1,3
нижняя	635	2,0	0,7
Выемка угля роторным экскаватором с погрузкой в железнодорожные вагоны	II650	29,1	14,5
Бурение оквакин	835	14,0	1,4
по породе	640	9,5	1,0
Работа бульдозеров по устройству дорог и зачистке уступов	2000	10,4	0,4
Движение автомашин по грунтовыми дорогам	3650	15,3	0,8

При современном развитии горных работ на разрезе № 2 поступление пыли в атмосферу при выемке угля роторными экскаваторами составляет 29,1% в общем балансе пылевыведения.

Расчеты показывают, что при внедрении роторных экскаваторов, производительность которых в 3 раза выше применяемых, интенсивность пылевыведения возрастает в 4,5 раза.

В настоящее время максимальная глубина экибастузских разрезов составляет 110 м, а в дальнейшем она достигнет 500 м. При этом изменится схема естественного проветривания разрезов с прямоочной на рециркуляционную, для которой характерно запыле-

ние всей атмосферы при сравнительно небольшой суммарной интенсивности пылевыведения в разрезе, что приведет к резкому ухудшению состава атмосферы.

Учитывая конструктивные особенности роторных экскаваторов, вопрос пылевыведения может решаться двумя путями:

- подавление пыли путем орошения или сухого пылеулавливания во всех местах ее образования (забой, пересып с ленты на ленту и погрузка угля в вагоны);

- повышение влажности угольного массива до момента его вземки путем нагнетания жидкости, обеспечивающее пылеподавление по всей технологической цепочке.

В отличие от первого варианта второй вариант не связан с необходимостью использования средств подавления или улавливания пыли на каждом пункте ее выделения. Поэтому он является наиболее приемлемым, как экономически более выгодный и простой в организационном отношении при практически равной или более высокой эффективности обеспыливания воздуха.

Целесообразность применения метода предварительного увлажнения обусловлена благоприятными климатическими данными (сравнительно длительный период с положительными температурами) и относительно небольшими расходами воды. Расчеты показывают, что на предварительное увлажнение потребуется воды в 5-6 раз меньше, чем на орошение.

Во второй главе дан обзор литературы по теоретическим основам фильтрации жидкости в пористой среде и вопросам, связанным с влиянием некоторых факторов на эффективность предварительного увлажнения угольного массива.

Изучение процесса увлажнения, с точки зрения гидродинамики, дает возможность установить такие гидравлические параметры и характеристики, практическое использование которых позволяет аналитически связать параметры увлажнения и выявить фильтрационные и коллекторские свойства угольных пластов.

Анализ литературных данных показывает следующее: основными составляющими влажности являются адсорбционная, гигроскопическая и гравитационная виды влаги; движение жидкости в массиве зависит от общей и эффективной пористости; основными характеристиками, определяющими фильтрационные и коллекторские свойства угля, являются коэффициент фильтрации K_f и его водопоглощающая способность W .

Коэффициент фильтрации находится по одной из известных в гидравлике методик. Наиболее приемлемым является метод экспоненциального давления, учитывающий влияние на фильтрацию накопления воды и возможную деформацию угля под действием фильтрующейся жидкости, а также аналитически связывающий K_f и W .

Большое влияние на эффективность процесса увлажнения оказывают поверхностно активные вещества. Применение смачивающих добавок повышает проникающую способность жидкости, а следовательно, и эффективность нагнетания ее по фактору пылеподавления и ослабления прочности массива, увеличивает скорости фильтрации и размеры зоны пропитки.

В третьей главе приводятся результаты лабораторных исследований особенностей увлажнения экибастузских углей.

Учитывая сложность строения угольных пластов Экибастузского месторождения, исследовались гидравлические свойства отдельных пачек угля и породных прослоек, их оптимальная влажность по пылевому фактору, общая, адсорбционная и капиллярная влагоемкость, устанавливалась зависимость фильтрационных характеристик от свойств нагнетаемой жидкости и определялось изменение физико-химических и механических свойств угля при увлажнении.

Исследования фильтрационных свойств проводились на образцах размером 50x50x50 мм с помощью прибора ФП конструкции института ИГД им. А.А.Скочинского. Фильтрация жидкости осуществлялась при различных давлениях с учетом анизотропии вдоль и перпендикулярно напластованию.

