

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»**

РОЗОНОВ ЕВГЕНИЙ ЮРЬЕВИЧ

**ОХРАНА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК, ПРОЙДЕННЫХ ПО ПЛАСТАМ,
ОПАСНЫМ ПО ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ, НА ОСНОВЕ
ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОНАПОРНОГО ГИДРОВОЗДЕЙСТВИЯ НА
УГЛЕПОРОДНЫЙ МАССИВ**

**Специальность 25.00.22 – «Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)»**

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор РАН

Виталий Андреевич Еременко

Москва - 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ....	8
1.1. Устойчивость подготовительных выработок.....	8
1.2. Способы охраны подготовительных горных выработок	12
1.3. Анализ способов подготовки и систем разработки незащищенных выбросоопасных угольных пластов	16
1.4. Анализ способов предотвращения возникновения выбросоопасных ситуаций в забоях подготовительных выработок.....	19
1.5. Влияние напряженно-деформированного состояния горного массива на устойчивость выработок.....	27
1.6. Цель и задачи исследований	30
Выводы	31
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА	34
2.1. Краткая характеристика объекта исследований	34
2.2. Исследование физико-механических свойств пород кровли выемочного участка 555	38
2.2.1. Общие представления о методах определения свойств пород и напряжениях в массиве.....	38
2.2.2. Отбор образцов пород керна и определение их фактических физико- механических свойств.....	40
2.3. Выявление зон расслоений и трещиноватости массива пород кровли ..	44
2.4. Геофизические исследования горного массива	47
Выводы	50
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА АКТИВНОГО СПОСОБА ОХРАНЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ НАПРАВЛЕННОГО ГИДРОРАЗРЫВА МАССИВА.....	52
3.1. Разработка способа и параметров направленного гидроразрыва горного массива	52
3.2. Результаты испытаний способа направленного гидроразрыва горного массива	58
Выводы	68

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОИНТЕРВАЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА КАК СПОСОБА БОРЬБЫ С ГДЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ	69
4.1. Основные принципы предотвращения внезапных выбросов.....	69
4.2. Управляемое высвобождение энергии горного массива при гидрорыхлении	75
4.3. Разработка рекомендаций применения ориентированного поинтервального гидроразрыва пласта как способа борьбы с ГДЯ при проведении горной выработки.....	78
4.3.1. Общие сведения.....	78
4.3.2. Условия применения и оборудование для ориентированного поинтервального гидроразрыва пласта.....	80
4.3.3. Контроль параметров поинтервального гидроразрыва угольного пласта.....	87
4.3.4. Оценка эффективности способа ориентированного поинтервального гидроразрыва	96
4.3.5. Разработка схем бурения для гидроразрыва в конвейерном штреке 559	98
4.3.6. Результаты опытно-промышленных испытаний технологии поинтервального гидровоздействия для дегазации пласта в подготовительном забое конвейерного штрека 559 шахты «Чертинская- Коксовая»	103
4.4. Исследование изменения давления воды при высоконапорном нагнетании в выбросоопасный пласт	110
Выводы	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	120
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	123
Приложение 1	134
Приложение 2	138

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Горноподготовительные работы играют приоритетную роль в стабильном развитии угольной отрасли. Тенденция их развития заключается в разработке и внедрении высокопроизводительной проходческой технологии. При этом совершенствование способов охраны подготовительных выработок, особенно при проведении их по угольным пластам опасным по газодинамическим явлениям (ГДЯ), остается первостепенной задачей, от успешного решения которой зависят эффективность работы и рентабельность угольной шахты.

Шахтами ООО «ММК-УГОЛЬ» отрабатывается Чертинское угольное месторождение Кузбасса, характеризующееся сложными геодинамическими условиями. Возникают проблемы с обеспечением устойчивости подготовительных горных выработок, т.е. способности выработки функционировать в определенных условиях с заданными параметрами в течение требуемого отрезка времени и, соответственно, стабильности работы выемочных участков высокопроизводительных очистных забоев.

В связи с этим, разработка способа охраны горной выработки, обеспечивающей ее устойчивость при подготовке угольных пластов в сложных геодинамических условиях Чертинского месторождения является актуальной научно-технической задачей.

Цель работы. Разработка технологических решений по охране подготовительных горных выработок при проведении их по угольным пластам, опасным по газодинамическим явлениям, на основе направленного гидроразрыва горного массива и ориентированного поинтервального гидроразрыва угольного пласта.

Идея диссертационной работы заключается в использовании как для охраны горной выработки, так и для предотвращения ГДЯ (выброса угля и газа) технологии высоконапорного гидровоздействия, базирующейся на основе

применения, унифицированного специального горно-шахтного оборудования (высоконапорные насосы, пакеры, герметизаторы, щелеобразователи и т.д.).

Методы исследования. При выполнении исследований использовался комплексный метод, включающий в себя анализ литературных источников по теме исследований, аналитические исследования, шахтные экспериментальные исследования с применением новых технических средств измерения и контроля углепородного массива, методы статистической обработки результатов исследований.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Применение комплекса методов оценки состояния горного массива, включающего электромагнитное зондирование массива, определение физико-механических свойств пород отобранных кернов, а также видеоэндоскопический осмотр скважин существенно повышает оперативность получения достоверной информации о физико-механических свойствах, трещиноватости и о структуре пород кровли на всем протяжении горной выработки, которая необходима для разработки мероприятий по ее поддержанию на участках со сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями.

2. Охрана подготовительных горных выработок, основанная на применении направленного гидроразрыва труднообрушаемой кровли пласта по предварительно нарезанным щелям в массиве, обеспечивает их необходимую устойчивость и исключает деформацию горной крепи.

3. Поинтервальный ориентированный гидроразрыв угольного массива приводит к повышению коллекторских свойств пласта и эффективности его дегазации, при этом давление нагнетания жидкости, близкое к $(1-1,5) \gamma H$, достигается в начальный момент при нагнетании жидкости 15-20 л/(мин·м), что способствует быстрому распространению воды в прилегающем к скважине участке угольного массива и снижению его выбросоопасности.

Новизна основных научных результатов:

1. Установлены параметры поинтервального ориентированного гидроразрыва угольного массива, обеспечивающего снижение

выбросоопасности угольного пласта.

2. Установлены параметры направленного гидроразрыва труднообрушающихся пород кровли, обеспечивающего устойчивость горной выработки.

3. Установлена зависимость давления нагнетаемой воды при гидроразрыве угольного пласта от темпа нагнетания, длины фильтрующей части нагнетательной скважины и напряженного состояния призабойной части пласта.

Достоверность научных результатов, защищаемых в работе **подтверждается:**

- значительным объемом шахтных экспериментальных исследований;
- удовлетворительной сопоставимостью результатов аналитических исследований высоконапорного гидровоздействия на углепородный массив и шахтных экспериментальных работ;
- положительными опытом внедрения способа охраны горных выработок и обеспечивающего предотвращения ГДЯ.

Научное значение работы заключается в установлении рациональных режимов гидровоздействия, обеспечивающих устойчивость горных выработок.

Практическое значение работы заключается в следующем:

- разработан способ охраны горных выработок на основе высоконапорного гидровоздействия на вмещающий пласт горный массив, обеспечивающий устойчивость выработок и сохранность горной крепи;
- разработан способ предотвращения ГДЯ на основе использования метода поинтервального гидроразрыва угольного пласта;
- предложен комплекс высоконапорного горно-шахтного оборудования, обеспечивающий эффективное гидровоздействие на углепородный массив.

Реализация работы. Результаты проведенных исследований использованы при проведении конвейерного штрека 555 и конвейерного штрека 559 в условиях шахты «Чертинская-Коксовая» ООО «ММК-УГОЛЬ».

Апробация работы. Основные положения и содержание работы

докладывались на научных симпозиумах «Неделя горняка» в 2019 и 2020 гг. и научных семинарах КФ АО ВНИМИ.

Личный вклад автора заключается в постановке задач исследования, в разработке способа охраны горных выработок и способа борьбы с выбросами угля и газа, разработке методики шахтных исследований, организации и проведении экспериментальных работ на шахте «Чертинская-Коксовая», в обработке материалов экспериментов и получении основных научных результатов исследований.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений, содержит 24 таблицы, 36 рисунков, список использованных источников из 108 наименований.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Устойчивость подготовительных выработок

Извлечение угля неизбежно влечет за собой нарушение естественного состояния массива горных пород. При этом деформациям подвергаются и угольные пласты. На месторождениях, где угольные пласты содержат газ, ведение горных работ влечет за собой выделение газа в выработки.

Разработка угольных пластов, склонных к самовозгоранию, нередко приводит к подземным пожарам. Указанные, а также некоторые другие природные факторы (как, например, высокая температура горных пород, пылеобразование) создают основные трудности при разработке угольных пластов подземным способом. Степень сложности извлечения угля подземным способом зависит от характера и интенсивности протекания указанных явлений.

В свою очередь, характер и интенсивность протекания этих явлений зависят от природных данных разрабатываемых месторождений (мощности разрабатываемых пластов, свойств угля, состава, структуры и свойств пород, вмещающих пласты и слагающих всю толщу, угла падения, глубины разработки, мощности, числа и степени сближенности смежных пластов и пропластков угля, газоносности, обводненности и степени нарушенности месторождений, наличия и направления трещин кливажа). Однако природные данные разрабатываемых месторождений определяют лишь потенциальную возможность проявления указанных выше процессов. Последние начинают протекать в толще пород лишь в результате проведения горных выработок. Практика показывает, что при прочих равных условиях характер и интенсивность протекания указанных процессов, в свою очередь, обуславливаются применяемыми способами разработки месторождений.

В случае применения различных способов разработки характер и интенсивность проявления указанных природных процессов и степень

осложнения работ по добыче угля будут различными. Все это говорит о том, что в горном деле выбор способов разработки применительно к конкретным условиям, должен базироваться на детальном знании природных данных разрабатываемого месторождения и знании закономерностей протекания указанных процессов при различных способах разработки.

Еще большую остроту вопрос о выборе рациональных способов разработки приобретает для глубоких горизонтов, так как с глубиной трудности работ, обуславливаемые более интенсивным, а иногда и иным характером проявления указанных выше природных явлений, возрастают. В условиях глубоких горизонтов принятие ошибочных решений может резко увеличить себестоимость угля и трудоемкость работ, а также повысить опасность работ или сделать разработку отдельных пластов вообще невозможной.

Наибольшее влияние на устойчивость подготовительных выработок, помимо горно-геологических условий, оказывают горнотехнические факторы, прежде всего схема подготовки и система разработки угольного пласта, а также выбранные способы охраны выработок и тип их крепления [1-3].

К горно-геологическим условиям, влияющим на устойчивость подготовительных выработок следует отнести, прежде всего: глубину горных работ, структуру и свойства вмещающих пород. Увеличение глубины горных работ вызывает, прежде всего, рост напряжений в угле-породном массиве, а также приводит к повышению нагрузок на средства охраны выработок и крепи. Это в свою очередь приводит к росту смещений контура выработки из-за деформаций (вязкопластичных) горных пород [4].

Глубина разработки угольного месторождения, на которой происходит переход горных пород в иное напряженно-деформированное состояние, зависит в большей степени от физико-механических свойств горных пород и угля.

При проходке горной выработки, в горном массиве, некрепкие (слабые) породы переходят в вязкопластическое состояние уже на глубине 400 м, а породы средней крепости на глубине 800 м. Крепкие (прочные) породы не испытывают вязкопластичных деформаций вообще на любой глубине.

Вмещающие горные породы подразделяются по крепости (прочности) на следующие категории: слабые вмещающие горные породы с пределом прочности на сжатие $\delta_{сж} \leq 200$ кгс/см²; вмещающие горные породы средней прочности с $\delta_{сж} = 200 \div 400$ кгс/см²; прочные вмещающие породы с $\delta_{сж} \geq 400$ кгс/см². При отнесении вмещающих горных пород к любой из категорий следует пользоваться средневзвешенным значением $\delta_{сж}$ в пределах толщи горного массива мощностью до 10 м. Эти факторы определяют параметры выбранного способа охраны горной выработки в зависимости от выбранной системы разработки и технологической схемы.

Столбовая система разработки угольных пластов эффективна при проведении горных выработок в горном массиве устойчивых (крепких) пород. При этом трудоемкость поддержания выработок минимальная. В условиях неустойчивых (слабых) вмещающих пород, применение столбовой системы менее эффективно, так как в выработках происходят значительные деформации кровли из-за интенсивного сдвижения пород горного массива.

При сплошной системе разработки угольных пластов, в отличие от столбовой системы, поддержание горной выработки, сооружений позади очистного забоя, находится в более благоприятных условиях, поэтому эту систему очень часто применяют в очень сложных горно-геологических условиях. Поддержание горных выработок менее затратно при сплошной системе, чем при их проходке впереди очистного забоя при столбовой системе и сохранение их для последующего повторного использования по другому назначению [4,5].

Вследствие того, что высокопроизводительные очистные забои, с нагрузкой более 10 тыс. т/сут, как правило, отрабатываются по столбовой системе, задача модернизации способов охраны горных выработок становится весьма актуальной. До сих пор не в полной мере изучены закономерности проявления горного давления во вмещающем массиве при проходке горной выработки. Не определены эффективные параметры крепления спаренных подготовительных выработок, пройденных широким забоем в сложных горно-

геологических условиях, особенно при проведении их по пластам опасным по газодинамическим явлениям (ГДЯ).

Устойчивость горных выработок актуальна, особенно, при проведении их по выбросоопасным угольным пластам. Разработка выбросоопасных пластов производится, как правило, в сложных горно-геологических условиях, что обусловлено большой глубиной работ, высокой газоносностью, тектонической нарушенностью и низкой прочностью призабойного массива. Это обуславливает необходимость применения комплекса специальных мер для их эффективной и безопасной разработки, принятия взаимоувязанных решений по подготовке шахтных полей, применению средств механизации, ведению очистных, подготовительных и профилактических работ в выемочном участке.

В результате анализа, проведенного в работе [6], установлено, что из общего числа внезапных выбросов на пластах с углами падения до 35° около 53% произошло при сплошной и комбинированной системах разработки, 17% - при столбовой системе и 30% - в подготовительных забоях.

Требованиям безопасности и высокой эффективности труда в наибольшей мере отвечают системы разработки длинными столбами по восстанию (падению) и простиранию. Рекомендуемые способы борьбы с газовыделением, базирующиеся на применении прямоточной схемы проветривания выемочных участков с продвижением исходящей струи, предусматривают сохранение одной из выработок позади лавы. В итоге такие схемы, требующие больших затрат на ремонт выработок и проведения дополнительных фланговых наклонных выработок, реализуются в ограниченных объемах [6].

Отмеченные обстоятельства обусловили широкое распространение на выбросоопасных пластах сплошной и комбинированной систем разработки. Последняя преимущественно применяется в варианте «парные штреки», когда лавами прямого хода, отрабатываемыми сплошной системой разработки, подготавливаются выемочные столбы, которые затем отрабатываются обратным ходом столбовой системой. При сплошной системе разработки чаще всего применяется вариант с проведением двух или трех штреков вслед за лавой. На

долю этого варианта приходится около 40% лав, отрабатываемых сплошной и комбинированной системами разработки на пластах с углами падения до 35°. При системе разработки парными штреками число выбросов в лавах, отрабатываемых прямым ходом, значительно выше, чем обратным. В целом же, данная система разработки является менее опасной, чем сплошная [7,8].

Таким образом, на пластах, склонных к внезапным выбросам угля и газа, наряду со столбовой широкое распространение, в настоящее время, имеют комбинированная, в варианте «парные штреки» и сплошная системы разработки. Для создания эффективных средств проведения выработок уровень применения этих систем остается достаточно высоким. Поэтому необходимо изыскивать возможности совершенствования сплошной системы разработки до уровня, при котором она по фактору внезапных выбросов и по технико-экономическим показателям не будет уступать столбовой системе разработки [9-12].

1.2. Способы охраны подготовительных горных выработок

Способ подготовки и система разработки определяют вид способов охраны, которые могут быть применены для каждой технологической схемы [13-20].

Охрана выработки по способу «массив-массив» обеспечивает надежное поддержание выработок при наличии слабых вмещающих пород на глубинах до 400 м, в породах средней прочности – до 800 м и в прочных породах – более 800 м. На глубинах более 400 м в слабых породах и более 800 м в породах средней прочности, склонных к пучению, при охране выработок по способу «массив-массив» надежное поддержание выработок не обеспечивается. В этих случаях при разработке тонких пластов предусмотрено применение сплошной системы разработки. При этом выработки проходятся позади очистного забоя и охраняются двухсторонними бутовыми полосами или разгрузочными бермами. На пластах средней мощности следует производить разгрузку пород вокруг выработок, пройденных узким ходом, путем бурения разгрузочных скважин.

В качестве вентиляционных выемочных выработок при столбовой системе разработки могут использоваться бывшие конвейерные выемочные выработки, поддерживаемые позади лав, либо они могут быть пройдены вновь вприсечку к выработанному пространству или с оставлением целика между сложными лавами. В первом случае для охраны выработки со стороны выработанного пространства выкладываются бутовые полосы или устанавливаются сборные железобетонные тумбы или органная крепь. Первые два способа применимы при мощности пласта до 1,5 м.

Органную крепь следует применять при легкообрушающейся кровле и прочной почве, не допускающей вдавливания стоек. Железобетонные тумбы необходимо применять при породах кровли средней обрушаемости и прочной почве. При труднообрушающейся кровле и слабой почве следует применять бутовые полосы или околострековые полосы из быстротвердеющих материалов.

При разработке пластов мощностью свыше 1,5 м вентиляционные выемочные выработки следует проходить вприсечку к выработанному пространству.

При наличии разгрузочных скважин проведение выработки вприсечку должно производиться по разгруженному массиву. В исключительных случаях при несамовозгорающихся углях выемочные выработки можно проходить спаренными с оставлением между ними угольного целика. При наличии пучащихся пород необходимо производить их разгрузку путем бурения разгрузочных скважин в целике и массиве. В случае необходимости подсыхания вентиляционной струи выемочные выработки необходимо поддерживать посреди лавы. В этом случае они должны охраняться со стороны выработанного пространства бутовыми полосами, железобетонными тумбами, органной крепью или околострековыми полосами из упрочненного закладочного материала.

Параметры средств охраны подготовительных выработок принимаются следующими:

1. Длина разгрузочных скважин должна составлять 6-8 м, их диаметр – 250-300 мм, а расстояние между центрами скважин – 450-500 мм.

2. При бурении разгрузочных скважин в целиках ширина центральной неразбуренной части целика должна быть не менее 8 м.

3. Отставание забоя проводимой вприсечку выработки от очистного забоя должно быть не менее 100 м.

4. Ширина бутовых полос при использовании откаточного штрека в качестве вентиляционного должна составлять не менее 5 м на пластах мощностью до 1 м и не менее 8 м на пластах мощностью 1-1,5 м.

5. Ширина бутовых полос при сплошной системе разработки и охране штреков двухсторонними бутовыми полосами определяется исходя из объема породы, полученной при проведении выработки. При этом ширина бутовой полосы со стороны массива (целика) должна быть не более 4 м.

6. Податливость сборных железобетонных тумб, создаваемая за счет деревянных подкладок, должна составлять 150-200 мм.

7. При охране выработок при помощи разгрузочных берм ширина последних должна составлять 3-4 м.

8. Полевые штреки следует располагать по возможности в прочных породах в зоне разгрузки под выработанным пространством. На пологих пластах они должны находиться на расстоянии не менее 4 м от нормали к пласту, проведенной через кромку массива. На тонких и средней мощности крутых пластах расстояние от полевого штрека до пласта по горизонтали не менее 20 м, а на мощных крутых пластах: не менее 10 м – в прочных, 15 м – средней прочности и 20 м – слабых породах.

Предусмотренные в технологических схемах способы охраны выработок определяют следующую величину запаса на осадку выработки по высоте: при использовании податливых арочных металлических крепей – согласно данным таблицы 1.1, при использовании трапециевидных металлических крепей не должен превышать 0,15.

Таблица 1.1 – Величина запаса на осадку выработки

Выработки и условия их поддержания	Запас на осадку выработки по высоте от вынимаемой мощности пласта
<p><u>При столбовой системе разработки тонких и средней мощности пластов:</u></p> <p>1. Откаточные штреки при работе по простиранию, транспортные бремсберги и уклоны при работе по падению и восстановлению и промежуточные выработки разделенных лав проходятся узких ходом и охраняются по способу «массив-массив»</p> <p>2. Откаточные штреки (транспортные бремсберги и уклоны), проводимые в массиве угля и охраняемые разгрузочными скважинами</p> <p>3. Откаточные штреки (транспортные бремсберги и уклоны), используемые повторно в качестве вентиляционных (бортовых) и охраняемые со стороны выработанного пространства:</p> <ul style="list-style-type: none"> - бутовыми полосами - органной крепью и железобетонными тумбами - жесткими околострековыми полосами <p>4. Вентиляционные штреки (бортовые бремсберги и уклоны), охраняемые целиками, оставляемыми между смежными лавами</p> <p>5. Вентиляционные штреки (транспортные бремсберги и уклоны), охраняемые целиками угля, с бурением разгрузочных скважин</p> <p>6. Проведение выработок вприсечку к выработанному пространству</p> <p>7. Проведение выработок вприсечку по разгруженному массиву</p> <p>8. Средняя выработка спаренных лав, поддерживаемая в целиках и погашаемая за забоем лавы на расстоянии 5-7 м</p>	<p>0,3</p> <p>0,5-0,6 0,4-0,5 0,3</p> <p>0,4</p> <p>0,5</p> <p>0,6</p> <p>0,5-0,6</p>

Продолжение таблицы 1.1

9. Полевые выработки, располагаемые в прочных породах в зоне разгрузки (под вентиляционным пространством)	400 мм
10. Пластовые штреки, проводимые БЗК-2 и охраняемые скважинами с закладкой в них породы	0,3
<u>При сплошной и комбинированной системах разработки:</u> 1. Выработки проводятся вслед за лавой и охраняются: - двухсторонними бутовыми полосами - разгрузочными бермами 2. Проведение выработок вприсечку 3. Проведение выработок вприсечку по разгруженному массиву	0,5-0,6 0,4-0,5 0,5 0,6

1.3. Анализ способов подготовки и систем разработки незащищенных выбросоопасных угольных пластов

Разработка выбросоопасных угольных пластов производится, как правило, в сложных горно-геологических условиях, что обусловлено большой глубиной работ, высокой газоносностью, тектонической нарушенностью и малой прочностью призабойного массива. Это обуславливает необходимость применения комплекса специальных мер для их эффективной и безопасной разработки, принятия взаимоувязанных решений по подготовке шахтных полей, применению средств механизации, ведению очистных, подготовительных и профилактических работ в выемочном участке [21-23].

Результаты выполненных исследований напряженного состояния горного массива позволили установить следующее [22,23]:

- концентрация напряжений в опорной зоне пласта может меняться в широких пределах в зависимости от физико-механических свойств вмещающих пород массива;

- в опорной зоне пласта напряжения определяются конвергенцией между почвой и кровлей;
- величина конвергенции между почвой и кровлей изменяется в широком диапазоне;
- при отсутствии конвергенции между почвой и кровлей концентрация напряжений не наблюдается;
- если массив пород зависает, концентрация напряжений растет;
- если увеличивается нагрузка на угольный пласт, максимум напряжений приближается к забою;

В настоящее время вопросы применения на выбросоопасных пластах способов подготовки и систем разработки, наиболее соответствующих условиям их безопасной и эффективной отработки, решены не в полной мере. При разработке пологих и наклонных пластов, склонных к внезапным выбросам, наибольшее распространение получили этажный (45%) и панельный (37%) способы подготовки шахтных полей, наименьшее - погоризонтный (18%).

Наиболее перспективным как для выбросоопасных, так и вообще для пологих пластов с углами залегания до $12-18^\circ$ является погоризонтный способ подготовки. В настоящее время он эффективно применяется при углах падения пластов до 18° . Погоризонтный способ подготовки с отработкой пластов лавами по восстанию или падению имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с панельным и особенно этажным в планировке горных работ, которые обеспечивают: сокращение срока подготовки новых горизонтов и пластов и соответственно уменьшение объема первоначальных капитальных вложений; высокую концентрацию горных работ благодаря повышению нагрузки на пласт и основную транспортную выработку; более простые схемы транспорта и особенно вентиляции вследствие возможности осуществления прямоочного проветривания с подсыжеением исходящей струи и др.

Область применения погоризонтного способа подготовки ограничена техническими возможностями существующих средств механизации очистных работ и охватывает только нижний диапазон пологих пластов (до $8-10^\circ$). Для

применения погоризонтного способа подготовки на пластах с углами падения до 18° необходимо создать специальное оборудование. В то же время его следует применять на всех шахтах, разрабатывающих на глубоких горизонтах особо опасные по выбросам пласты, проведение подготовительных выработок на которых значительно осложнено из-за проявлений внезапных выбросов.

Заслуживает внимания тот факт, что при сплошной системе разработки свыше 60% всех произошедших в лавах выбросов приходится на участки, примыкающие к штрекам, а 40% из них зарегистрировано напротив бутовых полос, что свидетельствует о формировании здесь зон повышенной выбросоопасности.

На пластах с углами падения свыше 35° , где из незащищенных выбросоопасных пластов было добыто в 3-3,5 раза меньше угля, чем при разработке выбросоопасных пологих пластов, за указанный период произошло более половины (56%) всех внезапных выбросов. При этом самым опасным на крутых пластах является процесс проведения подготовительных выработок. Наиболее безопасна система разработки длинными полосами по падению, которая нашла применение в 33% лав [21].

Требованиям безопасности и высокой эффективности труда в наибольшей мере отвечают системы разработки длинными столбами по восстанию (падению) и простиранию. Однако на их долю приходилось только около 39% лав на пологих и наклонных пластах и 31% лав на пластах с углами падения более 35° , на долю комбинированных систем разработки соответственно – 14 и 13% и сплошных – 47 и 56% [22].

Несмотря на общеизвестные преимущества столбовой системы разработки по сравнению со сплошной и комбинированной, долевое участие ее по числу отрабатываемых лав на выбросоопасных пластах с углами падения до 35° в 1,6 раза ниже, чем в целом по шахтам. Так как скорость проведения выработок, которые при применении буровзрывного способа в режиме сотрясательного взрывания составляют 30-60 м/с. В результате этого сроки подготовки новых горизонтов и участков в 1,2-2 раза превышают нормативные. Кроме того,

рекомендуемые способы борьбы с газовыделением на выемочном участке, базирующиеся на применении прямоточной схемы проветривания с подсыжением исходящей струи, предусматривают сохранение одной из выработок позади лавы. В итоге такие схемы, требующие больших затрат на ремонт выработок и проведение дополнительных фланговых наклонных выработок, реализуются в ограниченных объемах.

1.4. Анализ способов предотвращения возникновения выбросоопасных ситуаций в забоях подготовительных выработок

Выбор способов предотвращения газодинамических явления в угольных шахтах должен производиться исходя из следующих основных принципов: эффективность (надежность) и безопасность осуществления.

Эффективность способа (имеется ввиду эффективность проектируемая, а не фактически достигнутая в каждом конкретном забое) зависит, прежде всего, от того, соответствует или нет данный способ вероятному типу газодинамического явления, установленному на основании дифференцированного текущего прогноза.

Выбросы иногда возникают в процессе гидровывывания опережающих полостей в пачке интенсивно тектонически нарушенного угля (например, внезапный выброс 168 т угля и 8440 м³ метана в забое просека II параллельного штрека на участке №2 по пласту Владимировскому шахты "Северная" 20.07.78 г. при гидровывывании первой полости без предварительной перетяжки забоя, или спровоцированный в этом же забое недоразвившийся внезапный выброс в процессе нагнетания воды через гидроствол, пережатый и заштыбованный в полости гидровывывания, при котором прочная перетяжка забоя частично сдержала напор выдвигаемого угля, но была деформирована - сдвинута от забоя металлическая крепь на протяжении нескольких метров и на участок выделилось несколько тысяч кубических метров метана [24].

Известны случаи выбросов угля и газа, инициированных гидроотжимом угольного пласта. В процессе бурения разгрузочных скважин, гидрорыхления пласта и камуфлетного взрывания возможны горные удары и т.д.

При положительном значении показателя газовой активности в пласте в призабойной части R_r способы предотвращения газодинамических явлений должны, в основном, устранять возможность газа реализовать такие явления, как внезапный выброс газа и угля. Эти способы региональной или локальной дегазации пласта скважинами как малого (дегазационными или разведочно-дегазационными), так и большого (опережающими) диаметра и полостями (например, создаваемыми гидровывыванием) [24-26].

При отрицательном значении показателя R_r , и при достаточно низком для проявления горных ударов или внезапных высыпаний угля значении показателя динамической устойчивости пласта в призабойной части $R_y \leq 3$ способы должны снижать напряженность пласта за счет уменьшения напряжений, создаваемых горным давлением (ПГД или опорным), и увеличения протяженности области предельного напряженного состояния пласта впереди забоя выработки путем частичного разрушения угольного массива скважинами (разгрузочными), высокими напорами закачиваемой воды или энергией взрыва ВВ, или, в случае опасности высыпания, создавать препятствие гравитационным силами путем удержания нависающего угольного массива передовой крепью или предохранительными щитами, или путем повышения связности массива за счет его пропитки связывающими растворами.

Действующая «Инструкция...» [27] регламентирует большое число способов активного воздействия на угольный пласт. Как показала практика, не все эти способы соответствуют указанным принципам применительно к условиям Кузбасса. Для предотвращения внезапных выбросов в подготовительных выработках наиболее целесообразными следует признать следующие способы [28-30]:

- опережающая разработка защитных угольных пластов;
- дегазация пластов скважинами с последующим увлажнением;

- увлажнение угольных пластов;
- дегазация угольных пластов;
- гидровывывание опережающих полостей (щелей);
- бурение опережающих скважин.

Опережающая разработка защитных пластов (надработка или подработка опасной зоны пласта) представляет универсальный способ снижения сил газового давления в пласте и напряженности пласта. Опережающую разработку защитных пластов желательно осуществлять для зон любой степени газодинамической опасности.

В незащищенных опережающей разработкой защитных пластов зонах должны применяться прежде всего другие региональные способы предотвращения газодинамических явлений (дегазация, увлажнение угольных пластов), а при невозможности их осуществления - локальные способы, причем предпочтение должно отдаваться наиболее эффективным способам.

Параметры способов предотвращения газодинамических явлений должны определяться из условия изменения показателей газодинамической опасности до безопасного уровня в пределах зон неснижаемого опережения и боковой обработки пласта, т.е. впереди и с боков проводимой выработки. При этом целесообразно учитывать экономический фактор.

В отличие от дегазации обычных высокогазоносных пластов и увлажнения пластов, например, для снижения пылеобразования, специфика склонных к внезапным выбросам (и внезапным выдавливаниям) угольных пластов предопределяет необходимость снижения давления газа в пласте или повышения влажности угля до выбросоопасных уровней, количественные значения которых будут указаны ниже.