В качестве фильтрующихся жидкостей были приняты: водопроводная вода; 0,1%-ный раствор смачивателя ДБ; 0,1%-ный раствор смачивателя ДБ + 5% $CaCl_2$ и 1,0%-ный раствор НЧК (нейтрализованный черный контакт).

Зависимость между темпом нагнетания и давлением описывается формулой

$$P = R q^n \text{ н/м}^2, \quad (1)$$

где q - расход просачивающейся жидкости, $\text{м}^3/\text{сек}$;

n - показатель степени, определяющий вид закона гидравлического сопротивления среды при фильтрации в ней жидкости, для экибастузских углей в среднем равен 0,6;

R - коэффициент, характеризующий гидравлическое сопротивление среды, $\frac{\text{н.сек}^n}{\text{м}^{(2+3n)}}$. Для угля при фильтрации параллельно напластованию $R = 7,5$, перпендикулярно ему $R = 14,3$; для породных прослоек соответственно 27,9 и 44,3.

Установлено, что гидравлические и коллекторские свойства угольных пластов Экибастузского месторождения изменяются в широких пределах и зависят в основном от их петрографического строения и анизотропности. Коэффициент фильтрации изменяется в среднем от $0,4 \cdot 10^{-6}$ м/сек до $7,2 \cdot 10^{-6}$ м/сек, причем при нагнетании жидкости в шпур, пробуренный параллельно напластованию он в 2-4 раза выше, чем в случае перпендикулярного расположения шпура, а для породных прослоек на один порядок ниже, чем для угля. Общая влагоемкость углей составляет 10-16%, породных прослоек - 6-10%, а пористость соответственно - 8-12% и 6-8%. Добавки к воде смачивателей (0,1% ДБ и 1,0% НЧК) в 3-4 раза увеличивают проницаемость горной массы.

Адсорбционная влагоемкость исследовалась по методике Думанского с помощью лабораторного рефрактометра. Капиллярное насыщение углей изучалось с применением прибора Догадкина, с учетом анизотропии - по специальной методике на образцах угля.

Максимальное адсорбционное насыщение углей влагой наступает на 5-7 сутки, а капиллярное, в основном заканчивается в первые сутки. Поверхностно активные добавки к воде значительно ускоряют капиллярное насыщение угля жидкостью. Так, при нахождении образца в жидкости, состоящей из 0,1%-ного раствора ДБ и 1,0%-ного раствора НЧК, влагонасыщение его через сутки выше на 2-3%, чем в случае насыщения его водой, а при насыщении его 0,1%-ным раствором ДБ+5,0% CaCl_2 - на 1,0%.

Оценка изменения физико-механических свойств угольных пластов в процессе увлажнения производилась по величине временного сопротивления $\sigma_{сж}$ при одноосном сжатии образцов угля и породных прослоек. Изменение вещественного состава угля определяли путем химического анализа жидкости до и после ее фильтрации через образцы угля.

Установлено, что фильтрация жидкости через уголь сопровождается ионообменом, растворением и вымыванием минеральных и органических примесей, причем степень протекания этих процессов зависит от свойств нагнетаемой жидкости. Наибольшее вымывание примесей наблюдается при увлажнении угля раствором НЧК.

В процессе нагнетания жидкости через образцы происходит ослабление их прочности. На ослабление прочности оказывает влияние степень влагонасыщения, количество вымываемых примесей и

способ увлажнения. В результате исследований установлено, что максимальное водопоглощение (до 2,0% породными и 7-8% угольными образцами) наблюдалось при нагнетании растворов НЧК и ДБ, а наименьшее (до 1,5% и 6,5%) - при увлажнении водой. При этом прочность образцов снижается, в первом случае - на 43-65%, во втором - на 28-36%. При увлажнении методом нагнетания жидкости эффективность ослабления угля на 10-20% выше, чем при капиллярном насыщении.

Оптимальная влажность угля по пылевому фактору определялась на экспериментальной установке, через которую вентилятором с постоянной скоростью протягивалась струя воздуха. В установку подавалась пыль различной влажности и замерялась ее концентрация в потоке. Минимальная запыленность воздуха соответствовала влажности пыли 8-10%, которая и является оптимальной, так как дальнейшее повышение ее существенного снижения запыленности не дает. Результаты лабораторных экспериментов хорошо согласуются со значением оптимальной влажности, полученным расчетным путем по данным запыленности воздуха в разрезе.