Технические возможности увлажнения пластов по предотвращению выбросов должны оцениваться со следующих позиций. Чем менее опасна по внезапным выбросам зона пласта, тем легче осуществить ее увлажнение. С повышением выбросоопасности зоны пласта, а она растет по мере увеличения сложности тектонического строения пласта и угленосной толщи в целом,

возрастают трудности бурения профилактических скважин, их герметизации, воды без преждевременного прорыва ее в горные выработки равномерного распространения воды в прилегающих к скважинам угольного массива и др. Для равномерной пропитки наиболее выбросоопасных зон крупных дизъюнктивных нарушений потребуются месяцы нагнетания воды. Пример тому - крупнейший в мире внезапный выброс 14 тыс. т угля и 250 тыс. м³ метана на шахте им. Гагарина при вскрытии квершлагом пласта, в который до вскрытия в течение 2,5 месяцев было закачено 150 м³ воды. В месте вскрытия обнаружено несколько разрывных нарушений, по которым, по-видимому, уходила вода, подаваемая в пласт [28].

Учитывая ограниченные возможности региональной дегазации из-за весьма низкой газопроницаемости неразгруженных выбросоопасных пластов и трудности равномерного увлажнения таких пластов, вопрос совместного применения этих способов может рассматриваться в следующей плоскости: если пласт недодегазирован, то он должен быть доувлажнен; чем больше степень дегазации, тем в меньшей степени его требуется увлажнять, и наоборот.

Как показывает практика, в крупных дизъюнктивных нарушениях с разрывом сплошности пластов, оптимально провести дегазацию и не нагнетать в них жидкость, так как возможно, что вода уйдет в трещины, не увлажнив пласт равномерно до требуемого предела [29-31].

Дегазация предпочтительна при возможности бурения скважин с подъемом на восстание для устранения влияния воды, снижающей газоотдачу угольного массива, при условии длительного сохранения скважин в эксплуатации. Если давление газа в пластах высоко и снижение его до безопасного предела в приемлемые для шахты сроки дегазацией невозможно, целесообразно сочетать предварительную дегазацию с последующим увлажнением пласта через одни и те же скважины. При этом следует иметь в виду, что снижение давления газа в пласте за счет дегазации ускоряет процесс последующего его увлажнения.

Нисходящие скважины, например, пробуренные с подготавливаемого вентиляционного горизонта или из откаточного штрека или квершлага на

действующем откаточном горизонте задолго до начала подготовки нижнего горизонта целесообразно использовать для увлажнения пласта, так как эти скважины, в результате заполнения их водой, при дегазации дают низкий дебит газа. Увлажнение может быть эффективно применено для предотвращения выбросов при проходке наклонных выработок по падению на крутых и наклонных пластах в слабо тектонически нарушенных зонах и т.п.

Это, так сказать, основные принципы априорного выбора способов региональной профилактической обработки выбросоопасных пластов.

Предотвращение выбросов в забоях подготовительных выработок, пройденных по угольному пласту, достигается по средствам разгрузки прилегающего к забою горного массива от напряжений, а также эффективной дегазации пласта в районе проходки пластовой горной выработки.

В зависимости от особенностей горно-геологических условий применяются различные способы воздействия на опасный пласт при проведении подготовительных (пластовых) выработок [32-34]:

- бурение опережающих разгружающе-дегазирующих скважин по пласту;
- создание разгрузочных щелей и пазов;
- барьерно-ограждающая предварительная дегазация пласта длинными скважинами;
- гидровывод опережающих полостей;
- гидроотжим пласта;
- гидроразрыв угольного пласта.

Остановимся на способах, получивших определенную апробацию на шахтах и давших положительные результаты по предотвращению выбросов.

Опережающие скважины. Бурятся из забоя выработки длинные опережающие скважины (ДОС) по пласту нормально к линии забоя, попадают в область повышенных напряжений. Вокруг ДОС возникает собственная область концентрации напряжений, которая вносит изменения в зону повышенных напряжений впереди подготовительной (пластовой) выработки, что приводит к перемещению зоны повышенного горного давления вглубь угольного массива

[35-36]. Установлено, что с уменьшением диаметра ДОС, а также с увеличением прочности угля снижаются размеры зоны локальной разгрузки угольного пласта [37].

Радиус зоны влияния ДОС можно определить по зависимости [35-36]:

$$R = d \left(k + f \sqrt{\frac{t + P_6}{P_0 - P_6}} \right), \text{ м}$$

где: d – диаметр дегазационной скважины, м;

k – коэффициент, учитывающий образование зоны дегазации при бурении скважины при бурении;

f – постоянная, характеризующая фильтрационные свойства угольного пласта;

t – время эффективной дегазации;

P_0 – начальное давление газа в пласте, МПа;

P_6 – безопасный предел давления метана, МПа.

Производственный опыт показал, что оптимальный диаметр ДОС составляет 100-120 мм, при котором вероятность выброса в 2-3 раза меньше, чем при ДОС 250-300 мм, а эффективность пластовой дегазации практически та же. Эффективность защитного действия ДОС зависит от размера создаваемой ими зоны предельного состояния. Следует отметить, что способ ДОС не всегда является надежным и не исключает выбросоопасность пласта.

Гидровывод пласта. Гидровывод полостей впереди подготовительного забоя, посредством высоконапорных струй воды, по механизму воздействия на угольный пласт незначительно отличается от ДОС. При вскрытии высокоопасных пластов гидровывод полостей впереди забоя, производится через скважины длиной до 15 м и диаметром 100-250 мм, с помощью специального скважинного гидромонитора. Этот способ борьбы с выбросами эффективен лишь при наличии в угольном пласте пачки угля малой прочности, который, как правило, перемят.

Гидроотжим пласта. Гидроотжим призабойной зоны угольного пласта

заключается в высоконапорном нагнетании жидкости (воды) в пласт, впереди забоя подготовительной выработки, с целью разгрузки пласта за счет деформации угольного массива и отжима пласта в призабойной части подготовительной выработки, пройденной по угольному пласту [38-40].

Гидроотжим пласта приводит к снижению несущей способности пласта в зоне диспергирования угля, а также к перераспределению горного давления. Происходит перемещение максимальной величины напряжений вглубь угольного массива, на величину равную ширине отжима. Кроме этого, происходит снижение давления газа (метана) в пласте в районе забоя подготовительной горной выработки (см. рисунок 1.1) [39]. Установлено, что величина и скорость деформации угольного массива растет с увеличением расхода жидкости и с уменьшением длины герметизации, а также зависит от режима закачки воды, т.е. объема воды, времени и темпа нагнетания жидкости через скважины в пласт.

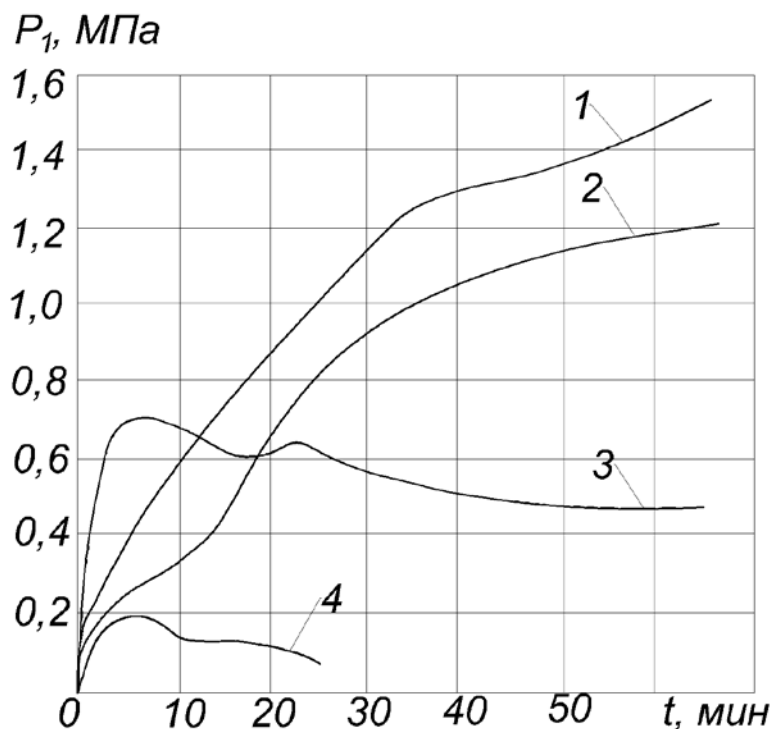


Рисунок 1.1 - Зависимость величины давления метана от длительности гидроотжима призабойной зоны пологого выбросоопасного угольного пласта (Кузбасс, шахта «Чертинская», пласт №4 мощностью 1,5 м, глубина шпуров для нагнетания воды 3,5 м):

1, 2 – до гидроотжима; 3, 4 – после гидроотжима

Гидрорезание угольного пласта. Гидрорезание пласта (см. рисунок 1.2) перед подготовительной выработкой осуществляется с целью интенсификации процесса дегазации угля высокогазоносных пластов. В результате воздействия в пласте создается щель длиной до 150 м и шириной до 2,0 м, что приводит к разгрузке угольного массива от горного давления.

Гидрорезание угольного пласта производится обратным ходом, т.е. от забоя скважины к забою подготовительной выработки. Гидрорезание осуществляется с помощью гидроперфоратора АП-6М, используемого в нефтедобыче. Этот способ доводит эффективность пластовой дегазации до 80-90%, что позволяет увеличить темпы проведения подготовительных горных выработок на 20-30% [39].

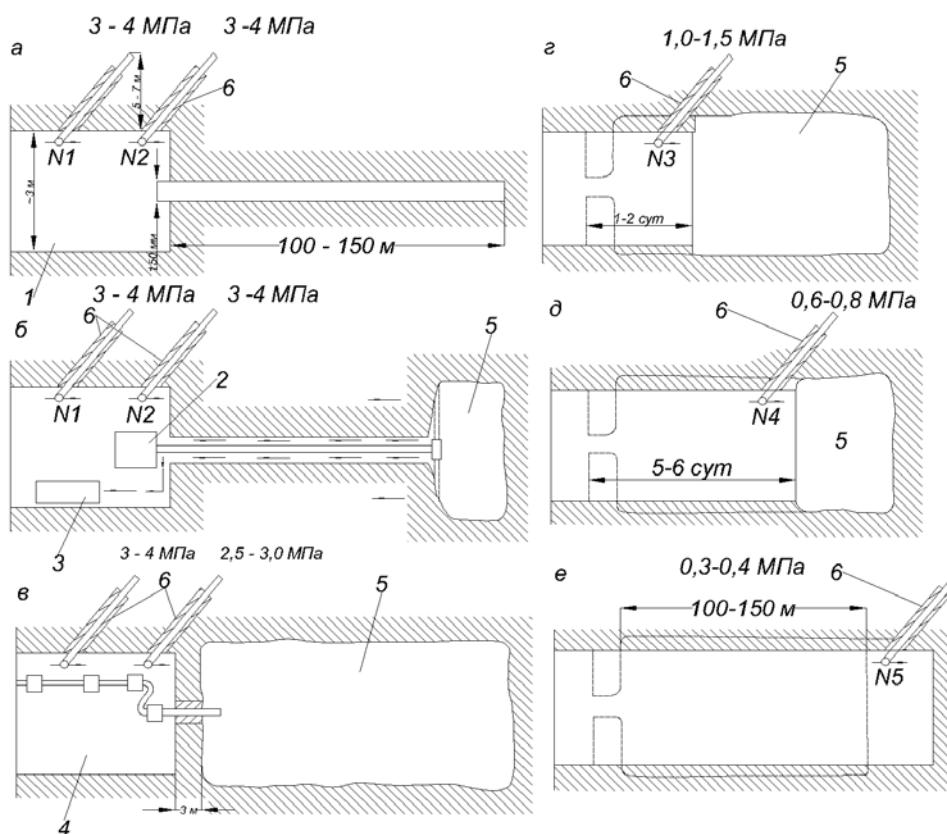


Рисунок 1.2 - Последовательность и результаты передовой обработки выбороопасного пласта гидрорезанием при проведении штрека:

а – бурение опережающей скважины; *б* – начало гидрорезания пласта; *в* – образование гидрощели; *г*, *д*, *е* – этапы проведения штрека по обработанному пласту; *1* – штрек; *2* – высоконапорный насос; *3* – штыбсорбник; *4* – газопровод; *5* – щель, полость; *6* – скважины для замера давления газа

1.5. Влияние напряженно-деформированного состояния горного массива на устойчивость выработок

В механике горного массива одним из объектов исследования являются подготовительные и очистные выработки.

Деформация выработки, по-видимому, может произойти при следующих обстоятельствах:

- достижение возле выработки пределов прочности горных пород;
- достижение предельного напряженно-деформированного состояния массива, приводящего к потере его устойчивости в районе выработки с последующими разрушениями.

Эти вопросы для различных моделей горных пород рассмотрены в работах и частично в многочисленных монографиях по концентрации напряжений около отверстий. В то же время, исследованию второй ситуации посвящены лишь отдельные статьи. Имеющее же место существенно, трехмерное, или двухмерное (в случае плоских и осесимметричных задач) напряженно-деформированное состояние возле выработок практически исключает возможность применения теории устойчивости пластин и оболочек к исследованию рассматриваемой проблемы. Изложенные обстоятельства свидетельствуют о том, что в достаточно строгой постановке проблема устойчивости состояния равновесия горного массива возле выработок остается неразработанной [41-43].

Исследования напряженно-деформированного состояния традиционно занимают центральное место в кругу вопросов механики горных пород, относящихся к горным выработкам. Отмеченная тенденция способствовала, по-видимому, появлению в механике горных пород термина «устойчивость выработок», под которым в большинстве случаев понимается определение напряженно-деформированного состояния возле выработки, а также оценка его с точки зрения теорий прочности. В таком аспекте вопрос об устойчивости состояния равновесия возле горных выработок не только не исследуется, но даже не ставится, хотя потеря устойчивости напряженного массива возле горной

выработки может быть началом разрушения, в частности, при пластических деформациях, в силу существенной концентрации сжимающих или растягивающих напряжений. Характер потери устойчивости возле горной выработки вытекает из характера концентрации напряжений, прежде всего сжимающих.

Интерпретация исследований устойчивости состояния равновесия массива возле выработки как применение своеобразного интегрального (глобального) критерия прочности может служить одним из доказательств целесообразности таких исследований для получения информации о возможных разрушениях. Потерю устойчивости горного массива возле горной выработки можно считать одной из причин возникновения газодинамического явления. Исследования устойчивости состояния равновесия массива возле выработки имеют также и самостоятельное значение с точки зрения оценки деформативности контура выработки. Известно, что при потере устойчивости появляются значительные перемещения и деформации, величины которых в докритическом состоянии значительно меньше других перемещений и деформаций. Это обстоятельство приводит к тому, что контур выработки может принимать форму, которую нельзя определить путем решения геометрически линейной задачи о напряженно-деформированном состоянии. Следовательно, рекомендации по конструированию крепи, полученные на основании анализа результатов решения геометрически линейных задач по определению напряженно-деформированного состояния, могут оказаться неверными в силу отмеченной особенности. В связи с этим критические значения, найденные на основании решения задач об устойчивости состояния равновесия массива возле выработки, могут быть основой для установления пределов, в которых справедливы рекомендации по конструированию крепи, полученные на основании анализа результатов решения указанных геометрически линейных задач. Существуют и другие соображения, свидетельствующие о целесообразности исследований устойчивости горного массива возле выработок.

Для проектирования и строительства новых шахт, а также реконструкции

старых с целью ведения добычи угля на глубоких горизонтах в широких масштабах требуются большие капиталовложения, а поэтому важно заранее знать горно-геологические условия их эксплуатации, в частности поведение пород в будущих горных выработках.

До последнего времени в геологических отчетах по разведваемым участкам приводились весьма приближенные сведения об устойчивости пород и в основном по аналогии с ближайшими действующими шахтами, причем часто без достаточного научного обоснования.

С этим еще можно было мириться при строительстве сравнительно неглубоких шахт, но при глубине их 700-800м и как предполагается в дальнейшем - 1200-1400 м и производственной мощности свыше 10 тыс. тонн угля в сутки - требуются достаточно обоснованные данные о горно-геологических условиях эксплуатации, необходимые для правильного выбора места заложения ствола шахты, системы разработки, сечения капитальных и подготовительных выработок, конструкции и технологии их крепления и т.д. Для этого по разведочным данным должны быть определены все основные геологические факторы, влияющие на поведение пород в горных выработках, в том числе такие, как петрографический состав вмещающих пород, их вторичные изменения на различных стадиях метаморфизма углей, физико-механические свойства, мощности пластовых отдельностей в кровле (наряду с расслоением), трещиноватость, обводненность и газообильность месторождения и др.

В настоящее время в России многие ученые занимаются исследованием геологических факторов и их влияние на поведение пород в горных выработках, а также вопросами прогнозирования на глубокие горизонты. В значительных масштабах ведутся исследования напряжений внутри массива вмещающих пород с тем, чтобы глубже изучить природу и величину горного давления, и многие другие работы, имеющие в конечном счете одну цель – обеспечить безопасность добычи угля на глубоких горизонтах.

В данное время независимо друг от друга разрабатываются три основных метода изучения поведения пород в массиве: аналитический, моделирования

эквивалентных материалов и метод непосредственных наблюдений в шахте вблизи действующих горных выработок в сходной геолого-петрографической среде.

Аналитический метод разрабатывается математиками, которые в основу определения устойчивости пород кладут механику сплошной среды. Метод моделирования эквивалентных материалов широко поставлен в таких крупных научных учреждениях, как ВНИМИ, ИГД им. А.А. Скочинского.

Существующий до сих пор чисто описательный характер геологических факторов не может быть принят в какие-либо математические расчеты для выбора того или иного способа разработки. Естественно, что не удовлетворяют такие характеристики устойчивости пород массива и пласта, как «весьма устойчивые», хотя эти понятия в некоторой степени и отражают поведение пород в горных выработках.

Таким образом, прямая задача геологов – по керну разведочных скважин дать количественную характеристику основных геологических факторов в массиве вмещающих пород, а также количественную оценку потенциальных возможностей устойчивости кровли и почвы угольного пласта, которые в дальнейшем и определяют поведение пород в выработке.

1.6. Цель и задачи исследований

На основании проведенного анализа различных способов охраны горных выработок и способов борьбы с газодинамическими явлениями в диссертационной работе ставятся следующие цель и задачи исследований:

Цель работы – повышение устойчивости подготовительных горных выработок, пройденных по пластам опасным по газодинамическим условиям на основе применения технологии высоконапорного гидровоздействия на углепородный массив.

Задачи исследований:

1. Анализ состояния вопроса повышения устойчивости подготовительных

горных выработок, пройденных по пластам опасным по выбросам угля и газа.

2. Исследование состояния горного массива в условиях шахты «Чертинская-Коксовая» при проведении конвейерного штрека 555, на основе применения комплекса методов, включающего электромагнитное зондирование массива, отбор кернов с последующим определением физико-механических свойств пород, а также видеоэндоскопический осмотр скважин.

3. Разработка способа охраны подготовительных горных выработок, на основе применения направленного гидроразрыва труднообрушаемой кровли пласта.

4. Разработка способа поинтервального ориентированного гидроразрыва угольного пласта с целью снижения выбросоопасности угольного пласта при проведении подготовительных горных выработок.

5. Исследование процесса высоконапорного нагнетания воды в пласт и горный массив и установление закономерностей гидрорыхления угольного массива, для выбора его оптимальных режимов.

Выводы

1. Наибольшее влияние на устойчивость подготовительных выработок, помимо горно-геологических условий, оказывают горнотехнические факторы, прежде всего схема подготовки и система разработки угольного пласта, а также выбранные способы охраны выработок и тип их крепления. К горно-геологическим условиям, влияющим на устойчивость подготовительных выработок следует отнести, прежде всего: глубину горных работ, структуру и свойства вмещающих пород. Увеличение глубины горных работ вызывает, прежде всего, рост напряжений в угле-породном массиве, а также приводит к повышению нагрузок на средства охраны выработок и крепи.

2. Устойчивость горных выработок актуальна, особенно, при проведении их по выбросоопасным угольным пластам. Разработка выбросоопасных пластов производится, как правило, в сложных горно-

геологических условиях, что обусловлено большой глубиной работ, высокой газоносностью, тектонической нарушенностью и низкой прочностью призабойного массива. Это обуславливает необходимость применения комплекса специальных мер для их эффективной и безопасной разработки, принятия взаимоувязанных решений по подготовке шахтных полей, применению средств механизации, ведению очистных, подготовительных и профилактических работ в выемочном участке.

3. На пластах, склонных к внезапным выбросам угля и газа, наряду со столбовой широкое распространение, в настоящее время, имеют комбинированная, в варианте «парные штреки» и сплошная системы разработки. Для создания эффективных средств проведения выработок уровень применения этих систем остается достаточно высоким. Поэтому необходимо изыскивать возможности совершенствования сплошной системы разработки до уровня, при котором она по фактору внезапных выбросов и по технико-экономическим показателям не будет уступать столбовой системе разработки.

4. Разработка выбросоопасных угольных пластов производится, как правило, в сложных горно-геологических условиях, что обусловлено большой глубиной работ, высокой газоносностью, тектонической нарушенностью и малой прочностью призабойного массива. Это обуславливает необходимость применения комплекса специальных мер для их эффективной и безопасной разработки, принятия взаимоувязанных решений по подготовке шахтных полей, применению средств механизации, ведению очистных, подготовительных и профилактических работ в выемочном участке.

5. Для предотвращения внезапных выбросов в подготовительных выработках наиболее целесообразными следует признать следующие способы:

- опережающая разработка защитных угольных пластов;
- дегазация пластов скважинами с последующим увлажнением;
- увлажнение угольных пластов;
- дегазация угольных пластов;
- гидровывывание опережающих полостей (щелей);

- бурение опережающих скважин.

6. Исследования напряженно-деформированного состояния традиционно занимают центральное место в кругу вопросов механики горных пород, относящихся к горным выработкам. Отмеченная тенденция способствовала, по-видимому, появлению в механике горных пород термина «устойчивость выработок», под которым в большинстве случаев понимается определение напряженно-деформированного состояния возле выработки, а также оценка его с точки зрения теорий прочности.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА

2.1. Краткая характеристика объекта исследований

Исследования состояния горного массива проводилось в условиях ш. «Чертинская-Коксовая» ООО «ММК-Уголь», при отработке пласта 5.

Горногеологические условия. Выбор системы разработки для любого месторождения является наиболее ответственной, а в ряде случаев и наиболее сложной задачей, которую приходится решать при проектировании шахт. Сложность выбора системы разработки состоит в том, что для этого необходимо не только детально знать геологические условия того или иного конкретного участка, но и ясно представлять, как в этих условиях будут проявляться природные факторы, осложняющие разработку пластов, и за счет каких приемов и технических средств может быть получен в данных условиях наиболее высокий технико-экономический эффект [41].

Знание закономерностей проявления горного давления и деформаций пород в подготовительных выработках имеет исключительно большое значение для выбора рациональных способов разработки угольных пластов на глубоких горизонтах. Весь ход истории развития добычи угля показывает, что по мере углубления горных пород состояние подготовительных горных выработок ухудшается и поддержание их требует все более значительных затрат.

Можно ожидать (практика работы наиболее глубоких шахт подтверждает это), что в подавляющем большинстве случаев поддержание подготовительных выработок на глубоких горизонтах без принятия соответствующих мер будет являться крайне сложной задачей. Во почему вопрос о проявлении горного давления и деформациях пород в подготовительных выработках в данной работе выделен в самостоятельный раздел.

Пласт 5 – состоит из 2-3х пачек, мощность переменная от 1,4 до 3,0 м и более. Непосредственная кровля – мощностью 0-6,0 м, сложена тонкозернистыми алевролитами, в зоне тектонических нарушений – интенсивно

трещиноватыми, $f = 3,0-5,0$. Неустойчива в зонах тектонических нарушений. Основная кровля – мощностью 6,0-14,0 м. Песчаники мелкозернистые крепкие, $f = 5,5-7,0$ [41-109].

Газоносность. Выделение рудничного газа в шахтах является природным фактором, осложняющим разработку угольных пластов. Значительное выделение метана в горных выработках на ряде шахт Кузбасса уже в настоящее время создает большие трудности в работе и сдерживает развитие добычи угля. Значительное газовыделение в ряде случаев приводит к повышению содержания метана в очистных забоях сверх допустимых пределов. Для снижения концентрации метана в воздушной струе до допустимых пределов очистные забои приходится периодически останавливать, что, естественно, ведет к снижению добычи угля. Высокая метанообильность ограничивает длину очистного забоя, что также не может не сказываться на добыче угля. При большой газоносности месторождений усложняется проветривание шахт. Наконец, на ряде действующих шахт возникает необходимость в проходке дополнительных стволов для обеспечения подачи требуемого количества воздуха в горные выработки и снижения их депрессии [41].

С ростом глубины разработки увеличивается газоносность пластов и фактор газовыделения приобретает еще большее значение. Поэтому есть основания полагать, что при разработке угольных месторождений на глубоких горизонтах газоносность будет являться тем фактором, который в значительной степени осложнит работу шахт и потребует пересмотра установившихся взглядов на вопросы вскрытия, подготовки и порядка отработки шахтных полей [41].

Для правильного решения вопроса о выборе рациональных способов разработки необходимо знать: откуда, в течение какого времени, в каком количестве и при каких условиях газ будет выделяться в горные выработки. Если на верхних горизонтах метаноносность месторождений была относительно небольшой и не оказывала существенного влияния на процессы добычи угля, то

на глубоких горизонтах газовыделение в значительной степени будет зависеть от принятого способа разработки [41].

Газоносность пласта 5 представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Градиент нарастания газоносности угольного пласта 5

Горизонт, м (абс.)	Прогнозная газоносность по горизонту, м³/т с.б.м.	Градиент нарастания газоносности, м³/т с.б.м.
гор. +100	11,0	6,9
гор. +50	16,0	4,9
гор. +-0	19,0	3,0
гор. -50	21,5	2,0
гор. -100	22,5	1,5
гор. -150	24,5	1,5
гор. -200	25,6	1,0

Относительная газообильность за 2020 г. составила – 98,2 м³/т., а абсолютная – 205,8 м³/мин [41-109].

Пласт 5 опасный по внезапным выбросам угля и газа.

Природным фактором, резко осложняющим разработку угольных пластов, являются внезапные выбросы угля и газа. Явление внезапных выбросов угля и газа не только значительно повышает опасность работ, но и осложняет добычу угля, вызывая перебои в работе выемочных участков и необходимость проведения ряда мероприятий по ликвидации последствий внезапного выброса. Это, в свою очередь, ведет к ухудшению технико-экономических показателей работы шахты.

Проявление внезапных выбросов угля и газа зависит не только от природной склонности угольных пластов к внезапным выбросам угля и газа, но и от применяемых способов разработки. Для того, чтобы устранить опасность возникновения внезапного выброса угля и газа, необходимо устранить хотя бы одну из причин, порождающих это явление, или уменьшить ее действие. Это может быть достигнуто прежде всего в результате применения соответствующего порядка и способа разработки угольных пластов. Наиболее радикальным средством, позволяющим предотвратить внезапные выбросы угля

и газа, является предварительная разработка так называемых защитных пластов, т.е. пластов, не опасных по внезапным выбросам и залегающих выше или ниже опасного пласта.

Основным условием для предупреждения внезапных выбросов угля и газа является расположение забоев очистных и подготовительных выработок в зоне, разгруженной от горного давления в результате ведения очистных работ на защитном пласте.

Выбор рациональных способов разработки, т.е. систем разработки и их элементов, способов подготовки, порядка отработки в пространстве и времени свит и групп пластов, должен базироваться прежде всего на комплексном учете влияния на эффективность добычи угля и безопасность работ природных факторов [41].

С увеличением глубины разработки растет горное давление, увеличивается газоносность и температура пластов, повышается подверженность их к внезапным выбросам угля и газа. Поэтому при выборе рациональных способов разработки пластов на глубоких горизонтах всесторонний учет влияния природных факторов приобретает особое значение. Принятие ошибочных решений в условиях глубоких горизонтов может не только резко осложнить разработку угольных пластов, но и в отдельных случаях сделать ее вообще невозможной [41].

На глубоких горизонтах горное давление является тем природным фактором, который обуславливает основные трудности разработки угольных пластов, когда последние залегают среди глинистых и песчанистых сланцев. Следовательно, этот природный фактор будет иметь решающее значение для подавляющего большинства угольных пластов, так как в условиях Кузбасса условия залегания пластов, с этой точки зрения, неблагоприятны. Однако проявление горного давления в выработках зависит не только от глубины разработки, но и от степени влияния сдвижения толщи пород и перераспределения напряжения в массиве в результате очистной выемки угольных пластов. Сдвижение пород и перераспределение горного давления

самым существенным образом влияют также на выделение газа из подрабатываемых и надрабатываемых пластов и пропластков, и, следовательно, на газообильность выработок разрабатываемого пласта и вероятность проявления внезапных выбросов угля и газа. Поэтому применяемые на глубоких горизонтах способы разработки должны, с одной стороны, предупреждать вредные последствия проявления горного давления, и с другой – создавать благоприятные условия для полезного использования явлений перераспределения горного давления в результате выемки пластов [41].

2.2. Исследование физико-механических свойств пород кровли выемочного участка 555

2.2.1. Общие представления о методах определения свойств пород и напряжениях в массиве

Основными причинами разницы свойств пород в лабораторных образцах и в массиве являются: нарушение условий подобия между образцами и массивом в отношении их трещиноватости, разные напряженные состояния, разное время воздействия напряжений, изменения свойств образцов в процессе отбора и обработки от дегазации, высыхания, механических повреждений и др.

В углях и породах имеются трещины и другие пороки, образовавшиеся в результате изменения условий накопления осадков, диагенеза, метаморфизации, отжима горным давлением, воздействия сорбированного газа, выветривания, влияния взрывных работ и др.

Известны разнообразные методы определения свойств горных пород непосредственно в забое, основанные на раздавливании и срезе полупромышленных целиков, вырывании породы из забоя, статическом и динамическом вдавливании, резании, распространении упругих волн и др. Большинство из них не отвечают на вопрос о влиянии трещиноватости пород на их прочность в массиве [44-48].

Существующие методы оценки трещиноватости горных пород можно

разделить на описательно-геологические, производственные, геометрические, методы дробления, методы испытания крупных цельков, физические и комбинированные. Эти методы в основном дают косвенную оценку трещиноватости пород в массиве и не отвечают на вопрос о соотношении прочности пород в лаборатории и в целике.

Для оценки влияния трещиноватости массива на его прочность предлагается пользоваться комплексным методом, основанным на лабораторных испытаниях двух образцов различных размеров, построении по этим данным паспортов прочности пород вычислении влияния масштабного эффекта и средней прочности пород в массиве и на подсчете вариации прочности пород в массиве. При этом необходимо следить, чтобы содержание влаги и газа в лабораторных образцах соответствовало бы содержанию их в массиве.

На основании [49-52] можно рекомендовать следующий порядок определения допускаемых напряжений для массива горных пород:

1. Производятся лабораторные испытания образцов горных пород двух размеров - возможно более крупных и более мелких. Для подобных испытаний больше всего подходит метод раскалывания и одноосного сжатия образцов полуправильной формы.

2. Для каждой серии образцов вычисляются средние арифметические значения прочности, средние квадратичные ошибки и вариации значений прочности.

3. Для обоих размеров образцов по средним значениям сопротивления растяжению и сжатию строятся огибающие наибольших кругов напряжений Мора и для них определяются значения параметров α , τ_m и $\sigma_{вр}$. Из двух значений для α и τ_m берется среднее арифметическое, которое используется для дальнейших расчетов. Величина $2\tau_m$ будет представлять собой теоретическую прочность материала породы, лишенного трещин, на одноосное сжатие и растяжение. Это дает одну пару точек для расчета кривых масштабного эффекта. Две другие пары точек следует взять непосредственно из лабораторных данных.

4. Пользуясь описанным выше «методом разностей», определяют

параметры кривых масштабного эффекта для растяжения и для сжатия. Эти параметры дают значения трещиноватости массива и его средней прочности на растяжение и на сжатие. Пользуясь значениями этих параметров, вычисляют остальные точки для кривых масштабного эффекта и наносят их на диаграммы.

5. По двум значениям вариации прочности для двух размеров проб находят значения постоянных в уравнении связи вариации с размерами проб. Вторая постоянная представляет собой вариацию прочности в массиве. По значениям вариации вычисляют величины средних квадратичных отклонений. Для 95% надежности вычитают по два средних квадратичных отклонения из среднего значения прочности. Это и будет расчетное значение допускаемых напряжений для массива.

2.2.2. Отбор образцов пород керна и определение их фактических физико-механических свойств

Керн выбуривался пневматическим анкероустановщиком со специальным керноотборником, накрученным на буровой став. Интервал отбора керна - 500 мм.

Испытания пород проводят по ГОСТ24941-81 «Методы определения механических свойств нагружением сферическими инденторами».

По итогам испытаний образца породы определяют [53-55]:

- P_p – максимальную нагрузку, кН;
- S_p – площадь расколотой поверхности образца, см^2 , ее устанавливают по результатам линейных измерений проекции поверхности раскола на плоскость.

Прочность породы при одноосном растяжении σ_p определяют по формуле:

$$\sigma_p = 7,5 \frac{P_p}{S_p} K_m,$$

где $K_m = \sqrt[4]{\frac{S_p}{15 \cdot 10^{-4}}}$ – безразмерный коэффициент масштаба.

Прочность породы при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ для каждого образца определяют по корреляционным зависимостям, приведенным в таблице 2.2 [56].

Таблица 2.2 - Корреляционные зависимости [56]

Разновидности горных пород	Корреляционные зависимости
Аргиллиты, мергели	$\sigma_{сж} = 16 \sigma_p$
Алевриты, известняки	$\sigma_{сж} = 20 \sigma_p$
Песчаники:	
Глинистые	$\sigma_{сж} = 18 \sigma_p$
Карбонатные	$\sigma_{сж} = 21 \sigma_p$
Кварцевые	$\sigma_{сж} = 25 \sigma_p$
Прочие осадочные:	
при $\sigma_p \leq 1$ МПа	$\sigma_{сж} = 12 \sigma_p$
при $\sigma_p > 1$ МПа	$\sigma_{сж} = 20 \sigma_p - 8$ МПа
Изверженные и метаморфические	$\sigma_{сж} = 25 \sigma_p$



Рисунок 2.1 - Образцы пород керна кровли конвейерного штрека 555 ПК 86

Физико-механические свойства и характеристика пород керна в районе ПК 86 представлены в таблицах 2.3 и 1 Приложения 1. Для проб керна №6-11 проводилось три испытания, для пробы №12-два, для проб №1-5-одно.

Таблица 2.3 - Физико-механические свойства пород керна конвейерного штрека 555 ПК 86

№ п/п	Глубина керна, м	№ испытания									Средние показатели		
		1			2			3					
		P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа	P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа	P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа	P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа
1	0-0,5	3,25	6,24	62,74	-	-	-	-	-	-	3,25	6,24	62,74
2	0,5-1,0	2,80	7,80	45,73	-	-	-	-	-	-	2,80	7,80	45,73
3	1,0-1,5	2,50	8,00	40,06	-	-	-	-	-	-	2,50	8,00	40,06
4	1,5-2,0	1,50	4,40	37,63	-	-	-	-	-	-	1,50	4,40	37,63
5	2,0-2,5	2,45	7,98	39,33	-	-	-	-	-	-	2,45	7,98	39,33
6	2,5-3,0	4,95	7,22	77,09	2,00	5,70	41,32	2,45	7,60	40,80	3,15	6,84	56,77
7	3,0-3,5	2,10	7,60	34,97	2,10	7,60	34,97	3,50	6,84	56,77	2,60	7,35	44,39
8	3,5-4,0	5,00	8,00	72,10	2,30	7,22	39,80	3,80	8,40	58,70	3,70	7,88	59,96
9	4,0-4,5	3,25	7,79	53,12	2,50	7,50	42,04	1,50	10,25	19,96	2,40	8,51	36,71
10	4,5-5,0	4,96	8,61	67,69	2,10	6,97	37,31	2,10	7,79	34,33	3,10	7,79	50,67
11	5,0-5,5	2,80	6,72	51,13	2,35	6,80	42,54	3,00	9,24	43,05	2,72	7,59	45,34
12	5,5-6,0	2,90	6,80	52,49	-	-	-	2,00	6,72	36,52	2,45	6,76	44,54

Кровля в районе ПК 86 на глубину до 6,0 м представлена в основном переслаиванием алевролита с песчаником, со средней прочностью пород на сжатие 46,99 МПа, коэффициент крепости $f = 4,6$.

Физико-механические свойства и характеристика пород керна в районе ПК 83 + 10 м представлены в таблицах 2.4 и 2 Приложения 1.

Таблица 2.4 - Физико-механические свойства пород керна конвейерного штрека 555 ПК 83 + 10 м.

№ п/п	Глуби- на керна, м	№ испытания									Средние показатели		
		1			2			3					
		P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа	P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа	P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа	P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа
1	0-0,5	1,80	6,80	32,58	2,70	11,25	33,50	1,86	5,04	42,15	2,12	7,70	34,96
2	0,5-1,0	3,80	6,90	61,23	2,30	6,60	42,57	2,20	7,56	36,78	2,77	7,02	48,95
3	1,0-1,5	2,00	7,38	34,05	2,80	9,84	38,41	3,00	7,98	48,16	2,60	8,40	40,16

4	1,5-2,0	2,30	6,30	44,09	3,90	8,80	52,36	1,50	11,7	18,84	2,57	8,72	38,60
5	2,0-2,5	4,86	7,92	70,62	3,00	8,40	41,71	3,50	8,82	46,91	3,79	8,38	52,79
6	2,5-3,0	2,30	6,15	40,40	2,30	6,15	40,40	2,00	6,16	35,09	2,15	6,15	37,77
7	3,0-3,5	2,70	7,14	42,40	2,00	11,44	24,51	3,50	8,53	48,10	2,73	9,04	35,92
8	3,5-4,0	2,60	7,48	39,43	3,10	4,10	73,80	2,50	7,92	36,33	2,73	6,50	46,00

Кровля конвейерного штреха 555 ПК 83+10 м на глубину до 4,0 м представлена в основном алевролитом, со средней прочностью пород на сжатие 41,89 МПа, коэффициент крепости $f = 4,1$.

Физико-механические свойства и характеристика пород керн в районе ПК 81 + 10 м представлены в таблицах 2.5 и 3 Приложения 1.

Таблица 2.5 - Физико-механические свойства пород керн конв. штреха 555 ПК 81+10 м.

№ п/п	Глубина керна, м	№ испытания									Средние показатели		
		1			2			3					
		P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа	P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа	P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа	P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа
1	0-0,5	2,20	6,65	40,49	1,60	7,74	26,28	0,60	6,60	11,11	1,47	7,00	26,04
2	0,5-1,0	0,30	5,74	5,55	1,50	5,74	30,83	2,50	7,56	41,79	1,43	6,34	27,28
3	1,0-1,5	2,30	6,45	43,31	1,00	6,02	19,83	1,20	7,74	19,71	1,50	6,73	27,36
4	1,5-2,0	2,60	7,56	43,47	2,00	7,56	30,09	2,20	6,16	42,89	2,26	7,09	39,65
5	2,0-2,5	0,50	8,36	6,98	1,70	5,40	32,92	3,50	9,00	46,21	1,90	7,58	28,53
6	2,5-3,0	2,60	5,88	47,23	2,40	5,04	48,94	4,00	7,98	57,79	3,00	6,30	51,75
7	3,0-3,5	4,80	8,40	66,73	2,30	5,88	46,43	3,10	6,16	54,39	3,40	6,81	55,33

Кровля в районе ПК 81+10 м на глубину до 1,5 м представлена в основном алевролитом, со средней прочностью пород на сжатие 26,89 МПа, коэффициент крепости $f = 2,6$, от 1,5 до 3,5 м - песчаником со средней прочностью пород на сжатие 45,20 МПа, коэффициент крепости $f = 4,5$.

Физико-механические свойства и характеристика пород керн в районе ПК 78 представлены в таблицах 2.6 и 4 Приложения 1.

Кровля в районе ПК 78 на глубину до 4,5 м представлена в основном алевролитом, со средней прочностью пород на сжатие 40,45 МПа, коэффициент крепости $f = 4,0$.

Таблица 2.6 - Физико-механические свойства пород керна конв. штрека 555 ПК 78

№ п/п	Глубина керна, м	№ испытания									Средние показатели		
		1			2			3					
		P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа	P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа	P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа	P _p , кН	S _p , см ²	σ _{сж} , МПа
1	0-0,5	1,55	4,00	41,77	0,90	3,96	24,44	1,00	4,51	24,63	1,15	4,16	30,09
2	0,5-1,0	2,70	5,85	54,71	0,50	6,15	9,76	1,60	3,80	44,81	1,60	5,27	35,06
3	1,0-1,5	2,00	4,40	50,18	2,70	7,56	45,14	1,70	6,40	32,20	2,13	6,12	41,72
4	1,5-2,0	0,60	7,40	10,19	1,70	6,15	33,18	1,35	6,40	25,57	1,22	6,65	22,45
5	2,0-2,5	1,90	5,74	35,15	2,00	6,16	35,09	3,50	6,56	58,57	2,47	6,15	43,39
6	2,5-3,0	2,40	6,45	40,68	3,60	7,20	56,18	4,50	6,15	79,04	3,50	6,60	58,31
7	3,0-3,5	3,00	5,74	55,49	2,20	5,20	43,83	1,50	6,00	26,84	2,23	5,65	41,74
8	3,5-4,0	1,80	4,40	40,64	2,85	6,75	46,69	1,90	5,60	35,80	2,18	5,58	41,19
9	4,0-4,5	3,10	6,97	51,04	2,90	5,33	62,43	3,60	6,63	62,31	3,20	6,31	58,19

2.3. Выявление зон расслоений и трещиноватости массива пород кровли

Исследования условий залегания вмещающих пород и приконтурного массива горных выработок путем видеоэндоскопического осмотра скважин позволяют оперативно определить зоны повышенной трещиноватости, нарушенности, фактический состав и структуру пород.

Определение зон расслоения и трещиноватости пород кровли производится видеоэндоскопом Wohler VIS:

- на сопряжениях горных выработок;
- в линейной части;
- в скважинах, образовавшихся после отбора образцов пород (керна).

Видеоэндоскопы серии VIS 200, а также их модификация VIS 250 позволяют исследовать условия залегания вмещающих пород и приконтурного массива горных выработок путем видеоэндоскопического осмотра скважин и

оперативно определить зоны повышенной трещиноватости, нарушенности, фактический состав и структуру пород (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Видеоэндоскоп WOHLER VIS 250

Кроме этого видеоэндоскопы обеспечивают возможность качественного визуального контроля труб, сварных швов, узлов машин и оборудования без его демонтажа в самых труднодоступных местах: трубопроводы, воздухопроводы, пустоты, напорные и водосточные, дымовые трубы и т.д.

Определение зон расслоения и трещиноватости пород кровли производится на сопряжениях горных выработок, в линейной части и в скважинах, образовавшихся после отбора керна.

Для определения зон расслоения и трещиноватости пород кровли выработки видеоэндоскопом бурится шпур диаметром не менее 30 мм и глубиной на 0,5-1,0 м выше конца анкера глубокого заложения; при отсутствии анкеров второго уровня, глубиной не более 1,5 В, где В – ширина выработки.

Новая серия видеоэндоскопов обладает всеми свойствами профессиональных приборов. Прибор позволяет работать непрерывно в течении 5 часов. Рабочий диаметр отверстий - от 30 до 150 мм. Герметичная и прочная головка эндоскопа рабочим диаметром 26 мм позволяет работать даже под водой на глубине до 20 м.

Зонд по всей своей длине имеет метки длины. Монитор TFT имеет гибкое соединение с зондом, что облегчает доступ в сложных местах. При необходимости монитор можно достать из чемодана и держать его в руках. Эндоскоп оснащен видеовыходом, что позволяет подключать его к компьютеру.

Видеоэндоскоп WOHLER VIS 250 отличительные особенности:

- Головка камеры диаметром 26 мм;
- Герметичная конструкция IP 68, допускается работа под водой на глубине до 20 м;
- Яркая диодная подсветка объекта;
- Светочувствительность: 0,2 lux;
- Монитор 5,6 "TFT (14,22 см);
- Кабель длиной 20 м;
- Заряд аккумулятора на 2 часа непрерывной работы;
- Поставляется в чемодане.

С целью определения зон расслоения и трещиноватости пород кровли выработки видеоэндоскопом бурится шпур диаметром не менее 30 мм и глубиной на 0,5-1,0 м выше конца анкера глубокого заложения; при отсутствии анкеров второго уровня, глубиной не более 1,5В, где В – ширина выработки. Так же могут использоваться скважины после отбора керна.

Перед началом съемки шпура на камеру показывается его номер, затем производится установка зонда с камерой в устье шпура. Затем его перемещают до груди забоя скважины.

Выполненные исследования, позволили определить величины расслоений в породах массива и пласта.

Результаты исследования видеоэндоскопом скважины №1 (конвейерный штрек 555 ПК 83 + 10 м; глубина шпура 4,20 метра) представлены в таблице 1 Приложения 2.

Результаты исследования видеоэндоскопом скважины №2 (конвейерный штрек 555 ПК 83 + 3 м; глубина шпура 7,10 метра) представлены в таблице 2 Приложения 2.

Результаты видеозендоскопического исследования скважины №3 (конвейерный штрек 555 ПК 81 + 10 м; глубина шпура 3,50 метра) представлены в таблице 3 Приложения 2.

Результаты видеозендоскопического исследования скважины №4 (конвейерный штрек 555 ПК 78; глубина шпура 4,50 метра) представлены в таблице 4 Приложения 2.

2.4. Геофизические исследования горного массива

Состояние горного массива можно определять с помощью геофизической аппаратуры ANGEL-M. Действие аппарата основано на зависимости электропроводности пород от величины горного давления, степени нарушенности и трещиноватости пород массива [57-60].

Общий вид комплекса «ANGEL – M» представлен на рисунке 2.3.

Прибор «ANGEL – M» позволяет оценивать параметры нестационарных геофизических полей в трещиноватом массиве и используется для контроля устойчивости вмещающих горных пород.

Устройство состоит из регистрационного блока, приемной антенны, зарядного устройства и набора кабелей.

Комплекс обеспечивает прием и анализ сигналов от источников электромагнитных колебаний, вызванных разрушением пород в массиве.

Результаты геофизических исследований в конвейерном штреке 555 представлены на рисунках 2.4 и 2.5.



Рисунок 2.3 - Общий вид комплекса «ANGEL – M»

На участке в районе ПК 83 + 10 м, результаты геофизических исследований конвейерного штрека 555 на глубине до 3,0 м позволили выявить разгруженную, трещиноватую зону в породах кровли, что подтверждается видеоэндоскопическим обследованием.

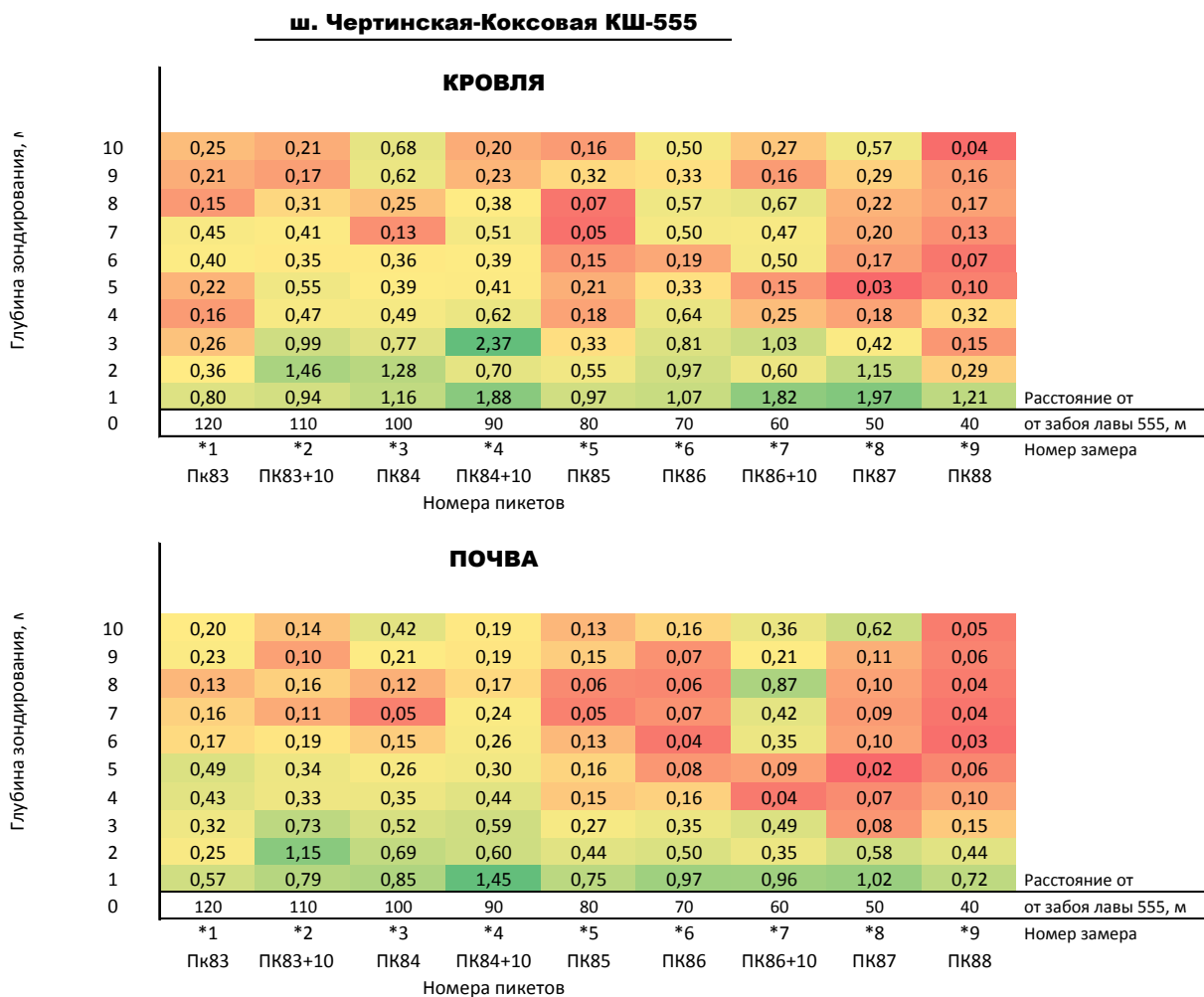


Рисунок 2.4 - Результаты геофизических исследований

Примечание к рисунку 2.4:

- для кровли и почвы - по значению показателя $F \geq 1,0$ (зеленая заливка) отбивается разгруженная, преимущественно трещиноватая зона во вмещающих породах кровли;
- значение показателя $0,2 \leq F < 1$ (желтая заливка) указывает на среднюю трещиноватость кровли;

- значение показателя $F < 0,2$ (красная заливка) указывает на плотную структуру кровли.

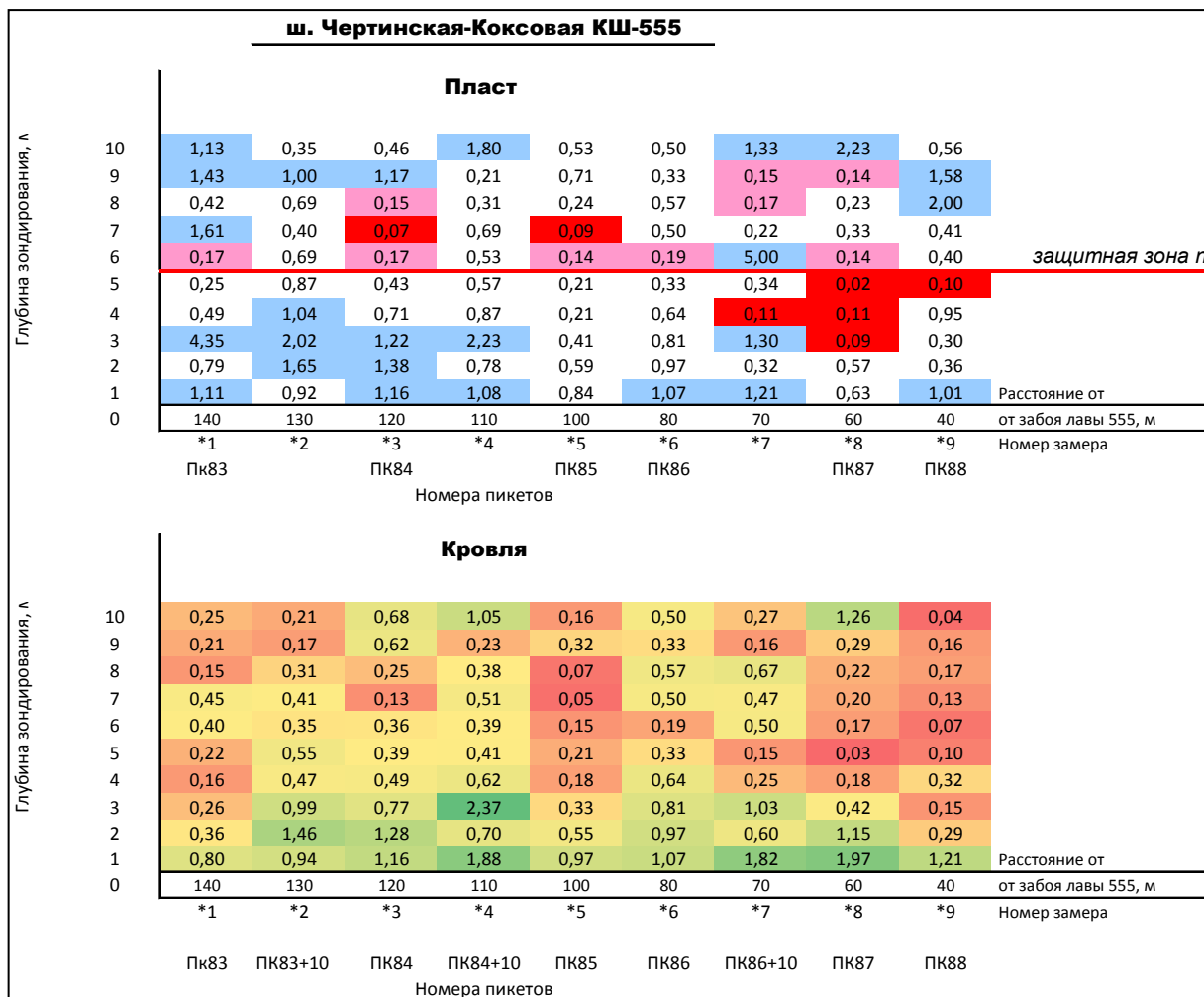


Рисунок 2.5 - Результаты геофизических исследований

Примечание к рисунку 2.5:

- для пласта по значению показателя $F \geq 1,0$ (синяя заливка) отбивается разгруженная, трещиноватая зона в краевых частях пласта. Значение показателя $F < 0,2$ на глубине защитной зоны n (красная заливка) соответствует высокому уровню напряженного состояния пласта на ширине защитной зоны, при котором фиксируется категория «УДАРООПАСНО». Значение показателя $0,2 \leq F < 1$ указывает на плотное состояние массива;

- для кровли: по значению показателя $F \geq 1,0$ (зеленая заливка) отбивается разгруженная, трещиноватая зона в кровле;

- значение показателя $0,2 \leq F < 1$ (желтая заливка) указывает на состояние кровли со средней трещиноватостью;
- значение показателя $F < 0,2$ соответствует плотной структуре кровли.

Выводы

1. Исследование состояния горного массива проводилось на выемочном участке 555 шахты «Чертинская-Коксовая» по пласту 5, опасному по внезапным выбросам угля и газа, в районе конвейерного штрека 555.
2. Основными причинами разницы свойств пород в лабораторных образцах и в массиве являются: нарушение условий подобия между образцами и массивом в отношении их трещиноватости, разные напряженные состояния, разное время воздействия напряжений, изменения свойств образцов в процессе отбора и обработки от дегазации, высыхания, механических повреждений и др. В углях и породах имеются трещины и другие пороки, образовавшиеся в результате изменения условий накопления осадков, диагенеза, метаморфизации, отжима горным давлением, воздействия сорбированного газа, выветривания, влияния взрывных работ и др.
3. Проведен отбор образцов пород керна и определены их физико-механические свойства в кровле конвейерного штрека 555 в районе ПК 83 и ПК 86.
4. Проведены видеоэндоскопические обследования в скважинах №1-№4 на выемочном участке 555, что позволило выявить участки с трещиноватым массивом образующих зону ослабления пород кровли пласта 5, которые заметно влияют на устойчивость конвейерного штрека 555.
5. Геофизические исследования горного массива на выемочном участке 555 проведены комплексом «ANGEL – М». Результаты в основном коррелируют с результатами исследований образцов керновых проб и видеоэндоскопических обследований скважин в части наличия зон повышенной трещиноватости вмещающих пород, а также зон устойчивых не трещиноватых пород кровли,

которые при определенных условиях способны зависеть, что в свою очередь способно привести к деформации крепи и потере сечения горной выработки, что подтверждает необходимость разработки специального способа охраны конвейерного штрека 555.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА АКТИВНОГО СПОСОБА ОХРАНЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ НАПРАВЛЕННОГО ГИДРОРАЗРЫВА МАССИВА

Проведенный комплекс исследований состояния горного массива, представленный во втором разделе диссертации, на выемочном участке лавы № 555, отрабатывающей угольный пласт 5 показал, что реальные горно-геологические условия участка кардинально отличаются от проектных (прогнозных). Было установлено, что основная кровля пласта 5 представлена мелкозернистыми песчаниками мощностью до 13,5 м с прочностью на сжатие 70 МПа и более, способных зависать в выработанном пространстве, как в лаве № 555, так и в ранее отработанной лаве № 561. Это приводит к интенсивной конвергенции (изменению контура выработки) в пространство конвейерного штрека № 555, что потребовало разработки специального активного способа охраны горной выработки на основе воздействия на массив водой высокого давления.

3.1. Разработка способа и параметров направленного гидроразрыва горного массива

Сущность способа направленного гидроразрыва горного массива (НГР ГМ) заключается в том, что зависающие (труднообрушаемые) породы основной кровли под воздействием воды высокого давления разделяются на блоки незначительных размеров [61-68]. НГР ГМ осуществляется специально разработанным горным оборудованием.

Для снижения проявления горного в конвейерном штреке выемочного столба 555 ООО «ММК-УГОЛЬ» Шахта «Чертинская-Коксовая» был выбран опытный участок с ПК 48 по ПК 75 для выполнения НГР ГМ.

Расчет параметров заложения скважин при разгрузке вмещающих пород произведен в соответствии с «Инструкции по выбору способа и параметров

разупрочнения кровли на выемочных участках» (Минуглепром СССР, 02.04.1990).

Основными параметрами способа НГР ГМ при наклонных схемах заложения рабочих скважин (шпуров) являются величины, описывающие геометрию их заложения и инициирующих щелей в горном массиве (рис. 3.1).

Эффективная высота обрушения пород, когда обеспечивается подбучивание труднообрушающегося слоя кровли:

$$h_n = \frac{m_b - h_{ло} \cdot (k_{ло} - 1)}{k_{мо} - 1} + h_{ло}, \text{ м} \quad (3.1)$$

где:

m_b – вынимаемая мощность угольного пласта, 1,85 м;

$h_{ло}$ – мощность непосредственной кровли, 2,5 м;

$k_{ло}, k_{мо}$ – коэффициенты разрыхления пород легко- и труднообрушаемых пород, 1,25; 1,15.

Высота обрушения массива составит:

$$h_n = \frac{1,85 - 2,5 \cdot (1,25 - 1)}{1,15 - 1} + 2,5 = 10,67 \text{ м}$$

Высота заложения зародышевой щели от поверхности обнажения кровли:

$$Z = \frac{h_n + h_{ло}}{2} = \frac{10,67 + 2,5}{2} = 6,6 \text{ м} \quad (3.2)$$

Высота заложения зародышевой щели по формуле (3.2) составит 6,6 м.

С учетом глубины заложение анкерной крепи второго уровня в конвейерном штреке 555 глубину заложение зародышевой щели от кровли выработки принимаем равной 8 м.

Интервал бурения шпуров по длине конвейерного штрека 555 равен $2r$, где r – радиус распространения искусственной трещины (зависит от производительности насоса). Интервал бурения скважин принимается равным 15-20 м.