В четвертой главе изложены результаты промышленных исследований по выбору способа подачи жидкости в скважину, определению параметров предварительного увлажнения угольных уступов и его влиянию на снижение пылеобразования и прочность угля.

При выемке угля открытым способом уступы очищены от верхних вскрышных пород, имеют две обнаженные плоскости и частично нарушены взрывными работами. Поэтому предварительно исследовались фильтрационные свойства пластов в зависимости от их фактического состояния.

В первых опытах нагнетание жидкости производилось одноступенчато при герметизации скважины только у ее устья. Опыты показали, что вследствие различных гидравлических характеристик уступа по высоте вода распространяется в основном по верхним разгруженным пачкам пласта, не проникая в нижнюю, глубокую часть массива. Поэтому эффективность нагнетания жидкости незначительна. В связи с этим для повышения эффективности увлажнения угольных уступов было предложено применить ступенчатый метод нагнетания, осуществление которого потребовало разработки специального герметизатора с двумя уплотняющими манжетами. Этот метод позволяет изменять длину фильтрующего участка скважины и нагнетать жидкость в отдельные пачки угля с различной степенью трещиноватости и фильт-

рациональными свойствами. При этом угольный массив более равномерно насыщается влагой, а удельный расход воды увеличивается в 10-20 раз.

Фильтрационные свойства угольных уступов исследовались при нагнетании воды и раствора ДБ насосами типа ОН-2 через скважины, пробуренные с верхней площадки уступа. Расстояние от скважины до верхней бровки уступа составляло 30-40 м, а между скважинами - 2-15 м.

Увлажнение продолжалось до момента выхода жидкости на поверхность уступа или в соседние скважины. При этом учитывались расход, давление, характер и радиус распространения воды, время ее нагнетания, структурные составляющие пласта и их крепость, а также влажность угля до и после увлажнения. По данным исследований рассчитывались коэффициент фильтрации, величина пористости и удельное водопоглощение жидкости углем, параметры увлажнения.

В результате исследований установлено, что фильтрационные свойства пласта зависят от места расположения скважин и глубины герметизации. Так, при нагнетании воды в скважины, расположенные на расстоянии 3-5 м от бровки уступа, максимальное давление в 3-4 раза ниже, чем в удаленных на расстояние 10-15 м. В верхней части уступа давление в 1,5-2 раза ниже, чем на его глубине.

В плотной части массива вода распространяется по плоскостям напластования. При этом коэффициент фильтрации колеблется от $2,4 \cdot 10^{-6}$ до $24 \cdot 10^{-6}$ м/сек; эффективная пористость - от $0,10 \cdot 10^{-2}$ до $0,76 \cdot 10^{-2}$; темп нагнетания - от $3,5 \cdot 10^{-4}$ до $16 \cdot 10^{-4}$ м³/сек; давление воды - от 0,4 до 1,5, реже до 2,0 Мн/м². Неравномерное распространение влаги по отдельным плачкам обусловлено различием их степени метаморфизма, зольности и крепости.

Темп нагнетания воды с течением времени увеличивается, что связано с раскрытием крупных трещин в результате скатия мелких и вымывания из угля растворимых солей. При этом давление воды в процессе нагнетания изменяется по следующей зависимости.

$$P = P_0 e^{-\delta t} \quad \text{Мн/м}^2, \quad (2)$$

где P_0 - начальное давление жидкости, Мн/м²

t - время нагнетания, сек;

δ - коэффициент, характеризующий деформацию массива при увлажнении, сек⁻¹. Для экибастузских углей при глубине нагнетания 12 м $\delta = 3,8 \cdot 10^{-4}$, а при глубине 3 м $\delta = 1,4 \cdot 10^{-4}$.

Удельное водопоглощение угля в нижней части уступа ниже, чем в верхней и рассчитывается по формуле

$$W_H = \alpha N^c W_0 \quad \text{м}^3/\text{сек} \cdot \text{м}^2, \quad (3)$$

где W_0 - удельное водопоглощение в верхней части уступа, м³/сек·м². Для Экибастузского месторождения равно $2,5 \cdot 10^{-5}$ м³/сек·м²;

c - эмпирический коэффициент, характеризующий влияние свойств жидкости на удельное водопоглощение угля, величина безразмерная;

N - глубина нагнетания, м;

α - коэффициент размерности, равный 1 м^{-c}.

Коэффициент c имеет следующие значения: $c = -0,46$ для водопроводной воды и $c = -0,41$ для 0,1%-ного раствора смачивателя ДБ.