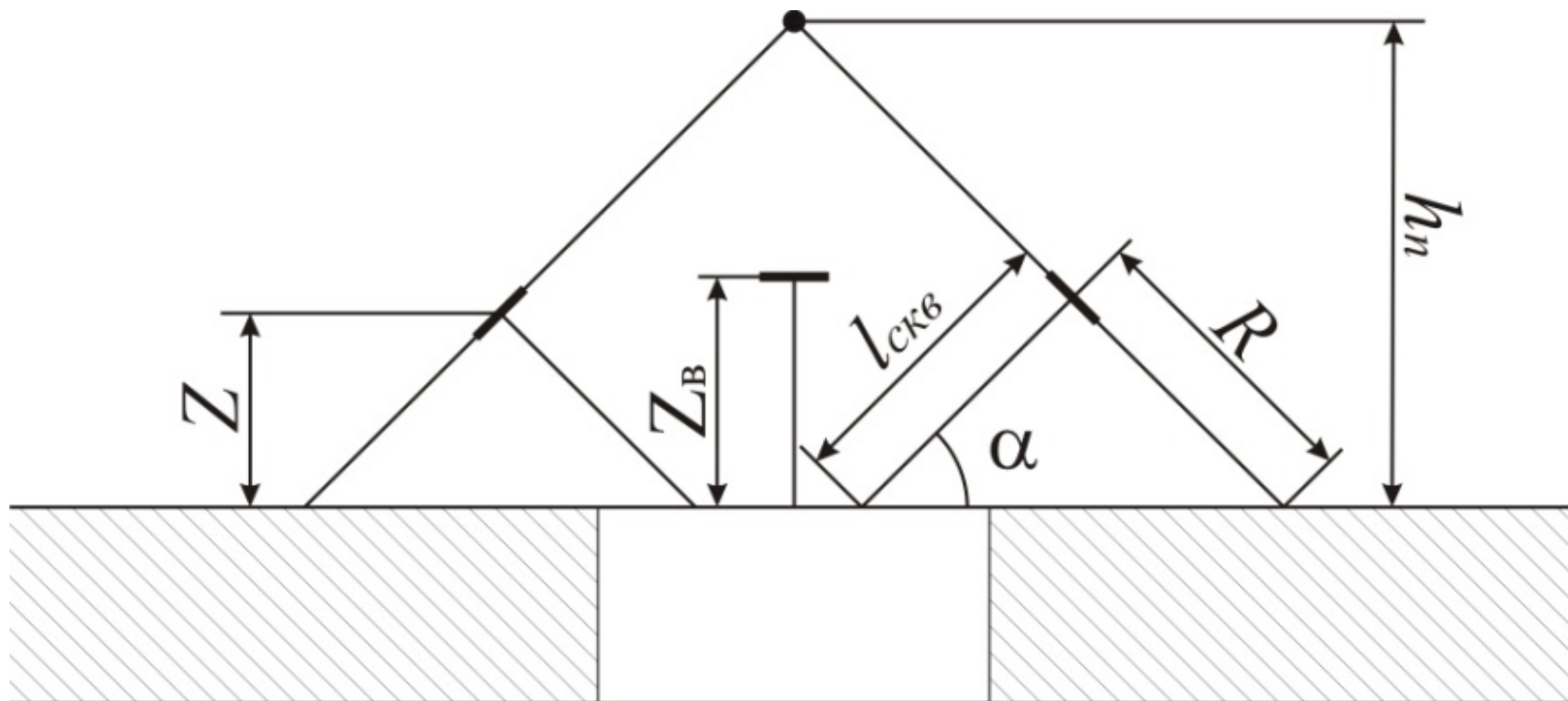


Рисунок 3.1 - Основные параметры заложения скважин (шпуров) при НГР ГМ

Длина наклонных скважин определяется в зависимости от угла наклона скважины и высоты заложения зародышевой щели:

$$l_{\text{СКВ}} = Z / \sin \alpha = 8,0 / \sin 50 = 10,45 \text{ м} \quad (3.3)$$

Места заложения и параметры скважин выбираются в каждом конкретном случае с учетом решаемой задачи в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий на участке, предназначенном к разупрочнению.

Формирование зародышевых щелей для дальнейшего гидроразрыва горного массива осуществляется специальными щелеобразователями ЩМ-45/1 или ЩГ-45, которые представлены на рисунке 3.2 [69].



Рисунок 3.2 - Щелеобразователи для нарезания иницирующих щелей

При НГР ГМ для увеличения протяженности трещины в нужном направлении необходимо заранее формировать центр напряжений в виде, сформированной предварительно, иницирующей щели определенной протяженности и формы [69].

Скважины для НГР ГМ герметизируются специальными устройствами типа «Таурус», ГАС-42 или полиуретановыми герметизаторами.

Для разгрузки от напряжений податливого целика и снижения горного давления на анкерную крепь конвейерного штрека № 555 были разработаны

мероприятия по изменению напряженно-деформированного состояния породного массива за контуром горной выработки, которые заключаются в том, что за зоной повышенного горного давления осуществляется ослабление пород кровли над угольным целиком методом НГР ГМ [70].

Общий вид технологических схем и мест заложения шпуров, для осуществления направленного гидроразрыва пород кровли конвейерного штрека 555, представлены на рисунках 3.3 и 3.4.

Для разупрочнения пород кровли пласта 5 из конвейерного штрека 555 в период отработки запасов столба предлагается закладывать наклонные скважины длиной 9200 мм с уклоном в сторону выемочного столба и 10450 мм с уклоном в сторону межлавного целика шириной 6 м.

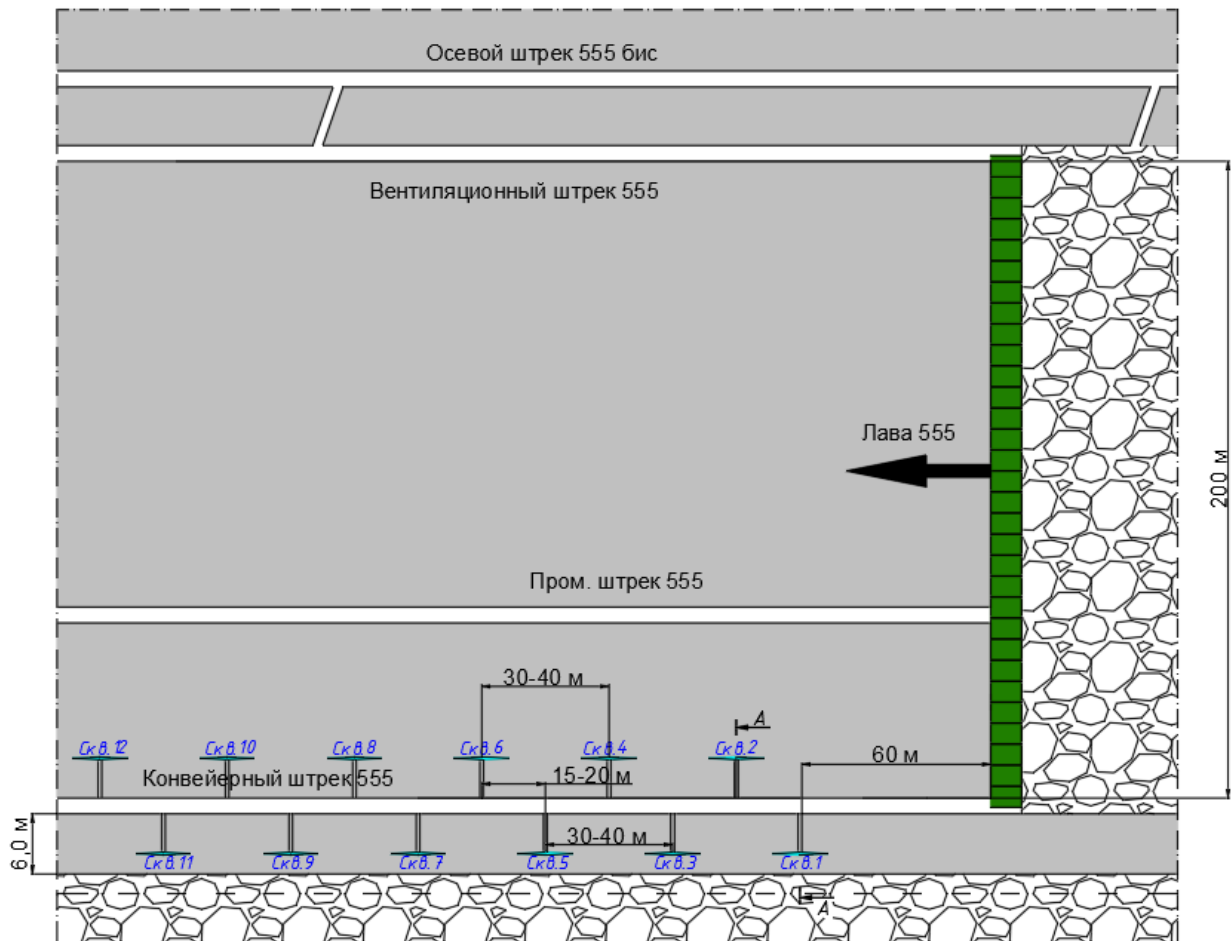


Рисунок 3.3 - Схема расположения скважин НГР из конвейерного штрека 555

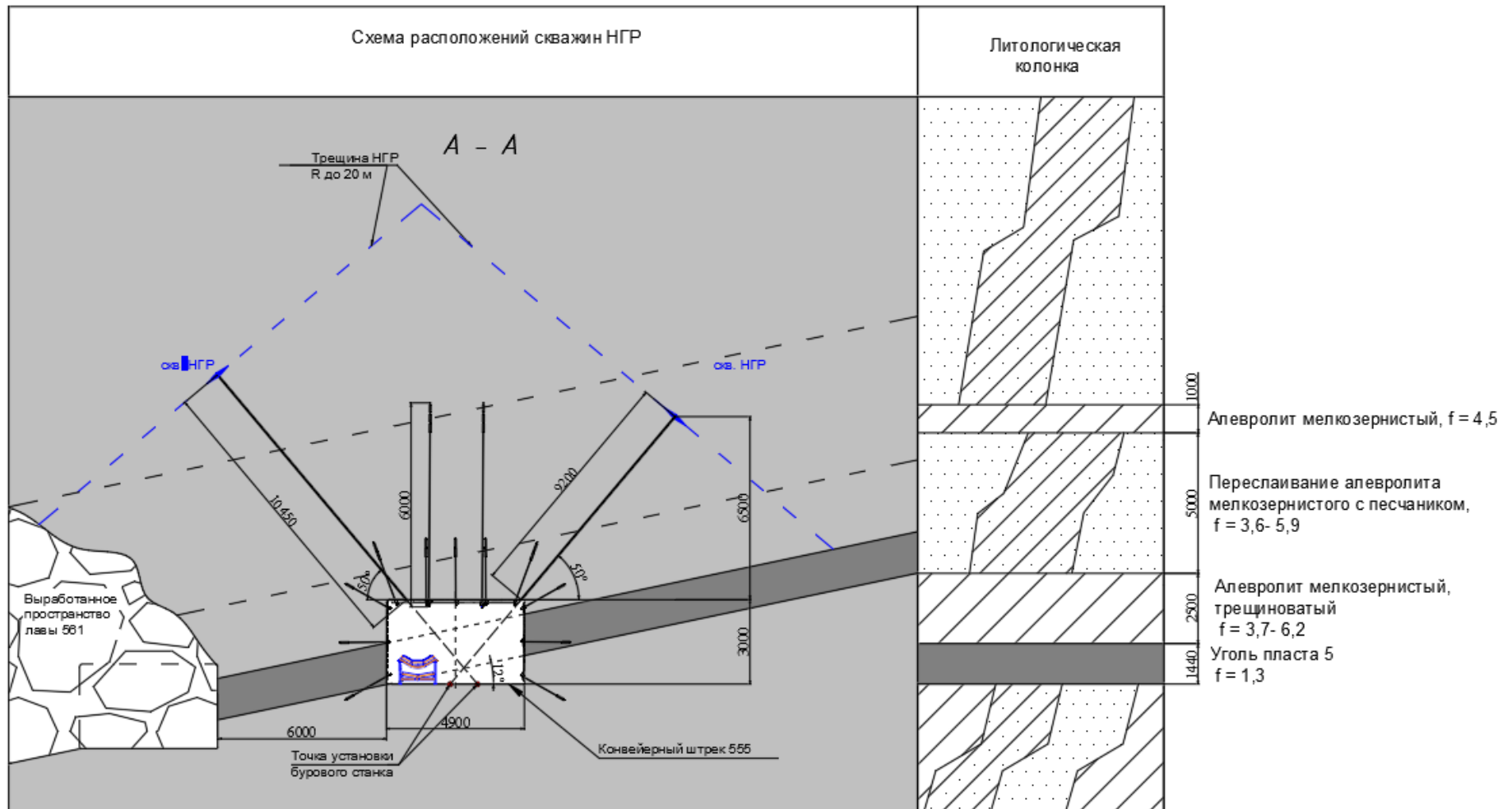


Рисунок 3.4 - Схема расположения скважин НГР из конвейерного штрека 555 (Вид А-А)

3.2. Результаты испытаний способа направленного гидроразрыва горного массива

После осуществления НГР ГМ на экспериментальном участке в конвейерном штреке 555 по мере движения лавы 555 проводился мониторинг за смещением пород кровли и почвы пласта 5, боков выработки на опытном участке (рисунок 3.5).

Станция измерения конвергенции (контурная реперная станция) «Кровля-Почва», «Бок-Бок» установлена в районе ПК 48 + 10 м;

Станция глубинных реперов (РГЗ) установлена в районе ПК 49.

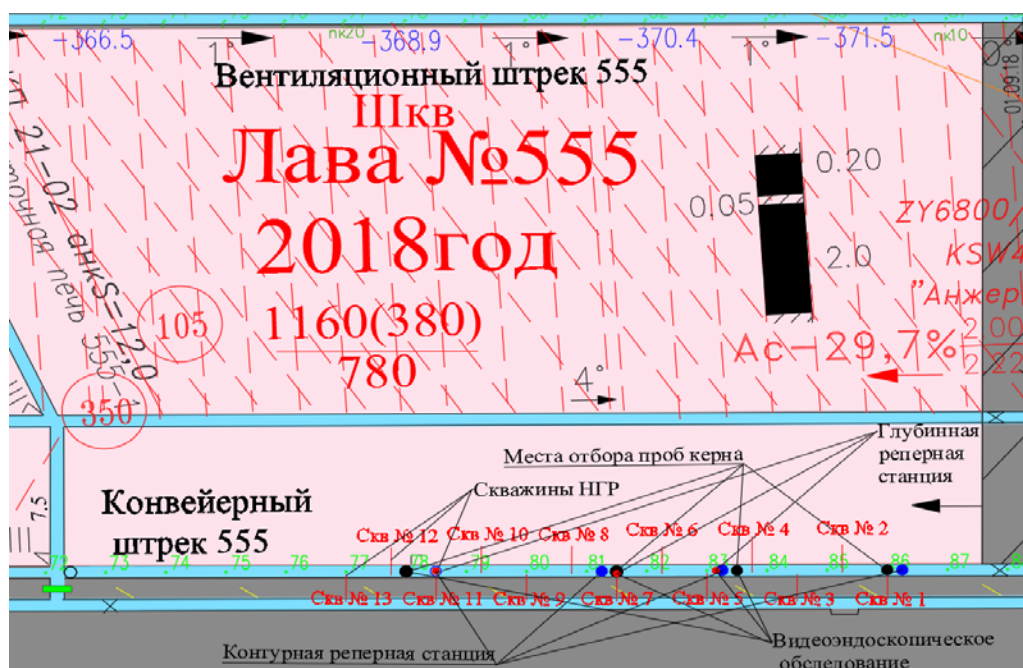


Рисунок 3.5 - Схема расположения глубинных и контурных реперных станций

Для определения величины смещений пород кровли по мере подвигания очистного забоя установлен глубинный репер РГ 3.

При проведении подготовительных выработок выемочных участков 550, 560, 561, 555 наблюдались существенные проявления горного давления на расстоянии порядка 20-30 м от забоя в виде смещений кровли до 200-250 мм, выдавливания решётчатой затяжки, деформации и разрывов анкерной крепи

кровли, деформации боков. Наиболее интенсивные проявления наблюдались в зонах влияния нарушений, под краевыми частями целиков по вышележащему пласту, несмотря на то что междупластье составляло 130 м и выработки находились вне расчётной зоны ПГД. Это приводило к необходимости усиления крепи и перекрепки выработок вслед за подготовительным забоем. Поэтому для снижения напряжений в массиве и смещения их концентраторов от контура выработки вглубь массива было решено применить активные методы управления кровлей из подготовительного забоя. Для контроля смещений реперные станции устанавливались в забое и наблюдения велись по мере его подвигания, см. рис. 3.6.

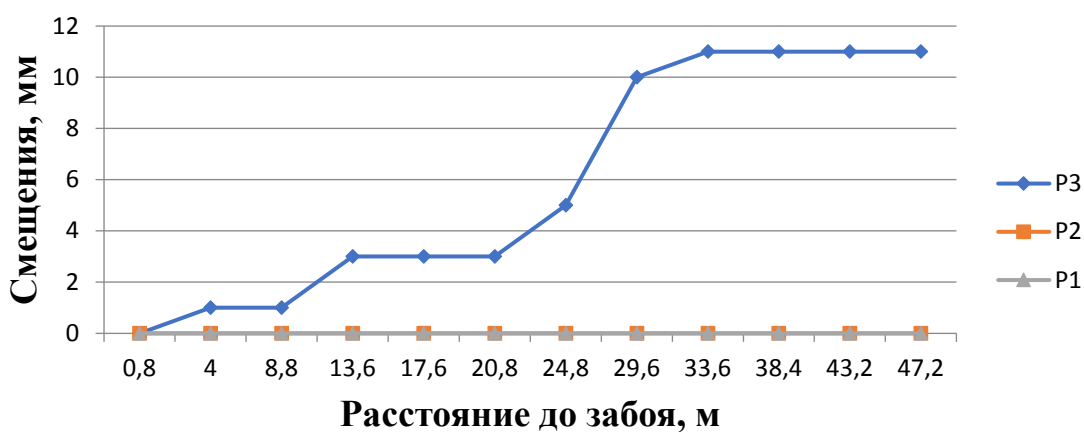


Рисунок 3.6 - Показания реперной станции РГ-3 на ПК 48+10
(глубина заложения: Р1 – 7 м, Р2 – 3,2 м, Р3 – 0,5 м)

При выполнении мероприятий НГР удалось добиться существенного снижения смещений пород кровли, эффективности работы анкерной крепи и поддержания выработки.

Порядок установки реперов типа РГ 3 представлен на рисунке 3.7.

Конструктивно глубинные реперы РГ 3 выполнены в виде полый втулки с осевыми отверстиями, в которых размещены упругие усы (рисунок 3.8), к перекрестию которых присоединены струны. В комплектацию таких реперов входят, кроме базового (а) и контрольного (в), промежуточные реперы (б), которые устанавливаются в промежутках между базовым (а) и контрольным (в) и между контрольным 3 и контурным. Струны 3 от промежуточных реперов (б)

проходят через полость втулок нижерасположенных реперов. Индикаторы (а', б', в') пронумерованы и на них нанесена шкала. Каждому номеру соответствует определенная длина струн.

Относительные смещения реперов (базового, контрольного и контурного) ведется наблюдением положения торцов индикаторов (а', б', в') на шкалах.

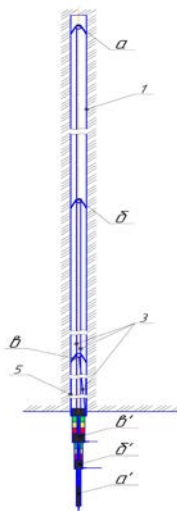


Рисунок 3.7 - Порядок установки репера глубинного РГ 3

Положение промежуточных реперов (б) относительно базового (а) регистрируется по положению индикаторов (а', б', в') относительно базового (а)

По результатам наблюдений определяется величина смещений пород кровли выработки и интенсивность проявления горного давления.

Замерная станция № 1 контроля смещений пород кровли РГ 3 была установлена 12.04.19 г. по конвейерному штреку 555 на ПК 49. Глубина установки реперов замерных станций приведена в таблице 3.1.

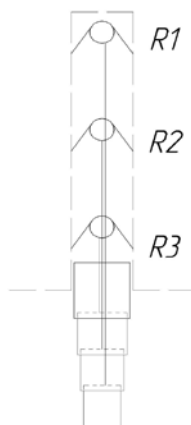


Рисунок 3.8 - Схема расположения реперов

Таблица 3.1 - Глубины установки реперов замерной станции № 1

№ репера	Глубины установки реперов
	Конвейерный штрек 555
R ₁	7,10 м
R ₂	3,30 м
R ₃	2,30 м

Результаты наблюдений со станции РГ 3 ПК 49 представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Результаты наблюдений за смещениями вмещающих пород кровли выработки ПК 49

Дата наблюдений	Положение конвейерного штрека 555	Расстояние до лавы, мм	Сигнал РГ 3			Смещение, мм		
			R1	R2	R3	R1	R2	R3
12.04.19	ПК 52 + 13 м	73	3	3	3	-	-	-
17.04.19	ПК 51 + 8 м	48	3	3	3	0	0	0

Из таблицы видно, что за период с 12.04.19 по 17.04.19 смещение вмещающих пород кровли не происходило.

Для мониторинга смещений пород почвы и параметров выработки выбирались произвольные участки на линейной части конвейерного штрека 555. В почву горной выработки устанавливался анкер длиной 1,0 м параллельно анкеру, установленному в кровлю. Величину смещения ширины горной выработки проводили между двумя боковыми анкерами, установленными на одной линии (схема замеров параметров и схема контроля смещений пород почвы приведены на рисунке 3.9). Станция установлена на ПК 48 + 10 м.

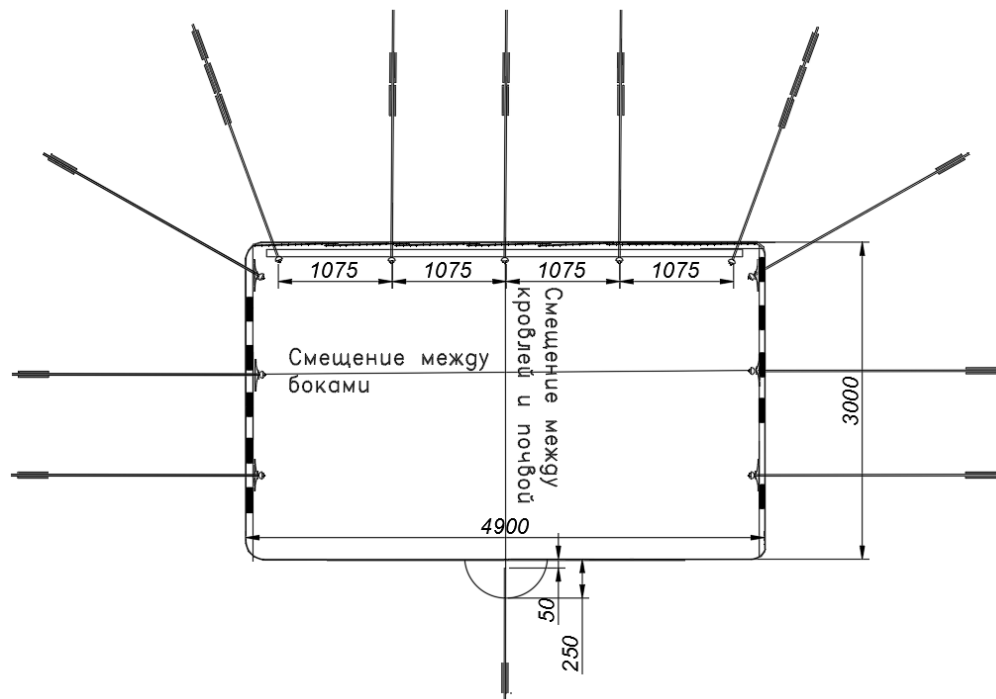


Рисунок 3.9 - Схема замеров конвергенции

Результаты замеров со станции замеров конвергенции и смещения пород кровли представлены на рисунке 3.10 и в таблице 3.3.

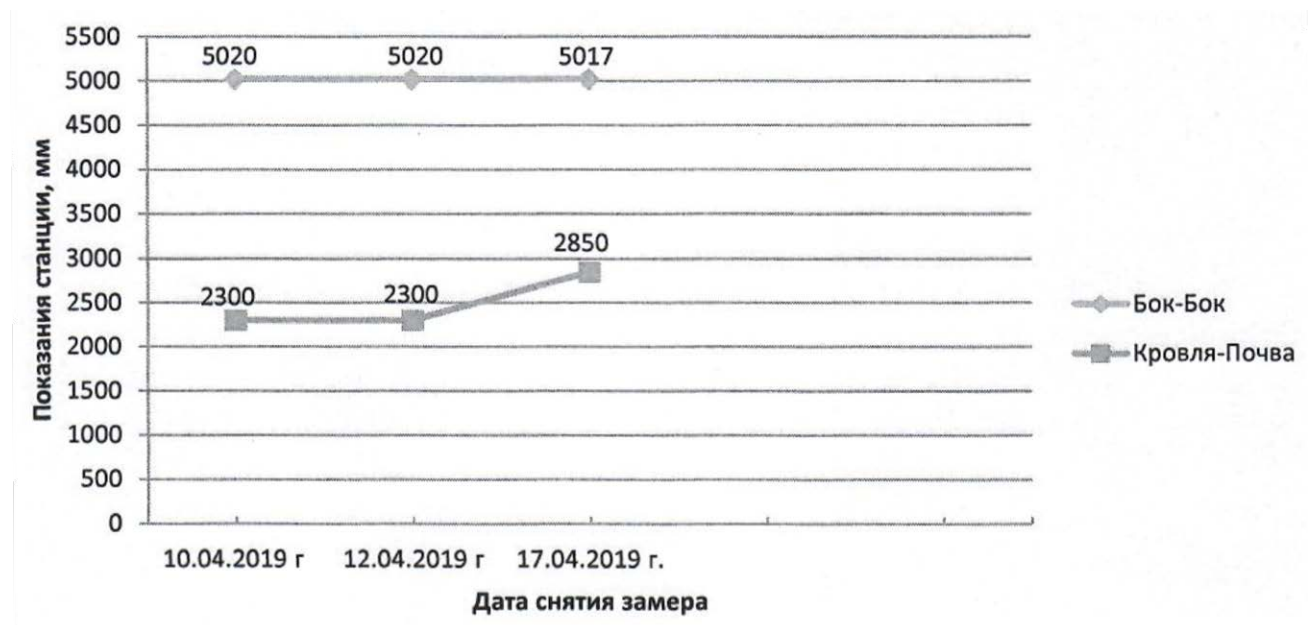


Рисунок 3.10 - Результаты замеров смещений на станции на ПК 48+10

Таблица 3.3 - Результаты замеров смещений на станции № 1, конвейерный штрек 555 ПК 48 + 10

Дата наблюдений	Положение конвейерного штрека 555	Расстояние до лавы, мм	Показания станции, мм		Смещение, мм	
			B	h	B	h
10.04.19	ПК 52 + 16 м	83	5020	2300	-	-
12.04.19	ПК 52 + 13 м	80	5020	2300	0	0
17.04.19	ПК 51 + 8 м	55	5017	2850	3	550

Из рисунка 3.10 и таблицы 3.3 видно, что на участке НГР происходило смещение пород кровли и почвы. Ширина выработки не изменилась с 10.04.19 по 12.04.19, высота не изменилась. После поддира почвы на 550 мм, в период с 12.04.19 по 17.04.19 высота выработки не изменилась, ширина уменьшилась на 3 мм. По результатам наблюдения за смещением пород кровли на станции РГ 3, установленной на ПК 49 м (таблица 3.2) смещение пород кровли не происходило.

После осуществления НГР ГМ на экспериментальном участке проводился мониторинг за смещением пород массива и пласта и боков выработки в районе ПК 58 – ПК 59.

Станция измерения конвергенции (контурная реперная станция) «Кровля-Почва», «Бок-Бок» установлена в районе ПК 58;

Станция глубинных реперов (РГ3) установлена в районе ПК 59.

Для определения величины смещений пород кровли по мере подвигания очистного забоя установлен глубинный репер РГ 3 на замерной станции № 2.

Замерная станция № 2 контроля смещений пород кровли РГ 3 была установлена 11.02.19 г. по конвейерному штреку 555 на ПК 59. Глубина установки реперов замерных станций приведена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Глубины установки реперов замерной станции № 2

№ репера	Глубины установки реперов
	Конвейерный штрек 555
R ₁	7,10 м
R ₂	3,30 м
R ₃	2,30 м

Результаты наблюдений со станции РГ 3 ПК 59 представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Результаты наблюдений за смещениями вмещающих пород кровли выработки ПК 59

Дата наблюдений	Положение конвейерного штрека 555	Расстояние до лавы, мм	Сигнал РГ 3			Смещение, мм		
			R1	R2	R3	R1	R2	R3
11.02.19	ПК 63 + 6 м	86	3	3	3	-	-	-
18.02.19	ПК 62	60	3	3	3	0	0	1
22.02.19	ПК 61 + 6 м	46	3	3	3	0	0	1
25.02.19	ПК 60 + 16 м	36	3	3	3	0	0	5
27.02.19	ПК 60 + 10 м	30	3	3	3	0	0	10

Из таблицы видно, что за период с 11.02.19 по 27.02.19 смещение вмещающих пород кровли на репере нижнего уровня составило 10 мм на расстояние от лавы 30 м.

Для мониторинга смещений пород почвы и параметров выработки выбирались произвольные участки на линейной части конвейерного штрека 555. В почву горной выработки устанавливался анкер длиной 1,0 м параллельно анкеру, установленному в кровлю. Величину смещения ширины горной

выработки проводили между двумя боковыми анкерами, установленными на одной линии. Станция установлена 11.02.19 на ПК 58.

Результаты замеров со станции замеров конвергенции и смещения пород кровли представлены в таблице 3.6 и рис. 3.11

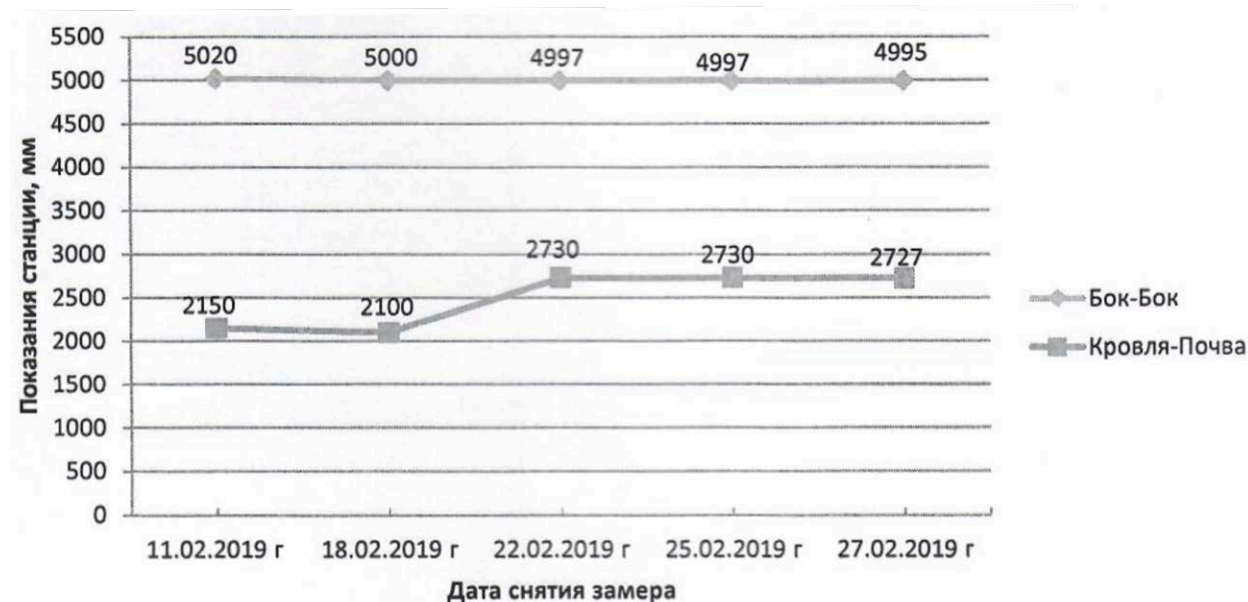


Рисунок 3.11 - Результаты замеров смещений на станции на ПК 58

Таблица 3.6 - Результаты замеров смещений на станции № 2, конвейерный штрек 555 ПК 58

Дата наблюдений	Положение конвейерного штрека 555	Расстояние до лавы, мм	Показания станции, мм		Смещение, мм	
			B	h	B	h
11.02.19	ПК 63 + 6 м	106	5020	2150	-	-
18.02.19	ПК 62	80	5000	2100	20	50
22.02.19	ПК 61 + 6 м	66	4997	2730	23	630
25.02.19	ПК 60 + 16 м	56	4997	2730	0	0
27.02.19	ПК 60 + 10 м	50	4995	2727	2	3

Из рисунка 3.11 и таблицы 3.6 видно, что на участке НГР происходило смещение пород кровли и почвы. Высота выработки уменьшилась на 50 мм с 11.02.19 по 22.02.19, ширина уменьшилась на 23 мм. После поддира почвы на 630 мм, в период с 22.02.19 по 27.02.19 высота выработки уменьшилась на 3 мм, ширина уменьшилась на 2 мм. По результатам наблюдения за смещением пород

кровли на станции РГ 3, установленной на ПК 49 м (таблица 3.5) смещение пород кровли составило 10 мм по реперу нижнего уровня.

После осуществления НГР ГМ на экспериментальном участке проводился мониторинг за смещением пород массива и пласта и боков выработки в районе ПК 69.

Станция измерения конвергенции (контурная реперная станция) «Кровля-Почва», «Бок-Бок» установлена в районе ПК 69 – 3 м;

Станция глубинных реперов (РГ3) установлена в районе ПК 69 + 1 м.

Замерная станция № 3 контроля смещений пород кровли РГ 3 была установлена 14.12.18 г. по конвейерному штреку 555 на ПК 69 + 1 м. Глубина установки реперов замерных станций приведена в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Глубины установки реперов замерной станции № 3

№ репера	Глубины установки реперов
	Конвейерный штрек 555
R ₁	7,10 м
R ₂	3,30 м
R ₃	2,30 м

Результаты наблюдений со станции РГ 3 ПК 59 представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 - Результаты наблюдений за смещениями вмещающих пород кровли выработки ПК 59

Дата наблюдений	Положение конвейерного штрека 555	Расстояние до лавы, мм	Сигнал РГ 3			Смещение, мм		
			R1	R2	R3	R1	R2	R3
14.12.18	ПК 74 + 15 м	114	3	3	3	-	-	-
20.12.18	ПК 72 + 10 м	69	3	3	3	0	0	2

Из таблицы видно, что за период с 14.12.18 по 20.12.18 смещение вмещающих пород кровли на репере нижнего уровня составило 2 мм на расстояние от лавы 69 м.

Для мониторинга смещений пород почвы и параметров выработки выбирались произвольные участки на линейной части конвейерного штрека 555. В почву горной выработки устанавливался анкер длиной 1,0 м параллельно анкеру, установленному в кровлю. Величину смещения ширины горной выработки проводили между двумя боковыми анкерами, установленными на одной линии. Станция установлена на ПК 69 – 3 м.

Результаты замеров со станции замеров № 3 конвергенции и смещения пород кровли представлены на рисунке 3.12 и в таблице 3.9.



Рисунок 3.12 - Результаты замеров смещений на станции на ПК 69 – 3 м

Таблица 3.9 - Результаты замеров смещений на станции № 3, конвейерный штрек 555 ПК 69 – 3 м

Дата наблюдений	Положение конвейерного штрека 555	Расстояние до лавы, мм	Показания станции, мм		Смещение, мм	
			В	h	В	h
14.12.18	ПК 74 + 15 м	118	4710	2410	-	-
20.12.18	ПК 72 + 10 м	73	4700	2390	10	20

Из рисунка 3.12 и таблицы 3.9 видно, что на участке НГР происходило смещение пород кровли и почвы. Высота выработки уменьшилась на 20 мм с 14.12.18 по 20.12.18, ширина уменьшилась на 10 мм. По результатам наблюдения за смещением пород кровли на станции РГ 3, установленной на ПК 69 + 1 м

(таблица 3.8) смещение пород кровли составило 2 мм. Смещение почвы в сторону выработки составило 18 мм.

Выводы

1. Разработан способ и определены параметры направленного гидроразрыва горного массива с целью охраны и повышения устойчивости горных выработок. Сущность способа направленного гидроразрыва горного массива (НГР ГМ) заключается в том, что зависающие (труднообрушаемые) породы основной кровли под воздействием воды высокого давления разделяются на блоки незначительных размеров. НГР ГМ осуществляется специально разработанным горным оборудованием.

2. Формирование зародышевых щелей для дальнейшего гидроразрыва горного массива осуществляется специальными щелеобразователями ЩМ-45/1 или ЩГ-45. При НГР ГМ для увеличения протяженности трещины в нужном направлении необходимо заранее формировать центр напряжений в виде, сформированной предварительно, иницирующей щели определенной протяженности и формы.

Скважины для НГР ГМ герметизируются специальными устройствами типа «Таурус», ГАС-42 или полиуретановыми герметизаторами.

3. Испытания способы направленного гидроразрыва горного массива с целью повышения устойчивости горной выработки и ее охраны проведены на нескольких опытных участках конвейерного штрека 555, в районе ПК 48+10 м; ПК 58 – ПК 59 и ПК 69.

После проведения поддира почвы в выработке на экспериментальных участках смещения пород кровли не превышали 20 мм. Выработка (конвейерный штрек 555) находилась в хорошем рабочем состоянии, деформаций крепи не наблюдалось.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОИНТЕРВАЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА КАК СПОСОБА БОРЬБЫ С ГДЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

4.1. Основные принципы предотвращения внезапных выбросов

Задача предотвращения внезапных выбросов решается путем выполнения комплекса организационных и технологических мероприятий и главным образом путем применения способов предотвращения внезапных выбросов (способов борьбы с выбросами). Способ предотвращения выбросов как сложное инженерное мероприятие включает в себя искусственное воздействие на угольный пласт, вмещающие породы или горный массив в целом, оценку эффективности и меры безопасности при осуществлении воздействия. Воздействие имеет своей целью направленное изменение свойств пласта или пород для достижения следующих эффектов:

- снижения энергетического потенциала массива до уровня, не превышающего минимально необходимого для выполнения работы внезапного выброса;
- повышения энергоемкости рабочих процессов, слагающих механизм внезапного выброса, до уровня, превышающего энергетический потенциал массива;
- уменьшения скорости или изменения характера реализации аккумулированных массивом различных видов энергии (уменьшения мощности рабочих процессов).

Отдельно следует отметить воздействия на массив, направленные на нейтрализацию факторов, инициирующих внезапные выбросы. Эти факторы, будучи несущественными в энергетическом отношении, играют важную роль в природе внезапного выброса, вызывая нарушение неустойчивого (в ряде случаев) силового или энергетического равновесия массива. Согласно исследованиям [70-78], основными и непосредственными инициирующими

факторами в природе внезапных выбросов являются ударообразные сближения зависших прочных вмещающих пород. Эти сближения могут происходить при отсутствии работ в забое, но в большинстве случаев сами инициируются подвиганием забоя, особенно буровзрывным способом.

Все динамические и газодинамические явления на угольных шахтах имеют общую стадию - динамическое разрушение прилегающей к кромке части пласта с образованием крупных, сохраняющих некоторую связность угольных блоков. Если метановыделение из разрушенного таким образом угля окажется достаточным для высвобождения газа с энергией, превышающей работу, необходимую для сдвижения угля, динамическое явление перерастает в собственно внезапный выброс. Разрушенный уголь сдвигается, теряет сцепление, напряжения, вызванные боковым распором на фронте разрушения, резко снижаются, в результате этого активизируются разрушение угля и метановыделение. Начинается стадия одновременного измельчения угля на фронте разрушения и перемещения его по выработке. Таким образом, два основных вида работы при внезапном выбросе - разрушение (дробление) угля и его перемещение по выработке для каждого элемента пласта в начальной стадии выполняются разновременно и за счет различных видов энергии, хотя реализация энергии газа зависит от степени дробления угля, т.е. от запаса потенциальной энергии и механических свойств пласта. Это позволяет предотвращать внезапные выбросы путем избирательного уменьшения количества энергии, направленных на выполнение того или иного вида работы, или путем увеличения энергоемкости этих видов работы. Разрушение пласта при выбросе происходит под действием потенциальной энергии пласта при минимальном участии энергии газа, перемещение разрушенного угля – почти целиком под действием энергии выделяющегося из разрушенного угля газа. Поэтому разгрузка пласта от напряжений предотвращает выбросы, препятствуя разрушению пласта, а дегазация пласта - исключая перемещения угля. В последнем случае газодинамическое явление будет носить форму внезапного отжима или внезапного высыпания [79-85].

Нейтрализация инициирующего фактора достигается путем придания вмещающим породам пластических свойств и устранения зависаний пород по технологическим причинам. По результатам 311 суточных наблюдений за сближениями почвы и кровли в 19 подготовительных забоях шахт Печорского бассейна установлено, что 22% случаев сближения носили динамический ударообразный характер [86-90]. В забоях этим сближениям сопутствовали осыпания пласта, явления типа внезапного отжима, повышение метановыделения и, изредка, внезапные выбросы. Таким образом, динамические разрушения призабойной зоны на выбросоопасных пластах – явления вполне заурядные, не создающие особых опасностей для работающих. Поэтому меры борьбы с выбросами могут быть ориентированы на предотвращение начального сдвижения разрушенного угля и последующего его перемещения по выработке. Это перемещение, во-первых, является непосредственной причиной травмирования работающих, и, во-вторых, именно оно вызывает развитие и интенсификацию процесса внезапного выброса в целом.

Условие сдвижения с преодолением сцепления разрушенного в массиве угля и развитие собственно внезапного выброса определяется уравнением [91]:

$$Q_c = \frac{K_p}{x\eta} \left[2fN \frac{m+d}{md} + g\gamma_p (f \cos \alpha \pm \sin \alpha) \right], \quad (4.1)$$

а условие перемещения угля по выработке – уравнением

$$Q_{\pi} = \frac{K_{\pi} \gamma_{\pi} g}{x\eta} (f \cos \alpha' \pm \sin \alpha'), \quad (4.2)$$

где Q_c , Q_{π} – суммарное удельное метановыделение из разрушенного угля, при котором обеспечивается сдвижение или перемещение угля, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

K_p – газопроницаемость разрушенного угля, м^2 ;

x – показатель, характеризующий площадь приложения газового давления;

η – вязкость метана, (Н·с)/ м²;

f - коэффициент трения;

N – несущая способность разрушенного угля, МПа;

m – мощность пласта, м;

d – ширина выработки (полости выброса), м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

γ_p – плотность разрушенного угля, кг/м³;

α – угол наклона оси полости выброса к горизонтальной плоскости, град.;

K_v – газопроницаемость раздробленной угольной масса, м²;

γ_v – плотность раздробленной перемещающейся угольной массы, кг/м³;

α' – угол наклона выработки к горизонтальной плоскости, град.

Метановыделение Q из разрушенного угля является функцией метаноносности угля в призабойной зоне, способности угля к газоотдаче и степени дробления угля. Последняя в свою очередь определяется энергоемкостью разрушения угля (прочностью угля) и запасами энергии в призабойной зоне. Все указанные факторы количественно характеризуются параметрами, значения которых изменяются в ту либо другую сторону в результате воздействия на пласт. Воздействие на пласт эффективно, если совокупное искусственное изменение параметров пласта приводит к снижению метановыделения Q до уровня, не превышающего значений, определяемых формулами (4.1) и (4.2).

Метановыделение в процессе разрушения угля определяется интегральным уравнением

$$Q = \int_0^{L_p} \frac{mdD\sqrt{P_H - P_H e^{-cl^2}}}{(\beta R)^{1/\alpha} \sqrt{\frac{L_p - l}{v_p} + 1}} (U - U_o)^{1/\alpha} dl, \quad (4.3)$$

где L_p – удаление фронта разрушения от кромки пласта в рассматриваемый момент времени, м;

D – показатель, характеризующий способность угля к газоотдаче, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{1/2} \cdot \text{МПа}^{1/2})$

P_n – начальное газовое давление в пласте, МПа;

c – показатель, характеризующий газопроницаемость пласта, $1/\text{м}^2$;

l – расстояние от кромки пласта до рассматриваемого элемента пласта, имеющего толщину dl , м;

β – размерный коэффициент, $\text{м}^{\alpha-1}$;

R, α – показатели энергоемкости разрушения угля;

v_p – скорость распространения фронта разрушения, м/с;

U – потенциальная энергия пласта на фронте разрушения, м/с;

U_o – остаточная потенциальная энергия разрушенного угля на фронте разрушения, Дж/м³.

Расчет по уравнению (4.3) производится при значениях параметров пласта, изменившихся в результате воздействия на него. Эти параметры обеспечивают эффект в том случае, когда достигается условие $Q < Q_c^*$ или $Q < Q_{п}^*$. Метановыделение Q возрастает с увеличением L_p , но за пределами точки максимума напряжений уменьшается энергия U (при постоянном увеличении остаточной энергии U_o), соответственно уменьшаются степень дробления угля, значение Q и вероятность перерастания динамического разрушения пласта в собственно внезапный выброс. Поэтому расчет по уравнению (4.3) достаточно произвести при значениях L_p , не превышающих расстояния от кромки пласта до точки максимума напряжений.

Для рационального осуществления способов предотвращения выбросов недостаточно определить значения вторичных параметров пласта, при которых исключается возможность возникновения выбросов, необходимо также знать параметры воздействия на массив, при которых такой эффект достигается. Из уравнения (4.3) можно определить безопасное значение остаточного

(вторичного) газового давления в призабойной зоне для способа предотвращения выбросов путем дегазации пласта, но для практического использования этого способа должны быть определены параметры воздействия, при которых достигаются эффективные значения вторичных параметров пласта, т.е. расстояние между скважинами, время дренирования и т.д. Зависимость между параметрами воздействия и эффективными значениями вторичных параметров пласта должна определяться механизмом (теорией) каждого способа воздействия. Но для большинства применяемых способов воздействия теории не разработаны, поэтому остается необходимость определения этих зависимостей опытным путем для каждого конкретного случая.

Способы воздействия, применяемые с целью предотвращения выбросов, обеспечивают достижение одного, реже двух и более эффектов из названных выше. Но большинство известных применявшихся и применяемых способов оказывают на горный массив по различным его параметрам не только положительные, но и отрицательные воздействия. Например, увлажнение пластов наряду с другими воздействиями снижает напряженность пласта, но одновременно уменьшает энергоемкость разрушения угля и значение его модуля упругости. Отрицательные воздействия при общей оценке эффективности способов предотвращения выбросов не учитываются, несмотря на явную в ряде случаев необходимость такого учета. Учет отрицательных воздействий может быть осуществлен путем использования для расчетов уравнения (4.3).

Практическое использование предложенных уравнений затруднено необходимостью определения большого количества параметров пласта, причем наибольшие сложности возникают при определении действующих в пласте напряжений, по которым рассчитывается энергия U . Если же имеется достаточная информация о свойствах пласта, расчетное определение параметров способов борьбы с выбросами вполне осуществимо [92-95].

4.2. Управляемое высвобождение энергии горного массива при гидрорыхлении

Эффективность гидрорыхления угольного пласта как локального способа борьбы с выбросами достигается на современных глубинах разработки при условии соответствия применяемых параметров способа конкретным горно-геологическим условиям.

Для обеспечения высокой надежности устранения выбросоопасности угольного массива как в процессе выполнения гидрорыхления, так и при последующем ведении горных работ, параметры способа принимаются в зависимости от глубины залегания выработки, угла падения и мощности пласта, крепости угля – по инженерному методу расчёта параметров гидрорыхления [96-102].

Главной научной предпосылкой, послужившей основой для инженерного метода определения параметров гидрорыхления, явилось положение о возможности управления процессом высвобождения энергии горного массива, сущность которого заключается в эквивалентности высвобождаемой из угольного массива энергии и полезной работы высоконапорной установки [96].

При разработке инженерного метода определения параметров гидрорыхления первоначально была исследована физико-математическая модель воздействия высоконапорной жидкости на призабойную часть выбросоопасного пласта. Угольный пласт в этой модели рассматривается как трещиновато-пористое тело, отдельные блоки которого практически газонепроницаемы [98]. При наличии горной выработки действующие силы горного давления обуславливают в призабойной части пласта формирование неравнокомпонентного поля напряжений, обобщенное напряжение которого возрастает по мере удаления от забоя практически по линейному закону. В таком поле напряжений нагнетание воды в пласт приводит к образованию впереди забоя трещинного коллектора, имеющего тенденцию к перерастанию в одну водопроводящую трещину [100]. При формировании трещинного коллектора

под воздействием давления воды происходят деформации обжатия отдельных угольных блоков, нарушение целостности угольного массива, отжим призабойной части пласта в выработку и интенсивная конвергенция вмещающих пласт пород. В призабойной части пласта образуется система водопроводящих трещин, давления нагнетания падает и создаются условия для дегазации угольного массива. При этом из горного массива высвобождается энергия, равная работе высоконапорной жидкости.

После проведенного гидрорыхления в угольном пласте формируется вторичное поле напряжений, характеризуемое пониженной энергоемкостью, как результат сближения пород кровли и почвы пласта.

Из изложенного следует, что наиболее полный эффект от нагнетания воды в пласт достигается в том случае, когда из призабойной части пласта высвобождается весь запас энергии, накопленный в ней первоначально. Поэтому сущность управляемого высвобождения энергии из горного массива заключается в таком рациональном энергетическом воздействии на пласт, работа которого соответствовала бы энергоемкости принятой к обработке части угольного массива.

Рациональность энергетического воздействия достигается с одной стороны выбором соответствующей глубины герметизации скважины, при которой реализуется процесс гидрорыхления угольного пласта, а с другой – нагнетанием в пласт соответствующего количества высоконапорной жидкости.

В общем случае энергия призабойной части пласта, оконтуренной по направлению выработки глубиной герметизации скважины, а по ширине забоя двумя радиусами ее эффективного действия, т.е. имеющей размер 1,6 глубины герметизации, может быть рассчитана по формуле:

$$W = \frac{K^2 \cdot (1 - 2\mu) \cdot l_r^4}{m \cdot E}, \quad (4.4)$$

где W – энергия призабойной части пласта, Дж;

K – предел прочности угля на срез ($K = 2,25 \cdot f$ МПа, здесь f – коэффициент крепости угля);

μ – коэффициент Пуассона;

l_r – глубина герметизации скважины, м;

m – мощность пласта, м;

E – модуль упругости угля ($E \approx 10^3$ МПа).

Полезная работа высоконапорной установки с постоянной подачей, совершаемая в угольном массиве водой под давлением, может быть определена из выражения:

$$A = \frac{P_{max} - P_{min}}{2} \cdot Q \approx \frac{K \cdot l_r}{m} \cdot Q, \quad (4.5)$$

где A – полезная работа гидрорыхления, Дж;

P_{max}, P_{min} – соответственно максимальное и минимальное давление воды в скважине, МПа;

Q – количество нагнетаемой воды, м³.

Необходимое количество воды для нагнетания в одну скважину определяется из условия эквивалентности (4.4) и (4.5):

$$Q = \frac{K \cdot (1 - 2\mu) \cdot l_r^3}{E} \approx 0,01 \cdot l_r^3 \cdot f \quad (4.6)$$

В соответствии с действующей «Инструкцией...» [5] количество воды, нагнетаемой в скважину, определяется из выражения:

$$Q = \frac{1,6 \cdot l_r \cdot (l_r + 2) \cdot m \cdot \gamma_y \cdot g}{1000} \approx 0,012 \cdot l_r \quad (4.7)$$

где γ_y – плотность угля, т/м³;

g – удельный расход воды, л/т ($g = 20$ л/т).

Сопоставление выражений (4.6) и (4.7) показывает, что результат расчета необходимого количества воды по (4.6) в большей степени соответствует конкретным горногеологическим условиям реального забоя, так как при этом учитываются прочностные свойства угля.

4.3. Разработка рекомендаций применения ориентированного поинтервального гидроразрыва пласта как способа борьбы с ГДЯ при проведении горной выработки

4.3.1. Общие сведения

Угольный пласт обладает свойством удерживать значительное количество метана в сорбированном состоянии при соответствующих термодинамических параметрах (давлении и температуре). Удаление метана из пласта возможно при условии нарушения сорбционного равновесия и увеличения проницаемости горного массива, как угля, так и вмещающих пород, через который метан движется к дегазационным скважинам.

Анализ методов повышения интенсивности дегазации пластов и массивов показывает, что для повышения газоотдачи пласта очень часто применяется гидравлический разрыв пласта (ГРП); менее часто методы кавитации и расширения открытого забоя дегазационной скважины. Лучшие результаты достигаются, когда трещина гидроразрыва перпендикулярно пересекает естественные трещины в массиве или пласте [103-105].

Наличие естественных или техногенных трещин способно изменить направление распространения искусственных трещины гидроразрыва (ГРП):

- искусственная трещина (ГРП) способна пересечь систему естественных трещин;
- искусственная трещина (ГРП) способна изменить направление и распространяться под любым углом к естественным и техногенным трещинам.

Практический опыт показывает, что необходимы высокая скорость подачи жидкости (воды) и высокая вязкость жидкости для распространения трещины

вкрест системы трещиноватости в горном массиве. Иначе возможно изменение направления и раскрытие уже существующих трещин в массиве. Горный массив подвержен трем главным напряжениям: одному вертикальному и двум горизонтальным. В момент проведения ГРП формируемая трещина распространяется по направлению наименьшего сопротивления перпендикулярно к направлению действия главного напряжения с минимальным значением [106].

Ориентированный поинтервальный гидроразрыв используется для снижения времени и повышения эффективности предварительной дегазации пластов и вмещающих пород в шахте. Сущность способа заключается в формировании в пласте системы искусственных трещин гидроразрыва определенной конфигурации. Трещины служат для разгрузки горного массива и создания в нем специальных каналов для осушения горных пород и дегазации массива [107].

Рост проницаемости призабойной зоны угольного пласта при использовании ГРП происходит благодаря образованию новых трещин или раскрытия и продления в нем естественных трещин. Искусственные трещины, сформированные в процессе ориентированного поинтервального гидроразрыва пласта, могут быть в длину несколько десятков метров и, соединяясь между собой, значительно увеличивают проницаемость угольного пласта и горного массива и повышают эффективность дегазационной скважины. Этот способ, на сегодняшний день, является наиболее эффективным методом повышения дебита дегазационной скважины, что приводит к снижению выбросоопасности угольного пласта [106].

Экспериментальные работы проведены в конвейерном штреке 559 шахты «Чертинская-Коксовая» (см. рис 4.1).

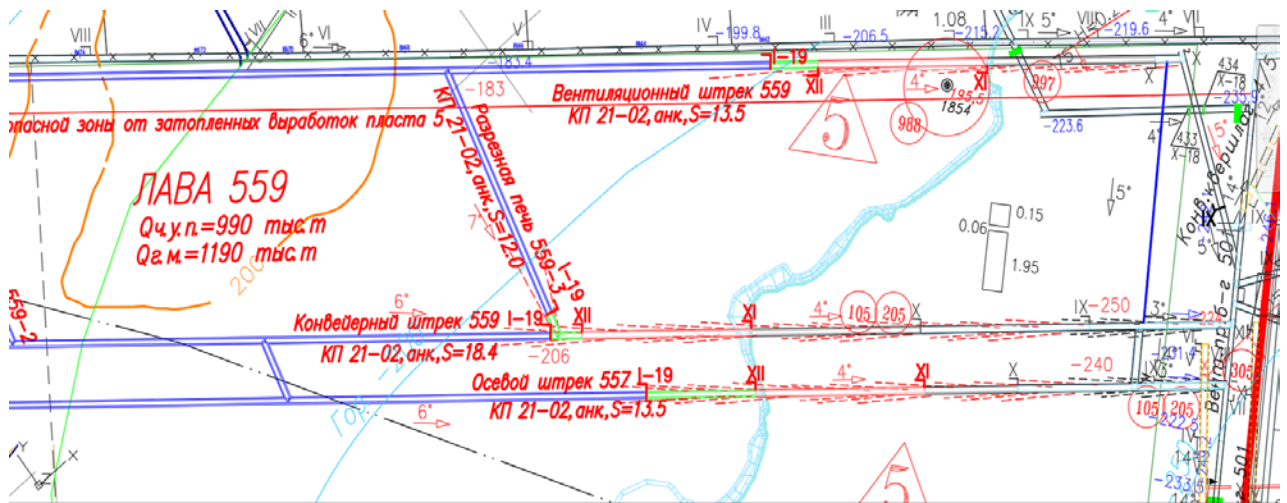


Рисунок 4.1 - Выкопировка из плана горных работ пласта 5

4.3.2. Условия применения и оборудование для ориентированного поинтервального гидроразрыва пласта

Поинтервальный ориентированный гидроразрыв пласта и горного массива используется для повышения трещиноватости пласта, для повышения продуктивности дегазационных скважин [106].

Гидроразрыв пласта производится водой, нагнетаемой специальным насосным оборудованием под давлением до 16 МПа. Гидроразрыв пласта прекращают после закачки в пласт или массив определенного объема воды или появления ее в прилегающих выработках [98, 99, 107].

Устройство, предназначенное для поинтервального разрыва пласта представлено на рисунке 4.2 [106].



Рисунок 4.2 - Разрывное устройство

1 и 2 – упруго расширяющиеся гибкие рукава, 3 – распределитель давления,
4 – запорный наконечник, 5 – соединительная муфта.

Распределитель давления (межпакерный клапан) служит для герметизации дегазационной скважины в зоне между упруго расширяющимися гибкими рукавами и повышения давления воды в рабочей зоне до предельной величины, достаточной для гидроразрыва угольного пласта или горного массива [106, 108].

Распределитель давления (межпакерный клапан) представлен на рисунке 4.3.

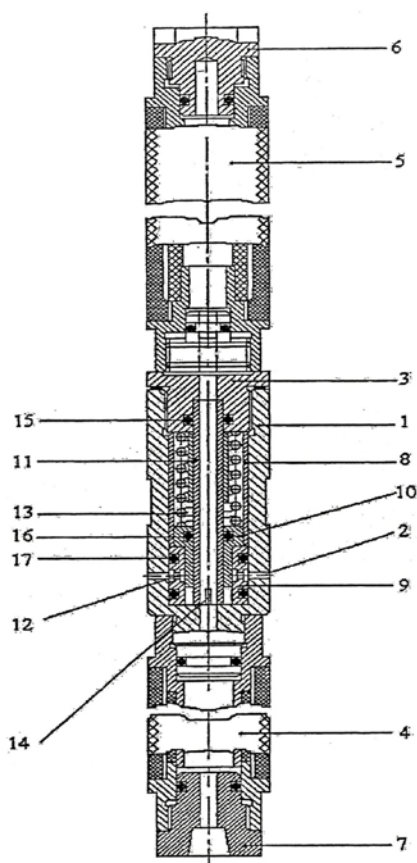


Рисунок 4.3 - Распределитель давления (межпакерный клапан)

Устройство состоит из полого корпуса, выполненного в виде металлического стакана 1 с отверстиями 2 для прохода воды, соединенного открытой частью с полый металлической втулкой 3 посредством метрической резьбы. На концах металлического корпуса распределителя давления закреплены упруго расширяющиеся гибкие рукава 4 и 5 способные расширяться под действием давления воды. В полости металлического корпуса у дна стакана закреплена посредством распорной металлической втулки 8 уплотнительная втулка 9, в которой размещен золотник 10, в центральное отверстие которого входит пустотелый патрубок 11, установленный между дном стакана 1 и торцом углубления в полый втулке 3. В стенках уплотнительной втулки 9 имеются радиальные отверстия 12, оси которых совпадают с осями отверстий 2 в стенках стакана 1. Фиксация золотника 10 к торцу уплотнительной втулки 9 осуществляется пружиной 13, установленной между золотником 10 и дном втулки 3. На торцах (со стороны дна стакана 1) золотника 10 и пустотелого патрубка 11 имеются шлицевые прорези соответственно

14 и 15. Уплотнения 16 в полый втулке 3, 17 в золотнике 10 и 18 в уплотнительной втулке 9 обеспечивают герметичность всех соединений устройства. Поверхность отверстия уплотнительной втулки 9 притерта по наружному диаметру золотника 10, что также обеспечивает достаточную герметичность соединения [101-102, 106, 108].

Под действием горного давления происходит раскрытие только что созданных искусственных трещин. Для осуществления метода ГРП через дегазационные скважины разработаны специальные технические устройства. ГРП приводит к формированию дренажных трещин, обладающих высокой проводимостью и обширной протяженностью в районе дегазационных скважин, посредством раскрытия естественных нарушений трещиноватости и слоистости при развитии новых трещин [100, 109-114].

Схема расположения оборудования для поинтервального гидроразрыва представлено на рисунке 4.4. Схема расположения скважин в конвейерном штреке 559 показана на рисунке 4.5.