Удельное водопоглощение угля при нагнетании 0,1%-ного раствора ДБ выше, чем при нагнетании чистой воды и возрастает с глубиной скважины. Смачивающие добавки способствуют созданию равномерного фильтрационного потока высокой плотности, что весьма важно для качественного насыщения водой угольных участков, имеющих неодинаковую структуру и строение пластов. Кроме того, применение их положительно влияет на параметры нагнетания, увеличивает скорость фильтрации и размеры зон увлажнения массива одной скважиной.

Оптимальное давление P_0 подачи воды зависит от физико-механических свойств неослабленного увлажнением массива, характеризующегося его удельным водопоглощением W_H . В общем виде эта зависимость имеет вид

$$P_0 = K_g W_H^{-\psi} \quad \text{Мн/м}^2, \quad (4)$$

где K_g - экспериментальный коэффициент, равный $2,4 \cdot \frac{\text{Мн}}{\text{сек}^{\psi} \cdot \text{м}^{(2-\psi)}}$;

ψ - экспериментальный коэффициент, равный 0,55.

Темп нагнетания в зависимости от физико-механических свойств массива находится по формуле

$$Q_H = K_H W_H^{\xi} \quad \text{м}^3/\text{сек}, \quad (5)$$

где K_H - экспериментальный коэффициент, равный $7,86 \cdot \frac{\text{М}^{(3-\xi)}}{\text{сек}^{(1-\xi)}}$;

ξ - экспериментальный коэффициент, равный 0,56.

Скважины для ступенчатого нагнетания жидкости целесообразно располагать в шахматном порядке. Расстояния между ними определяются по простиранию пласта

$$L = 1.7 R_0 \text{ м,} \quad (6)$$

вкост простирания пласта

$$l = 1.5 R_0 \cos \alpha \text{ м,} \quad (7)$$

где R_0 - оптимальный радиус распространения воды по простиранию пласта, для Экибастузского месторождения составляет 5-7 м;

α - угол падения пласта, град.

Необходимая глубина скважины определяется по формуле

$$l_{\text{скв.}} = \frac{H}{\sin \beta} \text{ м,} \quad (8)$$

где H - высота уступа, м;

β - угол наклона скважины к горизонтальной плоскости, град.

Расстояние между манжетами (длина фильтрующегося участка скважины) должно выбираться с учетом структуры и гидравлической характеристики пласта. Для Экибастузского месторождения, исходя из средней мощности породных прослоек, это расстояние равно $l_{\text{ф}} = 1 \text{ м}$.

Расход воды на увлажнение через одну скважину равен

$$Q = 0,01 \Delta \varphi L l_{\text{скв.}} \gamma \frac{1}{\gamma_{\text{в}}} \text{ м}^3, \quad (9)$$

где $\Delta \varphi$ - планируемое повышение влажности угля, %. Для Экибастузского месторождения равно в среднем 2,5%;

γ - объемный вес угля, т/м³;

$\gamma_{\text{в}}$ - объемный вес воды, т/м³.

Время нагнетания воды через одну скважину находится из выражения

$$t_{\text{скв.}} = \frac{Q}{q_{\text{н}}} + t_1 \cdot \frac{l_{\text{скв.}}}{l_{\text{ф}}} \text{ сек,} \quad (10)$$

где t_1 - время, необходимое для перестановки герметизатора с одной ступени на другую, сек.

Эффективность пылеподавления ступенчатым увлажнением угля определялась при работе роторных экскаваторов, бурении и взрывании скважин. Одновременно анализировался дисперсный состав пыли и рассчитывалось изменение поступления ее в общую атмосферу разреза. Влажность угольного массива доводилась до оптимальной (8%), при этом и учитывалось время адсорбционного насыщения влагой угля.

Интенсивность пылевыделения после увлажнения угля снижается на 70-78%, а запыленность воздуха в кабинах экскаваторов и бурстанков находится в пределах, близких к ПДК. При увлажнении на 20% снижается содержание частиц пыли размером менее 10 мкм и возрастает количество более крупных пылинок. Общее поступление пыли в атмосферу разреза снижается на 23%, а от роторных экскаваторов более чем в 3 раза. Эффективность пылеподавления на 18-20% повышается в результате применения смачивателя ДБ.

Влияние предварительного увлажнения на снижение прочности угольного массива оценивалось по изменению энергоемкости двигателя рабочего органа роторного экскаватора. При этом учитывались физико-механические свойства пласта на увлажненном и неувлажненном участках уступа и степень его нарушенности, толщина снимаемой стружки и скорость поворота роторной стрелы. По опытным замерам рассчитывались приведенные энергозатраты на выемку угля в зависимости от высоты уступа.

Потребляемая мощность регистрировалась самопишущим трехфазным ваттметром переменного тока типа Н-354. Хронометрированием учитывалось время выемки одной тонны горной массы. Во время замеров было погружено около 40,0 тыс. т угля и 6,5 тыс. т породных прослоек.

Исследования показали, что механическая прочность угольного массива изменяется с высотой уступа, причем в верхней части она на 30-40% меньше, чем в нижней.

Удельный расход электроэнергии при выемке угля, увлажненного водой, снижается в среднем на 20%, а увлажненного 0,1%-ным раствором смачивателя ДБ - до 30%. Это позволяет при выемке угля роторными экскаваторами значительно сократить, а в некоторых случаях полностью исключить взрывные работы. Причем скважины, через которые производилось нагнетание жидкости, могут быть использованы и для взрывания массива.

Для увеличения срока сохранения влаги в угольном массиве его необходимо увлажнять раствором смачивателя ДБ с добавками хлористого кальция до 3%. При этом влажность массива сохраняется более месяца.

Промышленные исследования показали, что для обеспечения высокой производительности роторного экскаватора, по увлажненному массиву нагнетание жидкости необходимо производить одновременно через 2-4 скважины. При этом давление воды в скважине должно быть $1,0-2,5 \text{ Мн/м}^2$ и темп нагнетания через одну скважину $0,7 \cdot 10^{-3} - 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}$.

На основании результатов исследований и опыта увлажнения уступов на других разрезах разработаны технико-экономические требования на "Передвижной агрегат для нагнетания жидкости в угольные уступы с целью снижения запыленности воздуха и сопротивления угля экскавации".

В соответствии с постановлением Госкомитета Совета Министров СССР по науке и технике от 15 октября 1970 г. № 400, начиная с 1975 г., намечается серийный выпуск этих агрегатов.

Проведенный анализ затрат показал, что широкое внедрение ступенчатого нагнетания жидкости в угольные уступы, кроме снижения запыленности воздуха до уровня предельно допустимой концентрации, позволит за счет снижения объема взрывных работ получить экономический эффект в размере 41 руб. на тысячу тонн угля, или 123 тыс.руб. в год на один роторный экскаватор в Экибастузском разрезе.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Наиболее интенсивным источником выделения пыли на угольных разрезах Экибастуза является выемка угля роторными экскаваторами, удельное значение которых в общем балансе поступления пыли в разрез превышает 29%. При отсутствии средств борьбы с пылью интенсивность пылевыведения экскаватора типа ЭРГ-400Д составляет 11650 мг/сек , а запыленность воздуха достигает у рабочего органа 4500 мг/м^3 , на пересыпе - 5700 мг/м^3 , на рабочей площадке - 1500 мг/м^3 , в кабине экскаватора - 30 мг/м^3 , и выше. Для обеспыливания работы роторных экскаваторов наиболее рационально использовать нагнетание жидкости в пласты угля.

2. На основе экспериментальных исследований установлены фильтрационные и коллекторские свойства угольных пластов Экибас-

тузского месторождения. Коэффициент фильтрации и эффективная пористость зависят от петрографического строения, анизотропности и степени нарушенности массива и изменяются соответственно K_f - от $2,4 \cdot 10^{-6}$ до $24 \cdot 10^{-6} \text{ м/сек}$, m_3 - от $0,1 \cdot 10^{-2}$ до $0,76 \cdot 10^{-2}$. Общая влагоемкость углей составляет 10-16%, породных прослоек - 5-10%, а пористость, соответственно, 8-12% и 6-8%. Оптимальная влажность угольного массива по снижению пылевыведения, равна 8-10%.

3. В результате исследований впервые применительно к условиям открытых горных работ разработан эффективный метод ступенчатого увлажнения угольных уступов, позволяющий равномерно насыщать влагой отдельные пачки пластов с различными фильтрационными свойствами, снизить запыленность воздуха на 70-80%, а также крепость угольного массива на 20-40%.