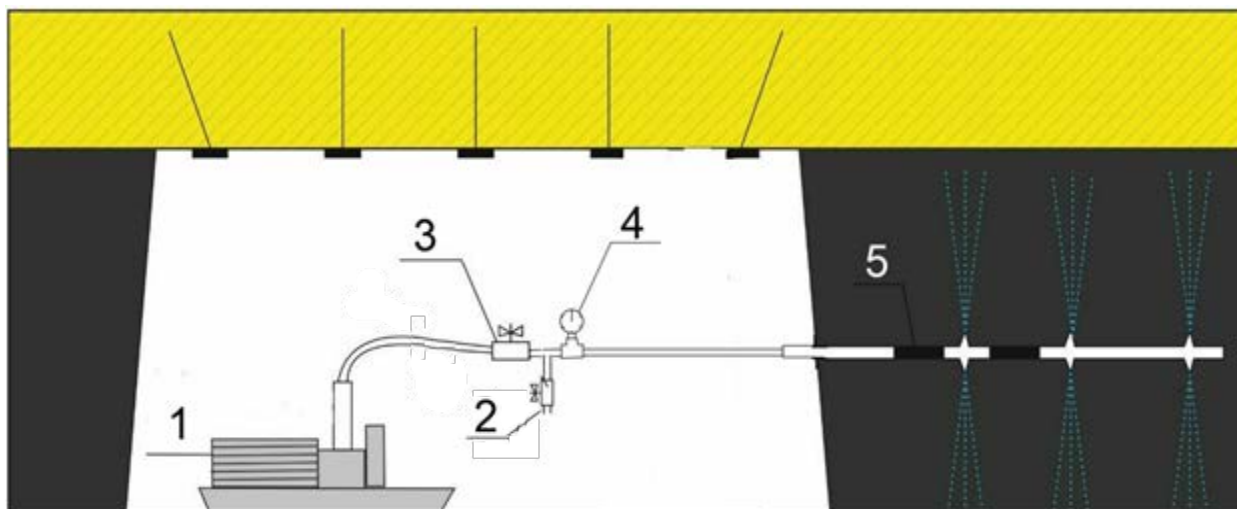


Рисунок 4.4 - Технологическая схема расположения оборудования

1 – насос НТП-01; 2 – кран слива; 3 - вентиль высоконапорный; 4 – манометр;
5 – разрывное устройство (патент №133871, №123064)

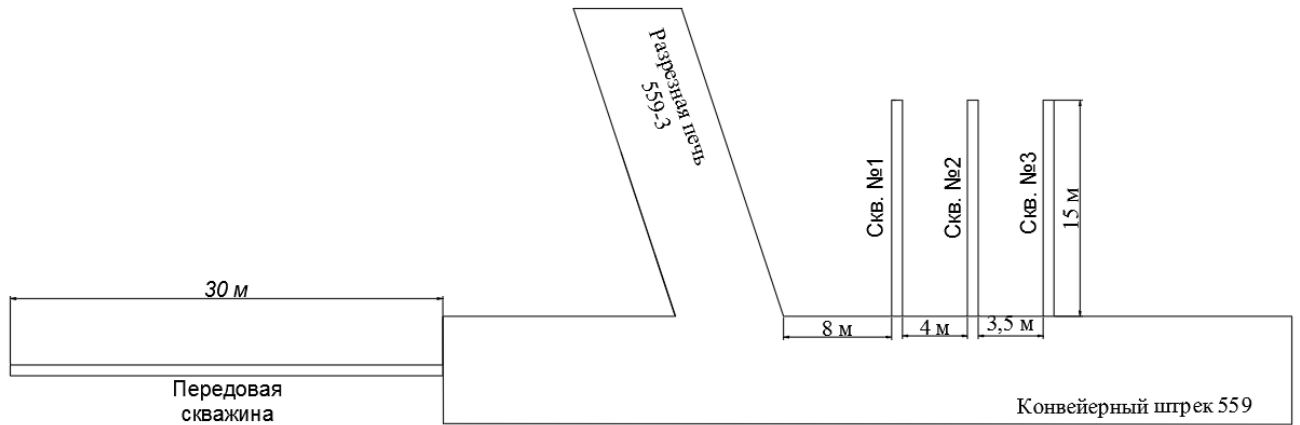
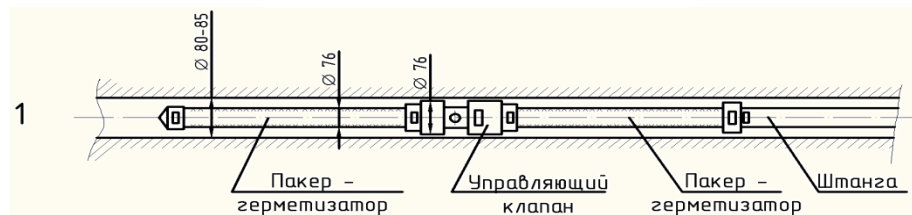
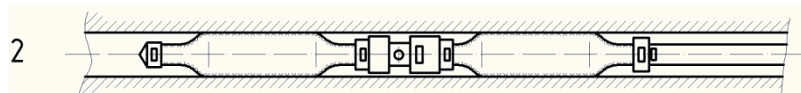


Рисунок 4.5 - Схема расположения скважин в конвейерном штреке 559.

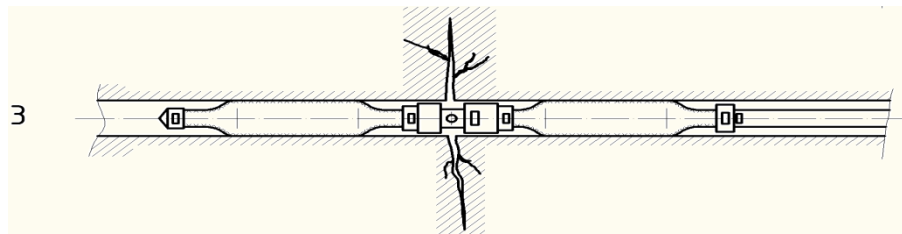
Эффективность дегазации неразгруженного углепородного массива можно улучшить за счет повышения коллекторских свойств пласта на основе метода поэтапного процесса герметизации скважины и гидроразрыва угольного пласта (рис. 4.6).



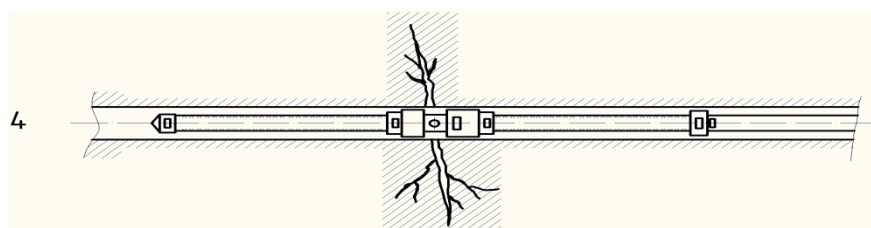
- досылка разрывного устройства к участку гидроразрыва в теле скважины;



- подача давления в систему и герметизация скважины по обе стороны от клапана разрыва;



- процесс создания в угольном массиве искусственных трещин;



- сброс давления из системы, перемещения разрывного устройства к следующему участку гидроразрыва в теле скважины.

Рисунок 4.6 - Поэтапный процесс герметизации скважины и гидроразрыва угольного пласта.

Реализация метода ориентированного поинтервального гидроразрыва включает в себя последовательное выполнение следующих технологических операций:

1. Бурение скважины.

Место бурения и параметры скважины (глубина и угол наклона) определяются специалистами организации исполнителя или, при проведении работ по поинтервальному гидроразрыву пласта в скважинах предварительной дегазации, - в соответствии проектом дегазации. Для бурения скважин необходимо использовать предварительно подготовленные буровые коронки диаметром 92 мм. Устанавливается буровой станок и пробуривается скважина. Перед бурением скважины помощник заправляет буровую штангу в станок и подает воду для промывки. Машинист бурового станка приступает к бурению и следит за креплением станка и промывкой скважины.

2. Выполняется замер дебита метановоздушной смеси и концентрации газа в скважине до выполнения работ по гидроразрыву.

Замер дебита метановоздушной смеси и концентрации газа производится перед монтажом оборудования гидроразрыва. Необходимые замеры производятся силами надзора участка ВТБ шахты в соответствии с рекомендациями, «Инструкции по дегазации угольных шахт», утвержденной приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 1 декабря 2011 г. №67.

3. Контроль состояния скважин для поинтервального гидроразрыва пласта.

Перед началом работ по гидроразрыву пласта выполняется оценка длины скважин гидроразрыва. Для проведения измерений используется акустический скважинный уровнемер, предназначенный для изучения состояния разведочных или дегазационных скважин, либо иное устройство, обеспечивающее

возможность измерения длины скважины с погрешностью не более 1%. Уровнемер должен быть выполнен во взрывозащищенном исполнении. Шахтные и камеральные работы в рамках оценки состояния скважин для поинтервального гидроразрыва пласта выполняется представителями шахты и КФ АО «ВНИМИ».

4. Сборка и монтаж высоконапорного оборудования и контрольно – измерительной аппаратуры.

На трубопроводе высокого давления разрывное устройство подается в скважину на необходимую глубину, при этом расстояние между устьем скважины и хвостовой частью трубопровода должно быть $\approx 0,5$ м. Трубопровод подключается к насосной станции посредством рукавов высокого давления, в которые монтируется контрольно-измерительная аппаратура (см. рис. 4.4).

5. Нагнетание рабочей жидкости в скважину.

Включается подача рабочей жидкости от насосной установки. В процессе нагнетания рабочей жидкости в скважину необходимо находиться на безопасном расстоянии от устья скважины (≈ 10 м).

Производится гидроразрыв углепородного массива, о чем свидетельствует падение давления в системе (давление гидроразрыва зависит от свойств массива).

Продолжительность нагнетания рабочей жидкости в каждый интервал составляет 15-20 мин. Выключается подача рабочей жидкости и дренажным краном сбрасывается давление в упруго расширяющихся рукавах.

6. Производится демонтаж оборудования.

7. Выполнение замеров дебита метановоздушной смеси и концентрации газа в скважине после выполнения работ по гидроразрыву.

Замер дебита метановоздушной смеси и концентрации газа производится после прекращения обильного выхода воды из скважины. Далее замер дебита метановоздушной смеси и концентрации газа производится ежесуточно.

8. Подключение дегазационной скважины к системе вакуумной дегазации шахты.

Для выполнения работ по ориентированному гидроразрыву администрацией шахты назначаются горнорабочие, в обязанности которых входит бурение скважин, монтаж, демонтаж и перенос оборудования, необходимого для проведения поинтервального гидроразрыва. Контроль и курирование работ осуществляется представителями КФ АО «ВНИМИ».

4.3.3. Контроль параметров поинтервального гидроразрыва угольного пласта

Для верификации процесса гидроразрыва при переходе к оценке его эффективности на каждом интервале осуществляется качественный контроль параметров гидровоздействия путем оценки изменения давления в скважине при нагнетании рабочей жидкости.

Давление нагнетаемой жидкости при гидроразрыве должно быть не менее расчетного значения, определяемого по формуле [102]:

$$P = \rho g H, \text{ н/м}^2, \quad (4.8)$$

где ρ – плотность угля (породы), кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – глубина проведения работ, $H = 560$ м.

Минимальная величина давления жидкости по формуле (4.8) составит 8,0 МПа.

Для мониторинга изменений давления в скважине при гидродинамическом воздействии используется глубинный электронный манометр.

Электронный автономный манометр (ЭАМ) представлен на рисунке 4.7 и используется для регистрации давления до 34 МПа и температуры среды в пределах от 0 до +150°C, с временем задержки измерения от 0 сек. до 18 ч. с интервалом измерений 1 сек. – 1 ч. Технические характеристики манометра представлены в таблице 4.1.

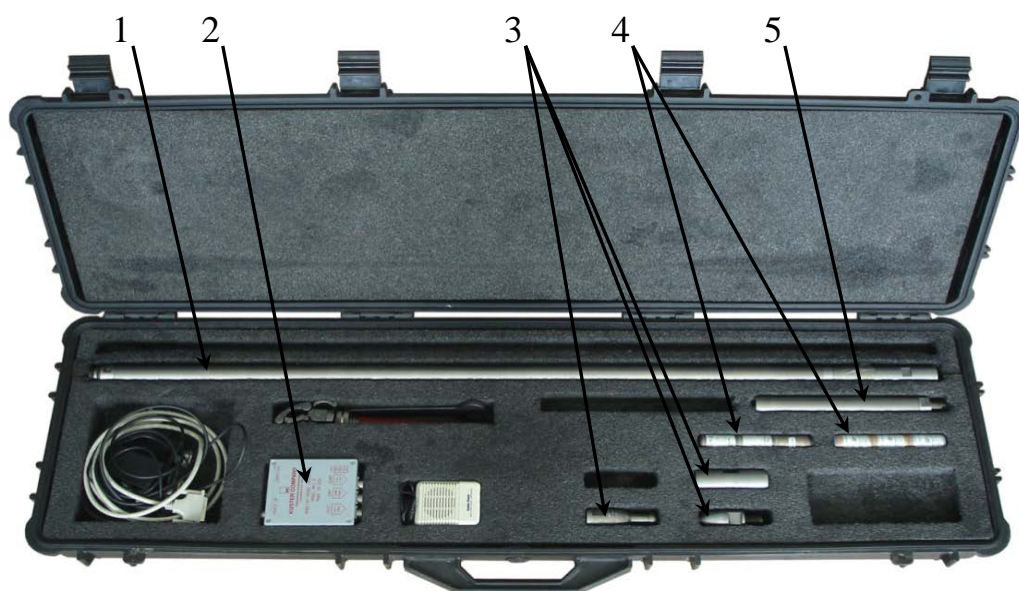


Рисунок 4.7 - Глубинный автономный манометр K8S:

1 – электронный автономный манометр; 2 – интерфейс монитор-зонд (MPI);

3 – переходники; 4 – элементы питания; 5 – блок питания

Таблица 4.1 - Технические характеристики автономного манометра K8S

Параметры	Значения
Наружный диаметр, мм	32,5
Давление: допустимое, МПа	34
погрешность, %	0,05
разрешение, %	0,002
Температура: допустимая, °C	+150
погрешность, °C	+/-1
разрешение, °C	0,01
Интервал снятия замера, сек.	1÷3600

С целью подключения датчика давления к системе нагнетания воды используется колба высокого давления (рис. 4.8), которая состоит из рукава с металлонавивкой (EN 856 4SH), переходника и цельнометаллической заглушки. Технические характеристики колбы высокого давления представлены в таблице 4.2.

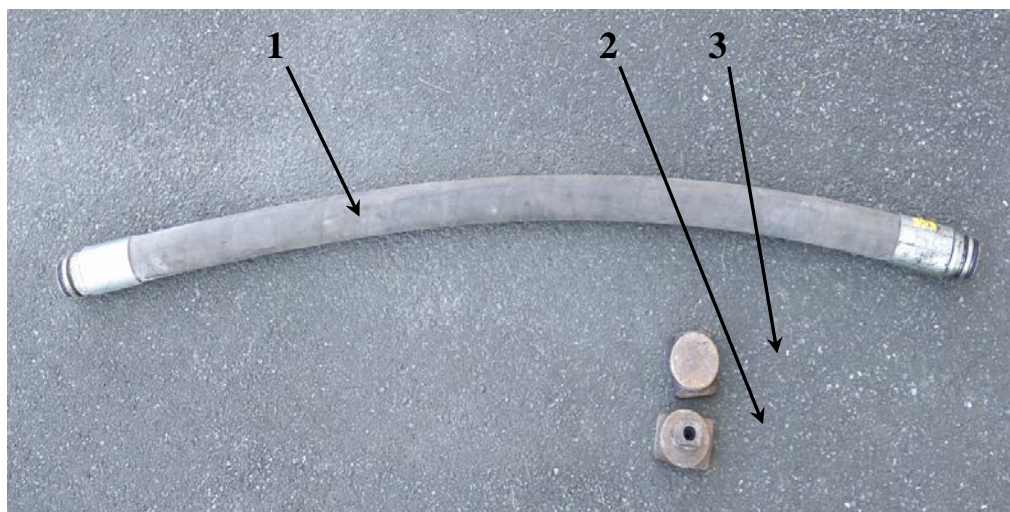


Рисунок 4.8 - Колба высокого давления:

1 – рукава с металлонавивкой 4SH; 2 – заглушка; 3 – переходник

Таблица 4.2 - Технические характеристики колбы высокого давления

Параметры	Значения
Условный проход, мм	50
Наружный диаметр, мм	68,1
Давление: рабочее, МПа	25
разрывное, МПа	100
Температура: рабочая, °C	от - 40 до + 100
максимальная, °C	+120

Подача флюида в скважину осуществляется при помощи насосной станции. Станция может устанавливаться непосредственно на почву или колесную платформу. Работы по осуществлению качественного контроля параметров гидровоздействия выполняются в следующем порядке:

- программирование и подготовка электронного манометра;
- размещение манометра в колбу высокого давления;
- подключение основного и вспомогательного оборудования к скважине;
- подготовка насосной станции;

- нагнетание флюида в скважину;
- ожидание падения давления;
- отключение оборудования и экспорт данных из электронного манометра;
- анализ и интерпретация полученных данных;
- оформление результатов.

Предварительно запрограммированный электронный манометр устанавливается в скважину гидровоздействия или подключается к системе подачи флюида. Время подсоединения литиевых батарей и параметры скважины фиксируются. Затем насосное оборудование подключается к оголовку скважины.

Расположение оборудования и подключение его к скважине схематично представлено на рисунке 4.9. После осмотра и подготовки оборудования выполняются работы по нагнетанию флюида в скважину до наступления гидроразрыва.

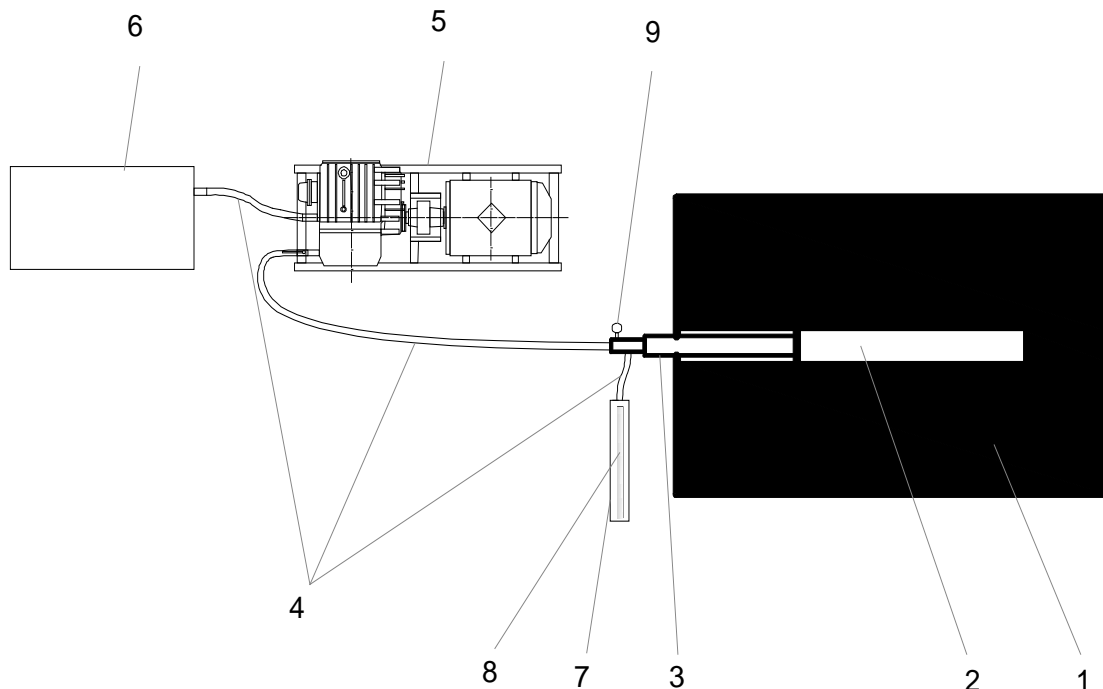


Рисунок 4.9 - Схема подключения оборудования к скважине

- 1 – угольный пласт; 2 – исследуемая скважина; 3 – обсадная труба;
 4 – рукав высокого давления; 5 – насосная станция; 6 – емкость для воды;
 7 – колба высокого давления; 8 – автономный манометр; 9 – механический манометр

Нагнетание воды под давлением в дегазационную скважину производится с помощью высоконапорной насосной станции. Место размещения насосной станции – вентиляционные, откаточные и конвейерные штреки с углом наклона не более 10^0 . Технические характеристики насосной станции УАВ2М 160, которая устанавливалась в конвейерном штреке 559 непосредственно на почву, представлены в таблице 4.3.

Насос пропиточный НПТ-01 представляет собой агрегатированный «стандартный» насос высокого давления (насос трехцилиндровый с нерегулируемой подачей) с гидромотором высокого давления.

Таблица 4.3 - Технические характеристики насоса УАВ2М 160

Параметры	Значения
Производительность, л/мин	300
Рабочее давление, МПа	30
Емкость резервуара, л	2000
Мощность двигателя, кВт	90

Насос пропиточный НПТ-01 предназначен для нагнетания под давлением воды в угольный массив, с целью предотвращения выбросов угля и газа, уменьшения пылеобразования при отработке угольного массива.

Насос компактен и возможно его перемещение на небольшие расстояния (к месту работы и обратно к месту хранения) вручную без вспомогательных транспортных и подъёмных механизмов. Насос оснащен штрековым фильтром, приборами контроля давления и расхода (производительности) воды нагнетаемой в пласт, редукционным узлом подготовки воды, подаваемой к пропиточному насосу (давление воды на входе в повысительную помпу не должно превышать 8 атм.), напорная линия оснащена предохранительным гидроклапаном. Конструкция насоса разработана с учетом требований безопасности и надежности. Насос подключается к имеющейся гидравлической

системе комбайна или иным источникам гидравлического масла или эмульсии под давлением.

Вода от пожарно-оросительного трубопровода через штрековый фильтр (фильтрация воды обязательна) подается в насос через редукционный узел, где происходит понижение давления воды менее 8 атмосфер, контроль ведется по манометру, установленному после редукционного клапана. Также перед насосом установлен водосчетчик ВСКМ 90-20. Повысительный насос производит подачу (нагнетание) воды в пласт с максимальным давлением до 150 атмосфер. Для предотвращения аварийных ситуаций и надежной долговечной работы насоса в напорную линию встроен гидроклапан предохранительный прямого действия, который настраивается на давление срабатывания 150 атмосфер, контроль ведется по манометру, установленному после гидроклапана в корпусе.

Основные технические характеристики насоса пропиточного НПТ-01 представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Технические характеристики насоса пропиточного НПТ-01

№ п/п	Наименование параметра	Единица измерения	Значение
1	Производительность	л\мин	
	Максимальная при 1450 об/мин		50
	При 1000 об/мин		35
2	Максимальное давление в нагнетательной магистрали	МПа	15
3	Максимальное давление в подающей магистрали	МПа	
	До редукционного узла, не более		4
	После редукционного узла, не более		1
4	Привод вращения рабочего органа - гидравлический	МПа	
	Номинальное давление в гидросистеме		25
	Максимальное давление в гидросистеме		28

5	Масса насоса	кг	80
6	Частота фильтрации подаваемой воды	мкм	100
7	Рабочая жидкость насоса - чистая пресная вода		
8	Рабочая жидкость гидропривода - минеральное масло, масляные эмульсии в воде типа HFA		

Насос пропиточный НПТ-01 монтируется в местах выполнения работ по пропитке массива обычным способом, исключающим свободное его свободное перемещение, подразумевающее его горизонтальное положение. Насос НПТ-01 должен находиться на жестком основании, возможна также установка непосредственно на проходческие машины, при условии жесткого его закрепления.

Подключение насоса пропиточного НПТ-01 выполняется согласно гидравлической схемы и включает в себя:

- подключение насоса к пожарно-оросительному трубопроводу посредством рукава РВД с присоединением БРС 25 STECK;
- подключение устройства герметизации пропиточной скважины к пропиточному насосу НПТ-01 посредством рукава с присоединением БРС 12 STECK к насосу;
- наращивание при необходимости длины рукавов линий аварийного сброса и отстройки давления за редукционным клапаном с присоединением БРС 12 STECK;
- соединение рукавами с присоединением БРС 10 STECK гидромотора НПТ-01 с существующей насосной станции, 2 напорных линии (прямая и обратная).

После монтажа пропиточного насоса и присоединения всех шлангов, необходимо убедиться в правильной работе редукционного клапана давление на входе в повысительный насос должно не превышать 0,8 мПа (8 атм.). Редукционный клапан отстроен на данное давление в заводских условиях. Давление на выходе из редукционного клапана при его работе является

постоянным и не зависит от входящего давления на входе в насосную установку (давление из противопожарного става).

Обслуживание насоса НПТ-01 включает в себя ежемесячный осмотр и еженедельное техническое обслуживание.

Система контроля параметров дегазационной сети (система «круг») представляет собой программно-технический комплекс, который предназначен для автоматического контроля параметров дегазационной сети шахты [103-104].

Рисунок 4.10 - Система контроля дегазационной сети. Измерительная станция «КРУГ»

4.3.4. Оценка эффективности способа ориентированного поинтервального гидроразрыва

Конечная оценка эффективности выполняется по результатам двух оценочных критериев: изменение интенсивности газовыделения из пробуренной дегазационной скважины и регистрация инверсий структуры массива на основе сейсмического просвечивания. Интенсивность газовыделения фиксируется в ходе выполнения шахтных работ. Процесс изучения структуры дегазируемого массива делится на два основных этапа: регистрация исходных данных в ходе выполнения гидровоздействия и камеральная обработка, выполняемая после шахтных работ, в рамках научного обеспечения гидроразрыва угольного пласта.

В рамках оценки интенсивности газовыделения измеряется скорость выделения метана из пробуренной дегазационной скважины на момент начала выполнения ориентированного поинтервального гидроразрыва g_0 . Для этого к устью скважины подносится анемометр шахтный многофункциональный МША со сменным датчиком, соответствующим режиму использования прибора как шахтного анемометра, и измеряется скорость газового потока из скважины.

К трубопроводу присоединяется, став высоконапорных труб и подключается через переходник измеритель газовыделения из скважин ИГ-1. Подключение производится осторожно при максимальной величине капилляра с тем, чтобы не вывести из строя прибор в случае высокого газовыделения из скважин. Если стрелка прибора начинает подходить к максимальному значению (зашкаливать), необходимо прибор сразу выключить. После этого подключается прибор МША, позволяющий измерять большие величины скорости газовыделения из скважин, со сменным датчиком, соответствующим режиму измерения газовыделения из скважин. Скорость газовыделения из скважины в этом случае рассчитывается по скорости газового потока из скважин, измеренной у устья прибором МША в режиме анемометра, и сечению скважины.

В момент включения насосной установки измеряется шахтным интерферометром концентрация метана C_0 в выходящей из ниши струе воздуха

на расстоянии от нее 2 м по ходу струи на высоте на 1 м выше высоты устья скважины. Измерения C_i , где i - порядковый номер измерения (0, 1, 2, ..., n), повторяются через каждые 5 минут до окончания выполнения ОПГ и далее, пока концентрация метана не снизится до фонового значения в месте измерения (C_0), а также в моменты проявления интенсивной реакции массива на гидроразрыв.

После окончания выполнения способа в момент выключения насосной установки производится измерение скорости газовыделения из скважины g_v по той же методике, что и измерение g_0 . Затем для каждого измеренного значения концентрации метана C_i рассчитывается соответствующее значение скорости газовыделения из скважины по формуле:

$$g_i = g_0 + \frac{(g_v - g_0)(C_i - C_0)}{(C_v - C_0)},$$

где C_v – концентрация метана в выходящей из ниши струе воздуха в момент выключения насосной установки после окончания выполнения гидроразрыва. Для каждого интервала времени t_u между очередными замерами C_i рассчитывается количество выделившегося из скважины газа:

$$Q_{i+1}^r = \frac{(g_i + g_{i+1})t_u}{2}$$

Рассчитывается суммарное количество газа, выделившегося из дегазационной скважины за счет воздействия ориентированного поинтервального гидроразрыва.

$$Q_c^r = \sum_0^{n-1} Q_{i+1}^r$$

Параметр Q_c^r позволит оценить эффективность способа повышения интенсивности газовыделения и результата его воздействия на состояние угольного массива, в том числе и на его выбросоопасность.

Визуальные и инструментальные наблюдения

Замеры давления и расход рабочей жидкости осуществляются при помощи высокоточных приборов. После осмотра и подготовки оборудования выполняются по нагнетанию флюида в скважину. Во время нагнетания воды под давлением, контролируются показания на механическом и глубинном электронном манометрах, а также производится измерение уровня жидкости в мерной емкости. После завершения нагнетания воды в пласт и сброса давления, манометры извлекаются для анализа полученной информации.

Совместно со службой АГК ведутся замеры дебета метана, концентрация, скорость выделения газа при помощи шахтного анеометра МША, измерителя ИГ-1, шахтного интерферометра и др.

Наблюдения за проявлением горного давления в конвейерном штреке 559 при проведении выработки.

Инструментальные наблюдения проводятся на комплексных и упрочненных станциях за деформированием приконтурного массива пород и за смещениями пород на контуре конвейерного штрека.

Признаками, по которым оценивается состояние конвейерного штрека являются:

- наличие раскрытых трещин в кровле и боках выработки;
- наличие трещин и пустот между подхватами и элементами анкерной крепи;
- несоответствие фактических размеров выработки с паспортными;
- резкое уменьшение высоты или ширины выработки.

4.3.5. Разработка схем бурения для гидроразрыва в конвейерном штреке 559

В конвейерном штреке 559 шахты «Чертинская-Коксовая» скважины для нагнетания жидкости и дегазации бурятся диаметром 76 мм по наиболее прочной пачке угольного пласта. Гидрорыхление проводится при давлении нагнетания

воды в угольный пласт $P_{\text{наг}}$, МПа, не превышающем $P_{\text{наг.мах.}}$, рассчитанное по формуле [103]:

$$P_{\text{наг.мах.}} \leq 10^{-2}(0,8 - 0,9)\gamma H,$$

$$P_{\text{наг.мах.}} \leq 10^{-2}(0,8 - 0,9)2,5 \cdot 460 = 10,0 \text{ МПа.}$$

Следует отметить, что жидкость в угольный пласт нагнетается под давлением последовательно в каждый интервал скважины в режиме плавного роста давления воды в течение первых 3-5 минут до предельного значения.

Гидрорыхление считается завершенным и нагнетание воды в пласт заканчивается в случае, когда в скважину или интервал для гидрорыхления подано расчетное количество воды.

С целью контроля эффективности гидрорыхления целесообразно в жидкость для нагнетания добавлять красители, чтобы определить фактическую зону распространения рабочей жидкости в массиве.

По результатам выполненных работ по составлению программы и методики по научно-исследовательской работе: «Оценка технической возможности и параметров гидровоздействия при использовании метода поинтервального разрыва в конвейерном штреке 559 шахты «Чертинская-Коксовая» разработаны три схемы бурения скважин для гидроразрыва в конвейерном штреке 559 (рис. 4.11 - 4.13).

Предложенные схемы бурения имеют одинаковую длину $l = 30$ м, диаметр 76 мм для нагнетания жидкости (передовая скважина) и для дегазации (барьерная скважина), с длиной $l_6 = 60$ м.

Передовая одиночная скважина бурится по центру конвейерного штрека или по наиболее прочной пачке угольного пласта (1) (рис.4.11). Интервал закачки для нагнетания рабочей жидкости 5 м, следовательно, в скважинах располагается четыре интервала, оставшиеся от устья 10 м скважины герметизируются.

Барьерные скважины располагаются по бортам выработки в нишах в шахматном порядке через 30 м под углом разворота в плоскости пласта в сторону массива на $5-7^\circ$ (2). При этом забои барьерных скважин должны быть расположены в 2,5-3,5 м от бока выработки или от одиночной передовой скважины на 5 м.

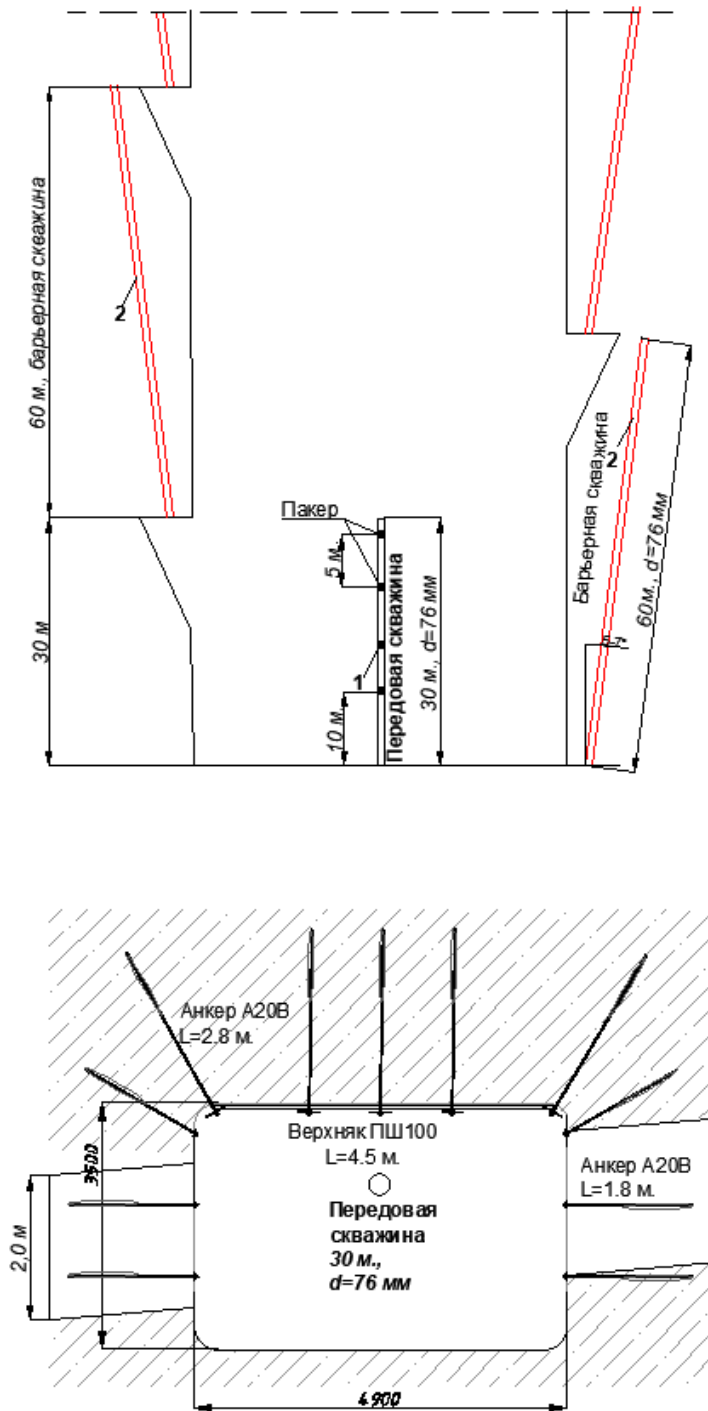


Рисунок 4.11 - Бурение скважин для гидроразрыва через передовую одиночную (1) и парные барьерные скважины (2)

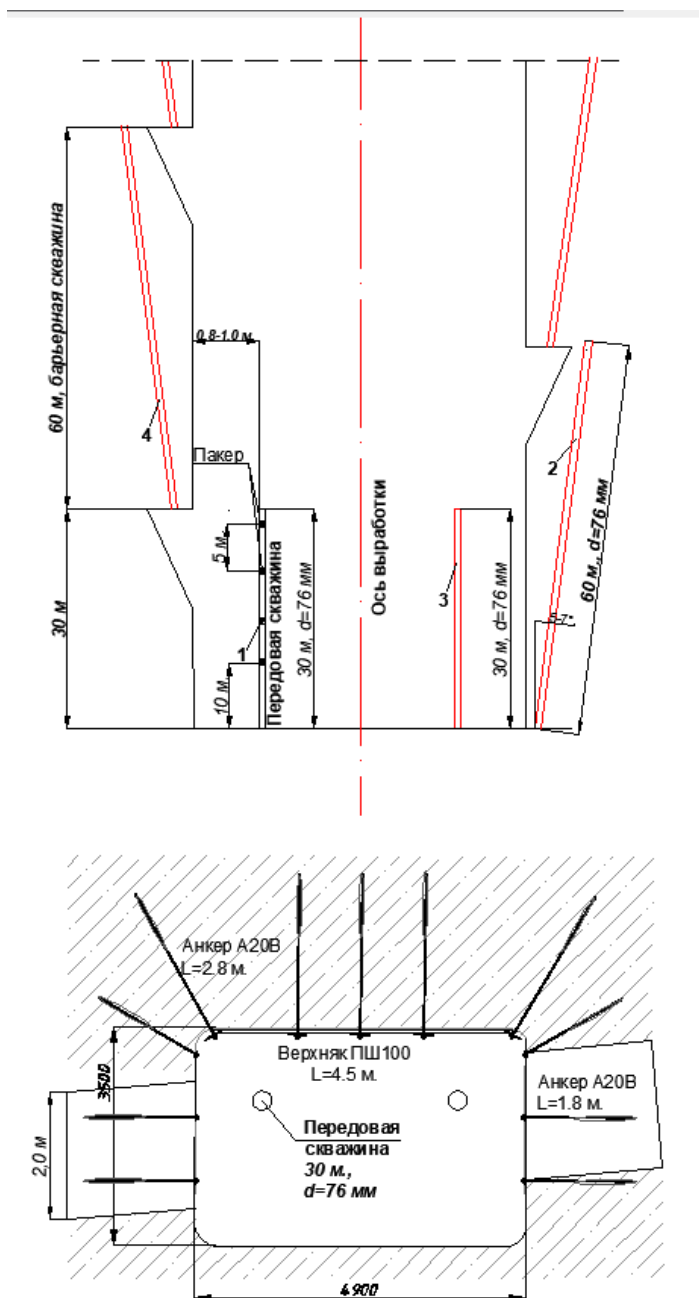


Рисунок 4.12 - Бурение скважин для гидроразрыва через парные передовые (1), (2) и парные барьерные (3), (4) скважины

В схеме на рис. 4.12 в конвейерном штреке для гидроразрыва бурятся две параллельные скважины длиной по 30 м каждая и на расстоянии 0,8-1,0 м от боков выработки желательно в середине пласта. Одна скважина подготавливается для нагнетания рабочей жидкости (1), другая для контроля концентрации метана CH_4 и метановоздушной смеси (3). Вторая барьерная скважина предназначена для замеров концентрации CH_4 (4).

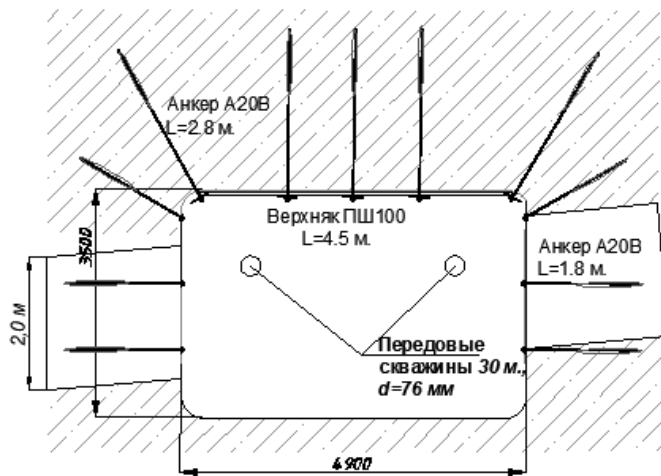
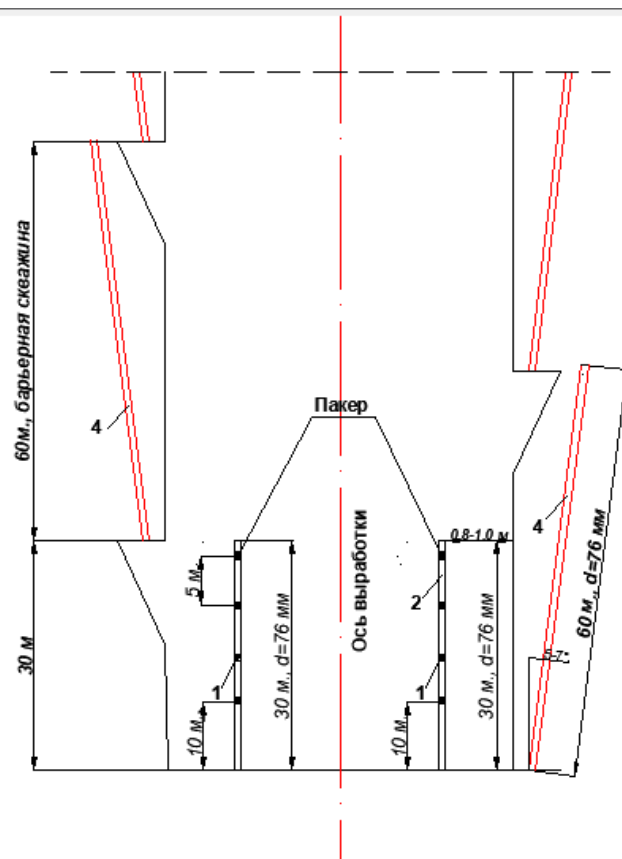


Рисунок 4.13 - Бурение скважин для гидроразрыва через парные передовые (1), (2) и парные барьерные (3), (4) скважины

В схеме на рис. 4.13 в конвейерном штреке для гидроразрыва бурятся две параллельные скважины аналогично рис. 4.12. В этой схеме каждая скважина является передовой (1), (2), рабочая жидкость в угольный пласт нагнетается в каждую скважину. Скважины (3), (4) являются барьерными для дегазации с параметрами, аналогичными как на рис. 4.12.

По мере проведения конвейерного штрека последовательность выполнения операций по реализации метода ориентированного гидроразрыва описана в пункте 5 настоящей программы.

Глубину герметизации скважин для гидроразрыва l_{Γ} , расстояние между устьями скважин $C_{\text{скв}}$ и радиус эффективного гидрорыхления угольного пласта $R_{\text{эф.р.}}$. Определяются по формулам 28, 34 и 35 Руководства по безопасности «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах»:

$$l_{\Gamma} = (4 - 6) \sqrt{m_{\text{уг.пл}}},$$

$$l_{\Gamma} = (4 - 6) \sqrt{2,0} = 6 - 8 \text{ м},$$

$$R_{\text{эф.р.}} = 0,8 l_{\Gamma} = 0,8(6 - 8) = 5 - 6 \text{ м},$$

$$C_{\text{скв}} \leq 2R_{\text{эф.р.}} \leq 2(5 - 6) \leq 10 - 12 \text{ м}.$$

На основании рекомендаций КФ АО «ВНИМИ» и положительном опыте гидроразрыва при использовании метода поинтервального разрыва в конвейерном штреке 559 принимается глубина герметизации скважины 10 м, радиус эффективного разрыхления угольного пласта 5 м и расстояние между устьями скважин 3 м.

4.3.6. Результаты опытно-промышленных испытаний технологии поинтервального гидровоздействия для дегазации пласта в подготовительном забое конвейерного штрека 559 шахты «Чертинская-Коксовая»

Краткая горнотехническая характеристика подготовительного забоя конвейерного штрека 559.

Подготовительный забой проводится комбайном КП-21-02 сечением 18,4 м². Применяется анкерная крепь с шагом 1м, 5 анкеров в ряду. Для осуществления барьерной дегазации оформляются ниши, из которых бурятся

скважины буровым станком БУГ-200, с последующим подключением их с общешахтной системе дегазации (рис. 4.14).

Параметры барьерных скважин дегазации подготовительного забоя определены действующим проектом и составляют:

- Расстояние между нишами из которых пробуриваются скважины составляет не более 15 м;
- Длина скважин составляет 60 м;
- Диаметр скважин 92 мм;
- Разрежение на устье скважины определяется в соответствии с «Инструкцией по дегазации угольных шахт».

Параметры скважин поинтервального гидроразрыва:

- Длина скважины составляет 40 м;
- Диаметр скважин составляет 92 мм;
- Давление жидкости, нагнетаемой в угольный пласт, определяется опытным путем;
- Расход нагнетаемой жидкости определяется опытным путем.

Технология последовательности операций по гидроразрыву

- Замер параметров барьерной дегазации подготовительного забоя;
- Бурение скважины гидроразрыва;
- Установка пакера в скважину;
- Контроль параметров гидровоздействия;
- Перемещение пакера с последующим гидровоздействием;
- Замер параметров барьерной дегазации подготовительного забоя и последующий мониторинг.

Условия, создаваемые гидровоздействием

При нагнетании жидкости в пласт под высоким давлением, искусственные трещины распространяются в направлении, которое зависит от напряженного состояния горного массива и его естественной трещиноватости. Под действием напряжений в горном массиве, существующие трещины остаются закрытыми.

Газопроводность горного массива в естественном состоянии осложнена. При гидрорыхлении создаются разноориентированные искусственные трещины, в том числе ориентированные вкрест простирания угольного пласта. Также под действием напряжений в горном массиве происходит раскрытие созданных гидровоздействием трещин. Поинтервальный гидроразрыв приводит к образованию новых каналов высокой проводимости и протяженностью в районе дегазационной скважины.

В результате на 40м угольного массива от груди забоя по направлению его проведения по окончанию работ по гидроразрыву остается зона развитых трещин, первоначально заполненных водой, которая впоследствии дренирует в основном в подготовительный забой. В незначительном количестве дренирование воды проявляется и в барьерных скважинах, для чего необходимо оборудовать их водоотделителями.

По окончании работ по гидроразрыву область созданных трещин вступает во взаимодействие со скважинами барьерной дегазации, забои которых располагаются впереди груди подготовительного забоя. С учетом расстояния между нишами, составляющими 15 м, размеров ниш и длины скважин барьерной дегазации по 60м, с трещинами гидроразрыва взаимодействуют ближайшие к забою 3 скважины (при условии соблюдения вышеуказанных параметров).

Фактические циклы гидроразрыва в проходческих забоях конвейерного штрека 559 и осевого штрека 557

В таблице 4.5 представлены данные по проводимым гидроразрывам в конвейерном штреке 559 и осевом штреке 557 в количестве 22 цикла в период с 08.05.2019г. по 13.10.2019г.

Для исключения опасных зон при проведении подготовительных выработок был проведен поинтервальный гидроразрыв, в количестве 22 цикла.

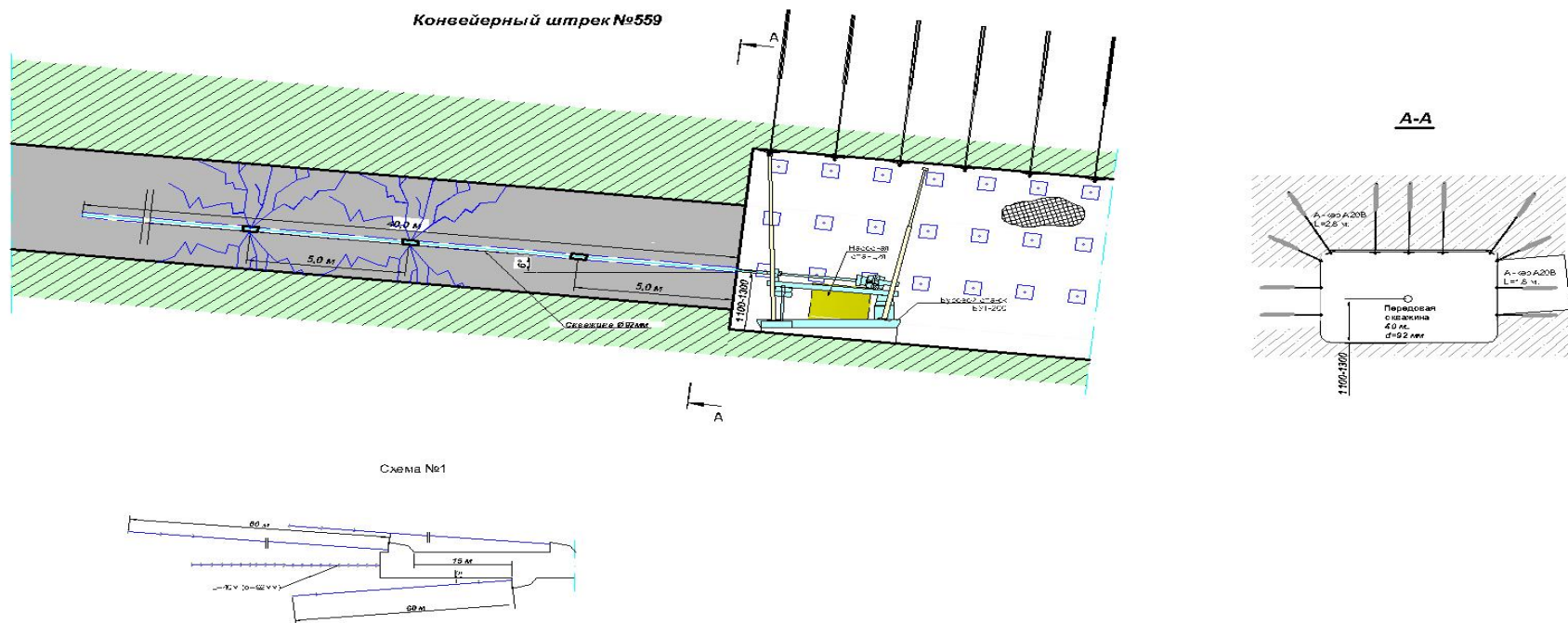


Рисунок 4.14 - Бурение скважин при проведении конвейерного штрека 559 и осевого штрека 557

Таблица 4.5 – Гидроразрывы конв. штрека 559 и осевого штрека 557

Даты проведения гидроразрыва	Конвейерный штрек 559	Осевой штрек 557
	08.05.2019	08.05.2019
	13.05.2019	13.05.2019
	16.05.2019	28.05.2019
	28.06.2019	02.06.2019
	05.07.2019	11.07.2019
	11.07.2019	19.07.2019
	13.07.2019	25.07.2019
	19.07.2019	04.10.2019
	26.07.2019	12.10.2019
	02.08.2019	-
	06.09.2019	-
	04.10.2019	-
	13.10.2019	-

На рисунке 4.15 показана схема расположения скважин гидроразрыва.

Фактические наблюдения

Результаты исследований параметров гидродинамического воздействия при использовании метода поинтервального разрыва позволили сделать ряд наблюдений:

В процессе нагнетания воды при давлении 6 МПа произошло открытие клапана (КП) для подачи жидкости в межпакерный интервал. На 3-й минуте выполнения работ при достижении давления 8 МПа произошло расчленение угольного пласта с падением давления до 6,5 МПа после чего было зарегистрировано несущественное падение давления. После этого, работы по гидродинамическому воздействию сопровождались насыщением угольного пласта, без каких-либо перепадов давления воды.



Рисунок 4.15 - Схема расположения скважин гидроразрыва

Для оценки эффективности проведенных работ по гидродинамическому воздействию на угольный пласт 5 проводился контроль концентрации метана.

До гидровоздействия концентрация метана в скважине составляла 26-34 %, после гидровоздействия 83-98%.

Даже при значительном снижении величины разряжения на устьях скважин барьерной дегазации, в совокупности с раскрытыми трещинами скважин гидровоздействия, обеспечивается воздействие на разрабатываемый пласт, приводя его в безопасное состояние и обеспечивается значительное метаноудаление.

Опасные зоны возникали вследствие несвоевременного бурения и подключения скважин барьерной дегазации, а также при нарушении их проектных параметров, в части длины и расстояния между ними.

При соблюдении параметров барьерной дегазации, проведенные работы по гидроразрыву пласта исключают значения «ОПАСНО» при проведении прогноза выбросоопасности в подготовительном забое, а также исключают инциденты, связанные с неконтролируемым превышением метана при проведении подготовительной выработки.

Рекомендации:

Для улучшения эффективности взаимодействия скважин гидроразрыва и скважин барьерной дегазации рекомендуется:

- повысить напорные характеристики нагнетательного насоса до 160 кгс/см²;
- повысить величину разряжения на устьях скважин барьерной дегазации;
- обеспечить проектные параметры барьерной дегазации в части длины и расстояния между ними;
- оборудовать водоотделителями и диафрагмами скважины барьерной дегазации находящиеся во взаимодействии с областью гидроразрыва;
- организовать мониторинг информативных скважин;
- обеспечить систематический слив воды из водоотделителей.

4.4. Исследование изменения давления воды при высоконапорном нагнетании в выбросоопасный пласт

В ИГД им. А.А. Скочинского в течение 25 лет проводились исследования [106-107] в области нагнетания жидкости в угольные пласты. В результате исследований особенностей движения жидкости по угольным пластам выявлены три основных направления фильтрации, которые совпадают с главными направлениями анизотропии угольного массива. Наибольшие значения коэффициента фильтрации, как правило, наблюдаются в направлении, параллельном плоскостям основной приуроченной трещиноватости и наслоения. В направлении, перпендикулярном плоскостям основной приуроченной трещиноватости и параллельном плоскостям наслоения, коэффициент фильтрации значительно меньше, а в направлении, параллельном плоскостям основной трещиноватости и перпендикулярном плоскостям наслоения, его значения минимальные. Минимальные значения коэффициента фильтрации наблюдаются в углях высокой степени метаморфизма, максимальные – в углях средней степени метаморфизма, угли низкой степени метаморфизма имеют промежуточные значения коэффициента фильтрации.

Получена зависимость изменения коэффициента фильтрации в различных направлениях анизотропии угольного массива от содержания летучих веществ в угле V^r :

$$C_{\phi} = a_1 V^r - a_2 (V^r)^2 - a_3 \quad (4.9)$$

где C_{ϕ} – коэффициент фильтрации, см/с;

a_1 , a_2 , a_3 – эмпирические коэффициенты, установленные экспериментально для различных направлений анизотропии угольного массива (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Значения эмпирических коэффициентов

Направление анизотропии угольного массива	Значения коэффициентов		
	a_1	a_2	a_3
Параллельно плоскостям основной прирожденной трещиноватости и наслоения A_1	$57 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$94 \cdot 10^{-7}$
Перпендикулярно плоскостям основной прирожденной трещиноватости и параллельно плоскостям наслоения A_2	$42 \cdot 10^{-7}$	$0,9 \cdot 10^{-7}$	$70 \cdot 10^{-7}$
Параллельно плоскостям основной прирожденной трещиноватости и перпендикулярно плоскостям наслоения A_1	$27 \cdot 10^{-7}$	$0,6 \cdot 10^{-7}$	$46 \cdot 10^{-7}$

Графически зависимость изменения коэффициента фильтрации от содержания летучих веществ в угле для различных направлений анизотропии угольного массива представлена на рисунке 4.16, на котором хотя и наблюдается значительный разброс экспериментальных данных из-за различной степени раскрытия прирожденных трещин в угле, но характер этой зависимости прослеживается довольно четко.

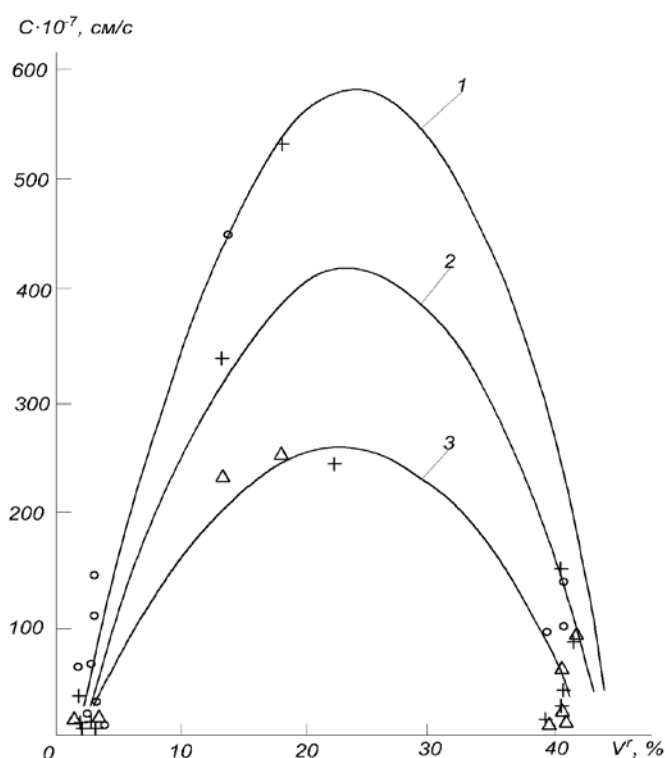


Рисунок 4.16 - Зависимости коэффициента фильтрации C от содержания летучих веществ V^r в угле в направлениях анизотропии пластов (см. табл. 4.6)

1 - A_1 ; 2 - A_2 ; 3 - A_3

Сопоставление приведенных данных с результатами исследований хрупкопластических свойств и разрушаемости углей, а также обобщение многолетней практики применения способа предварительного увлажнения угольного массива в различных условиях и с различными параметрами нагнетания позволили установить и рекомендовать рациональные режимы увлажнения пластов углей различной степени углефикации.

Комплексную оценку фильтрационных свойств и увлажняемости различных угольных пластов предложено производить по интегральному показателю водопоглощения пласта φ_0 , зависящего от удельного водопоглощения φ (см/с) и начального (максимального) давления нагнетания P_0 (МПа), определяемому с помощью опытных нагнетаний по количеству воды, поглощаемой с 1 см² площади поверхности скважины в единицу времени при градиенте давления, равном единице:

$$\varphi_0 = \frac{\varphi}{P_0} = \frac{Q}{P_0 \cdot t_n \cdot S_b}, \quad (4.10)$$

где: Q - суммарный расхода воды, см³;

t_n – продолжительность нагнетания воды под давлением P_0 , с;

S_b - площадь водопоглощающей поверхности скважин, см².

В результате обработки замеров выполненных совместно с КФ ВНИМИ по шахтопластам Кузнецкого бассейна получены значения интегрального показателя водопоглощения пласта φ_0 , по которым выявлены и подтверждены результатами исследований фильтрационных и хрупкопластических свойств, разрушаемости и увлажняемости углей различной степени метаморфизма три группы угольных пластов, различающиеся особенностями свойств увлажнения и требующие определенных параметров и режимов нагнетания жидкости в пласт (таблица 4.7).

Экспериментальным путем установлены рациональные режимы увлажнения угольных пластов:

- для пластов I группы необходимо применять режим с длительным контактом нагнетаемой жидкости с массивом без его разрыва одиночными

трещинами, который можно обеспечить при работе насосных установок с автоматическим регулированием параметров нагнетания при значениях давления, исключающих гидроразрыв пласта;

- для пластов II группы требуется низконапорное увлажнение при пониженных расходах жидкости, достигаемое во многих случаях безнасосной подачи воды от противопожарнооросительного водопровода или при работе насосных установок с автоматическим регулированием параметров нагнетания;

- для пластов III группы необходимо обеспечить высоконапорное увлажнение путем непрерывного нагнетания жидкости под давлением на пределе упругих деформаций или многоциклического нагнетания с переменным темпом и периодическим повышением давления до гидроразрывных значений с последующим длительным насыщением жидкостью растрескавшегося массива.

В результате испытания различных технологических схем увлажнения угольного массива с учетом рекомендованных режимов нагнетания разработаны и прошли апробацию в шахтных условиях:

- для пластов I группы ($c \varphi_0 = 0,03 \div 0,06$ см/МПа.с и $V^r > 30\%$) способ многократного нагнетания жидкости в пласт с помощью насосной установки с автоматическим регулированием параметров и с перерывами между циклами;

- для пластов II группы ($c \varphi_0 = 0,04 \div 0,08$ см/МПа.с и $V^r = 10 \div 30\%$) способ низконапорного нагнетания жидкости в пласт как по безнасосной схеме, так и с помощью насосных установок с автоматическим регулированием параметров нагнетания;

- для пластов III группы ($c \varphi_0 = 0,01 \div 0,05$ см/МПа.с и $V^r < 10\%$) способы непрерывного нагнетания жидкости в пласт под давлением на пределе упругих деформаций и многоциклического высоконапорного нагнетания жидкости в пласт с переменным темпом и перерывами между циклами.

Таблица 4.7

Группа пластов по увлажняемости	Марка угля	Содержание летучих веществ V^r , %	Интегральный показатель водопоглощения пласта φ_0 , см/МПа.с	Характеристика углей	Значения параметров нагнетания, ниже которых исключается гидроразрыв пласта	
					Давление, МПа	Темп, л/мин
I	Д, Г, Ж	более 30	0,03-0,06	Угли слабометаморфизованные, средней крепости, вязкие, с повышенной пластичностью и с пониженной хрупкостью, со слабо раскрытой трещиноватостью и низкой водопроницаемостью	7-13	5-15
II	К, ОС, Т	10-30	0,04-0,08	Угли средней степени метаморфизма, низкой прочности, высокой пластичности, с хорошо развитой и легко раскрывающейся трещиноватостью, высокой водопроницаемостью	4-7	15-25
III	П/А, А	менее 10	0,01-0,05	Угли высокометаморфизованные, крепкие, хрупкие, с низкой пластичностью, с хорошо развитой и легко раскрывающейся трещиноватостью, низкой водопроницаемостью	8-3	>25

На основании результатов исследований высоконапорного нагнетания воды в пласт через скважины, пробуренные со стороны забоя подготовительной выработки, установлено, что данный способ предотвращения внезапных выбросов наиболее эффективен при достижении в результате нагнетания гидрорыхления угольного массива. Оно характеризуется смещением вглубь массива зоны максимума опорного давления, снижением газовыделения из пласта, сейсмоакустической активности и незначительным (2-3 см) отжимом угля на кромке забоя. На пластах мощностью 1,5-2,5 м указанный эффект имеет место, как правило, при глубине герметизации нагнетательных скважин 8-10 м.

В ходе исследований большое внимание уделялось изучению зависимости давления нагнетаемой воды от темпа нагнетания, длины фильтрующей части нагнетательных скважин и напряженного состояния призабойной зоны пласта.

При нагнетании со стороны забоя выработки глубина герметизации скважин принималась постоянной и равной 10 м и был получен наибольший эффект устранения выбросоопасности в данных условиях. В связи с тем, что длина фильтрующей части скважин и производительность насосной установки в различных опытах отличались, влияние их на давление оценивалось через удельный темп нагнетания – расход воды в минуту на 1 м фильтрующей камеры.

Зависимость давления от удельного темпа определялась как в начальный момент нагнетания, когда фронт проникновения воды в угольный массив в основном определяется поверхностью фильтрующей части скважины, так и при относительно установившемся режиме нагнетания (через 20-30 мин работы насосов), когда поверхность соприкосновения воды с углем значительно больше.

В таблице 4.8 приведены значения начального и установившегося давления воды при различном темпе нагнетания и длине фильтрующей камеры нагнетательных скважин, полученные в результате осреднения.

Обработка этих данных дала возможность получить зависимость начального давления P_n , которое имеет место через 2-3 мин после включения насоса и давления через 30 мин работы насосов P от удельного темпа нагнетания.

Таблица 4.8 – Средние значения давления воды при нагнетании

Глубина герметизации l_T , м	Длина фильтрующей части l_Φ , м	Темп нагнетания q , л/мин	Удельный темп нагнетания q' , л/мин. м	Начальное давление P_H , МПа	Установившееся давление P , МПа
10	9	16	1,8	10,3	9,9
10	11	81	7,3	13,85	11,7
10	9	69	7,6	14,1	11,8
10	9	85	9,3	15,3	12,3
10	6	90	15	17,67	13,69
10	5	84	17	18,47	14,09
10	3	86	29	21,59	15,67

$$P_H = 91,2 + 7,2q' - 0,1(q')^2; \eta_{P/q'} = 0,324;$$

$$P = 93,1 + 3,7q' - 0,052(q')^2; \eta_{P/q'} = 0,535$$

где P – давление, МПа;

q' – удельный темп, л/мин. м;

$\eta_{P/q'}$ – оценка коэффициента регрессии.