4. На основании теоретических и экспериментальных исследований определены оптимальные схемы и режим предварительного увлажнения угля ступенчатым методом и предложены формулы для их расчета. Скважины для нагнетания следует бурить на высоту уступа, располагать их от плоскости откоса уступа не ближе 4-5 м в шахматном порядке. Оптимальное расстояние между скважинами по простиранию пласта равно 10 м, а вкrest простирания зависит от угла падения пласта и рассчитывается по предложенной формуле.

Увлажненный уголь следует вынимать в период максимального адсорбционного насыщения его влагой, т.е. через 5-7 суток после нагнетания жидкости. Эффективность увлажнения может быть повышена на 10-20% за счет применения 0,1%-ного раствора ДБ или 1,0%-ного раствора НЧК, которые увеличивают проницаемость горной массы, уровень влагонасыщения и вымываемость различных примесей.

5. Широкая опытно-промышленная проверка предложенного способа показала, что при работе роторных экскаваторов по увлажненному массиву интенсивность пылевыведения снижается в 4,6 раза, удельное поступление пыли от них - более чем в 3 раза, запыленность воздуха в кабинах - до уровня предельно допустимых концентраций и в 3-7 раз на их рабочих площадках, а энергозатраты на выемку угля - на 20-40%. Последнее позволит значительно уменьшить, а иногда полностью исключить взрывные работы, что даст экономический эффект в размере 40 руб. на 1000 т угля или 240 тыс.руб. в год по Экибастузскому разрезу № 2.

6. Для обеспечения работы роторных экскаваторов по увлажненному углю нагнетание жидкости необходимо производить одновременно в две-четыре скважины с помощью специальных передвижных уста-

новок. Проведенные исследования позволили разработать ТЭТ, на основании которых создается передвижной агрегат для нагнетания жидкости в угольные уступы.

Широкое внедрение разработанного метода увлажнения угольных пластов открывает большие возможности для улучшения санитарно-гигиенических условий труда и технико-экономических показателей работы экскаваторов, повышения их производительности.

Диссертационная работа и отдельные ее разделы докладывались на Всесоюзном совещании по борьбе с пылью на открытых горных работах (г.Москва), на краевой научно-практической конференции по борьбе с силикозом и вибрационной болезнью в горной промышленности (г.Красноярск), на Всесоюзной конференции по разработке месторождений полезных ископаемых в условиях высокогорья и жаркого климата (г.Ташкент), на Ученом совете института НИИОГР, заседаниях Технического совета комбината Экибастузуголь и Каркинского разреза-управления.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих статьях.

1. Снижение запыленности воздуха при работе буровых станков и роторных экскаваторов. - В сб. "Добыча угля открытым способом", № 1, М., ЦНИИУголь, 1968 (соавторы В.С.Ивашкин, К.А.Раздыков).

2. Борьба с пылью при экскаваторных работах на угольных разрезах. - В сб. "Борьба с пылью на открытых горных работах". М., ИГД им. А.А.Скочинского, 1969 (соавтор В.С.Ивашкин).

3. Борьба с угольной пылью путем ступенчатого увлажнения угольных уступов. - "Уголь", 1969, № 3, (соавторы В.С.Ивашкин, И.П.Федотов).

4. Гидрособеспыливание при работе экскаваторов на угольных разрезах. - В сб. "Разработка месторождений полезных ископаемых в условиях высокогорья и жаркого климата". Ташкент, 1969 (соавтор В.С.Ивашкин).

5. Борьба с пылью и газами на угольных разрезах. М., ЦНИИУголь, 1970 (соавторы В.С.Ивашкин, А.П.Красавин).

6. Предварительное увлажнение угольных уступов как средство ослабления крепости угля. - В кн. "Совершенствование технологии открытых горных работ". Челябинск, НИИОГР, 1970 (соавторы В.С.Ивашкин, А.Н.Купин).

7. Ослабление крепости угольных массивов путем нагнетания в них жидкости. - "Уголь", 1971, № 3 (соавтор В.С.Ивашкин).

8. Исследование содержания вредностей в атмосфере угольных разрезов. - В сб. "Тезисы докладов совещания по вопросам пылевого контроля", М., ИГД им.А.А.Скочинского, 1971 (соавторы В.С.Ивашкин, А.Н.Купин).

9. Исследование некоторых особенностей увлажнения экибастузских углей. - В кн. "Профилактика эндогенных пожаров и борьба с пылью на угольных карьерах". Челябинск, НИИОГР, 1971 (соавтор А.Н.Купин).