На рисунке 4.17 приведены графики, характеризующие эти зависимости: кривая 1 – в начале нагнетания, кривая 2 – при установившемся режиме.

Видно, что в начале нагнетания большему удельному темпу соответствует большее давление нагнетания, т. е. увеличение длины фильтрующей камеры или снижение производительности насоса способствуют снижению давления. Давление нагнетания близкое к $(1-1,5)\gamma H$ достигается в начальный момент при удельном темпе 15-20 л/мин, при большем удельном темпе давление еще выше. Повышение давления способствует быстрому распространению воды в прилегающем к скважине участке угольного массива.

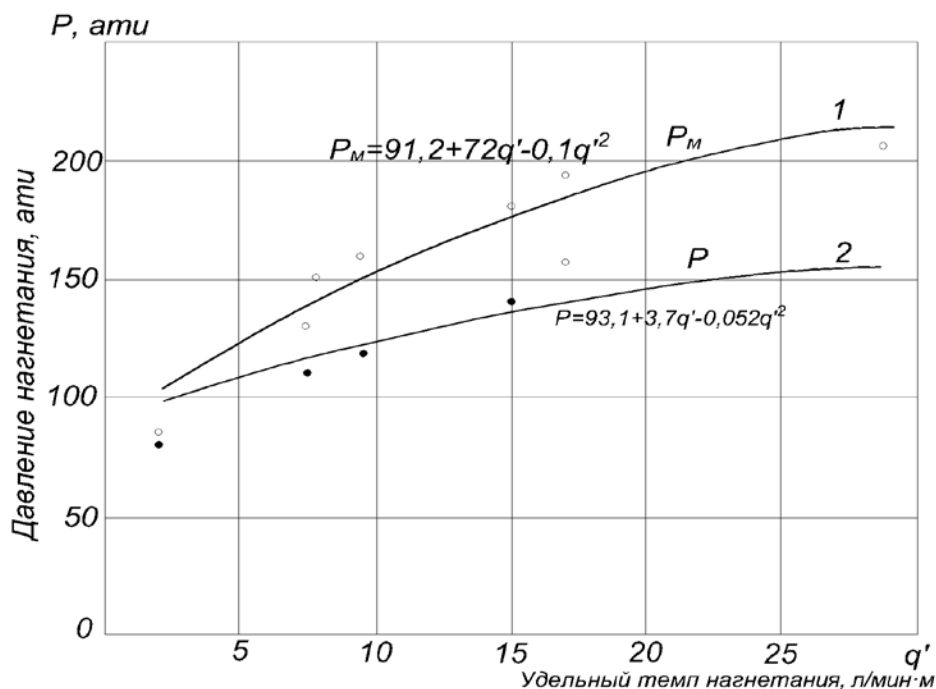


Рисунок 4.17 - Зависимость давления от удельного темпа нагнетания:

1 – в начале нагнетания; 2 – при установившемся режиме

При установившемся режиме нагнетания влияние удельного темпа на давление, как видно из графика, выражено значительно слабее, чем в начале нагнетания. Давление через 30 мин работы насоса при удельном темпе 30 л/мин.м на 50% выше, чем при темпе 2 л/мин.м, в то же время в начале нагнетания это различие составляет 110%.

Анализ данных зависимостей дает возможность выбора наиболее приемлемого режима нагнетания, при котором исключаются резкие динамические явления типа внезапного отжатия угля в призабойной части. Установлено, что при темпе нагнетания примерно 20 л/мин.м гидрообработка пласта производится при давлении, близком к $\gamma \cdot H$.

Таким образом, результаты исследования взаимосвязи давления и темпа нагнетания воды при различной длине фильтрующей части нагнетательных скважин позволяют сделать вывод об оптимальном режиме гидрообработки пласта с целью устранения его выбросоопасности, за счет повышения эффективности дегазации угольного пласта и снижения концентрации напряжений на кромке пласта.

Выводы

1. Задача предотвращения внезапных выбросов решается путем выполнения комплекса организационных и технологических мероприятий и главным образом путем применения способов предотвращения внезапных выбросов (способов борьбы с выбросами). Способ предотвращения выбросов как сложное инженерное мероприятие включает в себя искусственное воздействие на угольный пласт, вмещающие породы или горный массив в целом, оценку эффективности и меры безопасности при осуществлении воздействия. Воздействие имеет своей целью направленное изменение свойств пласта или пород для достижения следующих эффектов:

- снижения энергетического потенциала массива до уровня, не превышающего минимально необходимого для выполнения работы внезапного выброса;

- повышения энергоемкости рабочих процессов, слагающих механизм внезапного выброса, до уровня, превышающего энергетический потенциал массива;

- уменьшения скорости или изменения характера реализации аккумулированных массивом различных видов энергии (уменьшения мощности рабочих процессов).

2. Эффективность гидрорыхления угольного пласта как локального способа предотвращения внезапных выбросов угля и газа достигается на современных глубинах разработки при условии соответствия применяемых параметров способа конкретным горно-геологическим условиям.

В настоящее время для обеспечения высокой надежности устранения выбросоопасности угольного массива как в процессе выполнения гидрорыхления, так и при последующем ведении горных работ, параметры способа принимаются в зависимости от глубины залегания выработки, угла падения и мощности пласта, крепости угля – по инженерному методу расчёта параметров гидрорыхления.

3. Разработаны рекомендации и условия применения ориентированного поинтервального гидроразрыва пласта как способа борьбы с ГДЯ при проведении горной выработки. Результаты промышленных испытаний разработанного способа, в условиях конвейерного штрека 559, показали его эффективность.

4. Для оценки эффективности проведенных работ по гидродинамическому воздействию на угольный пласт 5 проводился контроль концентрации метана.

До гидровоздействия концентрация метана в скважине составляла 26-34 %, после гидровоздействия 83-98%.

Даже при значительном снижении величины разряжения на устьях скважин барьерной дегазации, в совокупности с раскрытыми трещинами скважин гидровоздействия, обеспечивается воздействие на разрабатываемый пласт, приводя его в безопасное состояние и обеспечивается значительное метаноудаление.

5. Проведены исследования изменения давления воды при высоконапорном нагнетании в выбросоопасный пласт.

Установлена зависимость давления подачи воды от удельного темпа нагнетания. Видно, что в начале нагнетания большему удельному темпу соответствует большее давление нагнетания, т. е. увеличение длины фильтрующей камеры или снижение производительности насоса способствуют снижению давления. Давление нагнетания близкое к $(1-1,5)\gamma H$ достигается в начальный момент при удельном темпе 15-20 л/мин, при большем удельном темпе давление еще выше. Повышение давления способствует быстрому распространению воды в прилегающем к скважине участке угольного массива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся завершенной научно-квалификационной работой, представлены новые, научно обоснованные технологические решения по охране подготовительных горных выработок при проведении их по угольным пластам, опасным по газодинамическим явлениям, базирующиеся на направленном гидроразрыве горного массива и ориентированном поинтервальном гидроразрыве угольного пласта, что имеет существенное значение для развития технологии разработки месторождений угля подземным способом, а также повышения эффективности горного производства в целом.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Наибольшее влияние на способность выработки функционировать в определенных условиях с заданными параметрами в течение требуемого отрезка времени, помимо горно-геологических условий, оказывают горнотехнические факторы, прежде всего схема подготовки и система разработки угольного пласта, а также разработанные способы охраны выработок и тип их крепления. К горно-геологическим условиям, влияющим на сохранность подготовительных выработок, следует отнести, прежде всего: глубину горных работ, структуру и свойств вмещающих пород. Увеличение глубины горных работ вызывает, прежде всего, рост напряжений в угле-породном массиве, а также приводит к повышению нагрузок на средства охраны выработок и крепи.

2. Способность выработки функционировать в определенных условиях с заданными параметрами в течение срока эксплуатации особенно важна, при проведении их по выбросоопасным угольным пластам. Разработка выбросоопасных пластов производится, как правило, в сложных горно-геологических условиях, что обусловлено большой глубиной работ, высокой газоносностью, тектонической нарушенностью и низкой прочностью призабойного массива. Это обуславливает необходимость применения комплекса специальных мер для их эффективной разработки, принятия

взаимоувязанных решений по подготовке шахтных полей, применению средств механизации, ведению очистных, подготовительных и профилактических работ в выемочном участке.

3. Применение комплекса методов оценки состояния горного массива, включающего электромагнитное зондирование массива, определение физико-механических свойств пород отобранных кернов, а также видеоэндоскопический осмотр скважин существенно повышает оперативность получения достоверной информации о структуре, физико-механических свойствах, трещиноватости и состоянии пород кровли на всем протяжении горной выработки, которая необходима для дальнейшей разработки мероприятий по ее поддержанию. Геофизические исследования горного массива на выемочном участке 555 шахты «Чертинская-Коксовая» проведены комплексом «ANGEL – М». Результаты в основном коррелируют с результатами исследований образцов керновых проб и видеоэндоскопических обследований скважин в части наличия зон повышенной трещиноватости вмещающих пород, а также зон устойчивых не трещиноватых пород кровли, которые при определенных условиях способны зависать, что в свою очередь способно привести к деформации крепи и потере сечения горной выработки, что подтверждает необходимость разработки специального способа охраны конвейерного штрека 555.

4. Разработан способ и определены параметры направленного гидроразрыва горного массива с целью охраны горных выработок. Сущность способа направленного гидроразрыва горного массива (НГР ГМ) заключается в том, что зависающие (труднообрушаемые) породы основной кровли под воздействием воды высокого давления, до 20 МПа, разделяются на блоки незначительных размеров. НГР ГМ осуществляется специальным горным-шахтным оборудованием. Формирование зародышевых щелей для дальнейшего гидроразрыва горного массива осуществляется специальными щелеобразователями ЩМ-45/1 или ЩГ-45. При НГР ГМ для увеличения протяженности трещины в нужном направлении необходимо заранее формировать центр напряжений в виде, сформированной предварительно,

инициирующей щели определенной протяженности и формы.

5. Разработаны рекомендации и условия применения ориентированного поинтервального гидроразрыва пласта как способа борьбы с выбросами угля и газа при проведении горной выработки. Результаты промышленных испытаний разработанного способа, в условиях конвейерного штрека 559, показали его эффективность.

6. Для оценки эффективности проведенных работ по гидродинамическому воздействию на угольный пласт 5 проводился контроль концентрации метана. До гидровоздействия концентрация метана в скважине составляла 26-34 %, после гидровоздействия 83-98%.

7. Проведены исследования изменения давления воды при высоконапорном нагнетании в выбросоопасный пласт. Установлена зависимость давления подачи воды от удельного темпа нагнетания. В начале нагнетания большему удельному темпу соответствует большее давление нагнетания, т. е. увеличение длины фильтрующей камеры или снижение производительности насоса способствуют снижению давления. Давление нагнетания близкое к $(1-1,5)\gamma H$ достигается в начальный момент при нагнетании жидкости 15-20 л/(мин·м), что способствует быстрому распространению воды в прилегающем к скважине участке угольного массива и снижению его выбросоопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дружко Е.Б. и др. Устойчивость основных горных выработок. – Донецк, Донбасс, 1975. – 144 с.
2. Заславский И.Ю. и др. Исследование механизма деформирования горного массива при охране подготовительных выработок литыми полосами. В кн.: Совершенствование технологии добычи угля на шахтах Донбасса. – Донецк, ДонУГИ, 1986, с. 130-140.
3. Заславский И.Ю. и др. Выбор рационального расположения литых околоштрековых полос. Уголь Украины, 1987, №2, с. 18-20.
4. Заславский И.Ю. и др. Исследование геомеханических процессов в подготовительных выработках. – Уголь, 1987, №6, с. 17-20.
5. Демин В.В. Совершенствование технологических решений по креплению выемочных выработок // Тр. Междунар. Науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана. – Караганда, 2007. – С. 128-131.
6. Заславский Ю.З. и др. Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт. – Киев: Техника, 1972. – С. 45-48.
7. Зборщик М.П. и др. Выбор способов охраны и места расположения подготовительных выработок. – Киев: Техника, 1970. – 244 с.
8. Колчин А.М. и др. Охрана выработки полосой из бетона. – Уголь Украины, 1978, № 2, с. 16-17.
9. Компанец В. Ф. и др. Охрана подготовительных выработок литыми жесткими полосами. – М., ЦНИЭИуголь, 1985. – 29 с.
10. О выборе забутовочного материала для заполнения закрепного пространства горных выработок / И.Г. Великий и др. Шахтное строительство, 1978, № 9, с. 12-14.
11. Охрана подготовительных выработок без целиков / Н.П Бажин, В.В. и др. – М., Недра, 1975. – 294 с.

12. Пиньковский Г.С. Резервы повышения эффективности шахтного строительства. – М., Недра, 1981. – 304 с.
13. Прогрессивные паспорта крепления, охраны и поддержания подготовительных выработок при бесцеликовой технологии отработки угольных пластов. – Л., ВНИМИ, 1984. – 113 с.
14. Проведение экспериментальных исследований способа охраны горных выработок полосами из природного ангидрита (в условиях шахт Западного Донбасса). Днепрогипрошахт, 1977.
15. Провести анализ и обобщение проявления горного давления и опыта крепления выемочных выработок и составить первую редакцию «Прогрессивных паспортов охраны и поддержания выемочных выработок». ДонУГИ. 1982.
16. Симанович Г.А. и др. Устойчивость пород бермы выемочного штрека. – Горный журнал. Изд. вузов, 1985, № 4, с. 19-22.
17. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Л., ВНИМИ, 1985. – 224 с.
18. Файвишенко А.Г. Технология возведения жестких полос из твердеющих материалов для охраны подготовительных выработок. – Уголь, 1987, № 10, с. 29-31.
19. Чакветадзе Ф.А. Выбор способов охраны выемочных выработок с целью их повторного использования при разработке угольных пластов с прочными породами кровли: Автореф. дисс. На соискание степени канд. техн. наук. – М., 1984. – 40 с.
20. Черняк И.Л. Геомеханические основы повторного использования подготовительных выработок. – Уголь, 1978, № 5, с. 3-8.
21. Черняк И.Л. и др. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт. – М., Недра, 1984. – 304 с.
22. Якоби О. Практика управления горным давлением. Пер. с нем. – М., Недра, 1987. – 565 с.

23. Stassen P., van Duyse. Le remblai pompe: Edification d'epis de rembai - Remplissage de vides //Annales des Mines de Belgique. – 1974, - № 1. – P. 1081-1100.
24. Whittaker B.N., Woodrow E.J.M. Design loads fer gateside packs and support systems /The Mining Engineer – 1977. - № 189. – P. 263-275.
25. Stranz B., Gil H., Krawiec A., Domzal J. Mozliwosc utrzymania wyrobisk chodnikowych w zawale bez stosowania ochronnych pasow podszadzkowych // Przegląd Gorniczy. – 1973. – № 9. – S. 355-360.
26. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. М., Госгортехиздат, 1961, – 360 с.
27. Фейт Г.Н. Прочностные свойства и устойчивость выбросоопасных угольных пластов. М., «Наука», 1966, – 79 с.
28. Бобров И.В. и др. Гидроотжим призабойной зоны. – эффективный способ борьбы с выбросами угля и газа. – «Безопасность труда в промышленности», 1963, № 5, с. 17-20.
29. Розанцев Е.С. и др. Новый способ борьбы с внезапными выбросами угля и газа в штреках. – «Технология и экономика угледобычи», 1962, № 11, с. 12-14.
30. Печук И.М. и др. Предварительные выводы из опытов по применению гидроразрыва и гидроразмыва для борьбы с выбросами угля и газа. – В кн.: Борьба с внезапными выбросами в угольных шахтах. М., Госгортехиздат, 1962, с. 426-439.
31. Ножкин Н.В. Промышленные испытания и совершенствование способа заблаговременной дегазации шахтных полей скважинами с дневной поверхности с использованием направленного гидравлического расчленения пласта. Научно-технический отчет МИРГЭМ, М., 1965, – 220 с.
32. Бобров И.В. и др. Борьба с внезапными выбросами угля и газа. Киев, «Техника», 1964, – 328 с.
33. Зорин А.Н. Управление динамическими проявлениями горного давления. – М.: Недра, 1978. – 175 с.

34. Зорин А.Н. и др. Об управляемом использовании сил горного давления при проведении выработок на больших глубинах // Уголь Украины. 1975. № 11. – С. 11-13.

35. Техника и технология горно-подготовительных работ в угольной промышленности / Под ред. Э.Э. Нильвы. – М.: Недра, 1991. – 314 с.

36. Зорин А.Н. Управление динамическими проявлениями горного давления. – М.: Недра, 1978. – 175 с.

37. Саранчуков А.В. и др. Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых: учебник / КарГТУ. – Караганда, 2007. – 354 с.

38. Баймухаметов С.К. Проблемы безопасной разработки высокогазоносных угольных пластов. – Караганда: ЦНТИ УД АО «Миттал Стил Темиртау», -С. 101-102, 187-190, 205.

39. Шиленков В.Н. Основные причины низкой эффективности пылеподавления при нагнетании воды в пласт. – В кн.: Вопросы борьбы с газом, угольной пылью и подземными пожарами на шахтах Карагандинского бассейна, вып. 19. М., «Недра», 1966, с. 252-257.

40. Кричевский Р.М. Возможность предотвращения внезапных выбросов путем предварительного увлажнения угольного массива. – В кн.: Нагнетание воды в угольные пласты. М., «Недра», 1965, с. 135-158.

41. Гречишкин П.В., Розонов Е.Ю., Клишин В.И., Опрук Г.Ю., Щербаков В.Н. Управление кровлей для повышения эффективности поддержания выработок, охраняемых податливыми целиками. Уголь. 2019. №10 (1123). С. 35-41. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-10-35-41>.

42. Гречишкин П.В., Харченко ВФ, Розонов ЕЮ, Горностаев ВС, Панин СФ. Повышение эффективности оценки состояния пород кровли выработок с применением различных методов в условиях шахты «Чертинская-Коксовая». Уголь. 2019. №10 (1123). С. 42-46. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-10-42-46>

43. Либерман Ю.М. и др. Упруго-пластический анализ напряженного состояния краевой части угольного пласта методом конечных элементов // Науч. тр. ИГД им. А.А. Скочинского. 1982. Вып. 204. – С. 35-40.
44. Александров А. В. И др. Основы теории упругости и пластичности: Учеб. для строит. Спец. Вузов. М., 1990. – 400 с.
45. Ардашев К. А. и др. Совершенствование управления горным давлением при разработке наклонных и крутых угольных пластов. М., 1967.
46. Борисов А. А. Расчеты горного давления в лавах пологих пластов. М., 1964. – 288 с.
47. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. М., 1980. – 86 с.
48. Гурьянов В. В. И др. К вопросу установления закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния горного массива при извлечении метана из угольных пластов // Геомеханическая и экологическая безопасность при освоении месторождений газа, его транспортировке и хранении / III Междунар. Рабочее совещание (27-29 июня 2001 г.). СПб., 2001.
49. Динник А. Н. и др. Распределение напряжений вокруг подземных горных выработок // Труды совещания по управлению горным давлением. М., 1938.
50. Егоров П. В. Исследование напряженного состояния нетронутого массива осадочных пород в Кузбассе // Измерение напряжений в массиве горных пород. Ч. 2-3. Новосибирск, 1974.
51. Прочность и деформируемость горных пород / Ю. М. Карташов и др. 1979. – 269 с.
52. Фисенко Г. Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. М., 1976. – 272 с.
53. Федоров Н. А. и др. О напряженно-деформированном состоянии массива вблизи очистной выработки // Вопросы горного дела / КузПИ. Кемерово, 1973. № 59.
54. Михеев О.В. и др. Управление состоянием массива пород. – М.: МГИ, 1990.

55. Adier L., Sun M. Ground Control in Bedded Formations // VA Tech. Bull. 1976. 28.
56. Anticipating Rock Bursts by Photoelastic Methods // New Sci. Vol. 363. Dec. 1963. P. 605-608.
57. Ямщиков В.С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. М.: Недра, 1982.
58. Ямщиков В.С. Волновые процессы в массиве горных пород. М.: Изд. АН СССР, 1960. – 271 с.
59. Брентруп Ф. Подготовительная сейсмическая разведка шахтного поля методом пластовых волн. – Глюкауф, 1979, № 16, с. 33-40.
60. Девшин А.Л. Поверхностные и каналовые сейсмические волны. М.: Наука, 1973. – 176 с.
61. Карпухин В.Д. и др. О нестационарной фильтрации воды в угольном пласте при его увлажнении с целью предупреждения пылеобразования. – В кн.: Вопросы техники безопасности в горной промышленности. М., «Недра», 1965. С. 12-19.
62. Онтин Е.И. К вопросу выбора параметров нагнетания воды в угольный пласт. – В кн.: Вопросы безопасности в угольных шахтах, т. 2. М., Госгортехиздат, 1962, с. 177-187.
63. Чернов О.И. и др. Квазилинейный закон движения в угольных пластах. – В кн.: Вопросы безопасности в угольных шахтах, т. XI. М., Недра, 1969, с. 55-66.
64. Журавлев В.П. и др. Параметры предварительного увлажнения угольных пластов при применении различных водных растворов. – В кн.: Вопросы борьбы с газом, угольной пылью и подземными пожарами на шахтах Карагандинского бассейна, вып. 19. М., Недра, 1966, с. 267-272.
65. Бурчаков А.С. и др. Предварительное увлажнение угольных и породных массивов. – М.: Недра, 1965. -73 с.

66. Ксенофонтова А.И. и др. Эффективность предварительного увлажнения угольных пластов и пути ее повышения. – М.: ЦНИИТЭИугля, 1963. – 52 с.
67. Пылеподавление путем нагнетаний растворов и эмульсий в угольные пласты / В.П. Журавлев и др. – М.: ЦНИЭИуголь, 1973. -72 с.
68. Смольянинов Н.Г. Исследование влияния нагнетаемых жидкостей в угольный пласт на снижение газовыделения и пылеобразования при его разработке: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1971. – 170 с.
69. Розонов Е.Ю. Разработка активного способа охраны горных выработок на основе направленного гидроразрыва горного массива // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. - № 9 (специальный выпуск 14). - С. 3-11. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-9-14-3.
70. Розонов Е.Ю., Карасев Г.А., Щербаков В.Н. Оптимальные параметры гидрорыхления выбросоопасных угольных пластов при проведении горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. - № 10 (специальный выпуск 29). - С. 12-18. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-29-3-11.
71. Абрамов Ф.А. и др. Свойства выбросоопасных песчаников как породы-коллектора. – Киев: Наук. Думка, 1972. – 98 с.
72. Алексеев А.Д. Механизм выбросов горных пород и прогноз их по эффективной поверхностной энергии. – В кн.: Тез. докл. К VI Всесоюз. совещ. «Борьба с внезапными выбросами угля, породы и газа». М.: ЦНИЭИуголь, 1972, с. 15-18.
73. Анцыферов М.С. и др. Сейсмоакустические исследования и проблема прогноза динамических явлений. – М.: Наука, 1971. – 136 с.
74. Анцыферов М.С. и др. Анализ сейсмоакустических явлений при двух выбросах угля и газа в шахтах Донецкого бассейна. – В кн.: Борьба с внезапными выбросами угля и газа в шахтах. М., 1956, с. 243-268. – (Тр. Геофиз. Ин-та АН СССР; № 34).

75. Артемов А.В. и др. Особенности молекулярной структуры углей в выбросоопасных зонах пластов Донбасса. - Уголь, 1975, № 11, с. 13-15.
76. Артющков Е. В. Происхождение больших напряжений в земной коре. – Физика Земли, 1972, № 8, с. 3-26.
77. Аршава В.Г. и др. Внезапные выбросы угля и газа на шахтах и их предупреждение. – Киев: Техніка, 1971. – 190 с.
78. Баженов А.И. Оценка напряженного состояния угольного массива методом вдавливания пуансона в забой скважины. – В кн.: Измерение напряжений в массиве горных пород. Новосибирск: Наука, 1968, с. 70-75.
79. Джигрин АВ, Харченко ВФ, Малова СА, Розонов ЕЮ, Карасев ГА, Горностаев ВС, Щербаков ВН. Основные проблемы повышения безопасности и эффективности разработки угольных пластов подземным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. - № 10 (специальный выпуск 30). - С. 3-16. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-30-3-16
80. Москаленко Э.М. и др. Борьба с внезапными выбросами, ч. II. – М.: МГИ, 1981.
81. Бобров И.В. и др. Работы МакНИИ по совершенствованию разработки угольных пластов Донбасса, опасных по внезапным выбросам угля и газа. – В кн.: Внезапные выбросы в угольных шахтах. М.: Недра, 1970, с. 45-71.
82. Божко В.Л. и др. Особенности решения отдельных задач прогноза выбросоопасности и предотвращения выбросов угля и газа в условиях Донбасса. – Донецк: Европ. Экон. Комиссия, 1974. – 13 с.
83. Большинский М.И. Новое направление в решении проблемы выбросов угля и газа на шахтах Донбасса. – Уголь Украины, 1977, № 4, с. 36-38.
84. Вереда В.С. О некоторых особенностях выбросоопасных песчаников и их возможном генезисе в условиях Донецкого бассейна. – Уголь, 1966, № 8, с. 60-62.
85. Вереда В.С. К вопросу о региональном прогнозе выбросоопасности песчаников в Донецком бассейне. – Докл. АН СССР. Сер. Геология, 1971, 199, № 3, с. 667-669.

86. Вереда В.С. Современные тектонические напряжения как возможная причина внезапных выбросов угля и газа и некоторые следствия из этой гипотезы. – Донецк: Европ. Экон. Комиссия, 1974. – 6 с.

87. Виноградов С.Д. Акустические наблюдения процессов разрушения горных пород. – Наука, 1964. – 84 с.

88. Волделуав Р. Внезапные выбросы угля и метана на бельгийских каменноугольных шахтах. – В кн.: Тр. Междунар. Конгр. По механике горн. Пород. Лейпциг, 1966, с. 37-45.

89. Волошин Н.Е. и др. Борьба с выбросами породы в шахте. – Донецк: Донбасс, 1968. – с 64.

90. Вопросы теории выбросов угля (породы) и газа. – В кн.: Материалы заседания Центр. Комис. По борьбе с внезапными выбросами угля, породы и газа / Всесоюз. НИИ горн. Геомеханики и маркшейд. Дела. Л., 1976. – 52 с.

91. Галин Л.А. О самоподдерживающемся разрушении напряженного хрупкого тела. – Докл. АН СССР. Сер. Механика, 1966, 167, № 3, с. 543-546.

92. Розонов Е.Ю. Использование динамики концентрации газа для прогноза газодинамических явлений в горных выработках // Горный информационно-аналитический бюллетень . – 2020. - № 10 (специальный выпуск 29). - С. 12-18. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-29-12-18.

93. Галушко П.Я. и др. Результаты исследования напряжений в массиве горных пород. – Изв. Вузов. Горн. Журн., 1968, № 11, с. 22-25.

94. Галушко П.Я. Исследование физической природы породных выбросов. – В кн.: Выбросы породы и газа. Киев: Наук. Думка, 1971, с. 22-29.

95. Глушко В.Т. и др. Выбросы пород в горных выработках глубоких шахт Донбасса. – Киев: Наук. Думка, 1972. – 114 с.

96. Павлыш В.Н. Развитие теоретических основ комплексного гидропневматического воздействия на угольные пласты: Дисс. ... д-ра техн. наук. – Днепропетровск, 2006. – 392 с.

97. Коган Г.Л. О движении жидкости в трещиновато-пористых средах. (Ископаемые угли) // Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского. – 1975. – вып. 127. – с. 85-89.

98. Коротков Р.П. Предварительное увлажнение газовых и негазовых угольных пластов при помощи длинных скважин в упругом режиме фильтрации с учетом горного давления: Автореф. дис. ... канд. Техн. наук. – Харьков, 1965. – 18 с.

99. Ливенцев В.В. Экспериментально-аналитический метод расчета и прогноза параметров увлажнения угольных пластов: Дис. ... канд. Техн. наук. – М., 1964. – 186с.

100. Черкасов В.С. Исследование процесса профилактического увлажнения угольных пластов и установление его оптимальных параметров: Дис. ... канд. Техн. наук. – Кемерово, 1974. – 194 с.

101. Ножкин Н.В. Режимы внедрения жидкости в угольный пласт // Технология добычи угля подземным способом. – М.: ЦНИИТЭИугля, 1967. - №2. – С. 99-106.

102. Бурчаков А.С. и др. Многократное нагнетание воды в угольный пласт // Уголь. – 1963. - № 5. – С. 49-50.

103. Лабус К. Предварительное увлажнение угольного пласта способом импульсного нагнетания воды // Глюкауф. – 1969. - № 17. – С.18-26.

104. Морозов И.Ф. и др. Нагнетание воды в угольный пласт как способ борьбы с внезапными выбросами угля и газа // Уголь. – 1971. -№ 4. – С. 52-54.

105. Панов Г.Е. О повышении эффективности предварительного увлажнения угольных пластов на шахтах // Уголь. – 1962. - № 11. – С. 48-51.

106. Тациенко А.Л., Клишин С.В. Возникновение поперечной трещины при поинтервальном гидроразрыве угольного пласта. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технических журнал) № 49 – 2018 – с. 49-57.

107. Статья в интернете <http://misd.nsc.ru>

108. Клишин В.И., Опрук К.Ю., Тациенко А.Л. Применение поинтервального гидроразрыва пласта для интенсификации пластовой

дегазации. // Научные технологии разработки использования минеральных ресурсов. – №3 – 2016 – с. 33-39.

Приложение 1

Характеристики пород кровли конвейерного штрека 555

Таблица 1 - Характеристика пород кровли конвейерного штрека 555 ПК

86

№ п/п	Глубина керна, м	Характеристика пород
1	0-0,5	Алевролит крупнозернистый, темно - серого цвета, трещиноватый, перемятый. Коэффициент крепости $f = 6,2$
2	0,5-1,0	Алевролит мелкозернистый, темно-серого цвета, слоистый, трещиноватый. Коэффициент крепости $f = 4,5$
3	1,0-1,5	Алевролит мелкозернистый, темно-серого цвета, трещиноватый, перемятый. Коэффициент крепости $f = 4,0$
4	1,5-2,0	Алевролит мелкозернистый, темно-серого цвета, трещиноватый, перемятый. Коэффициент крепости $f = 3,7$
5	2,0-2,5	Алевролит мелкозернистый, темно-серого цвета, трещиноватый, перемятый. Коэффициент крепости $f = 3,9$
6	2,5-3,0	Переслаивание алевролита мелкозернистого с песчаником. Коэффициент крепости $f = 4,0 - 7,7$, средний $f = 5,6$
7	3,0-3,5	Переслаивание алевролита мелкозернистого с песчаником, трещиноватый. Коэффициент крепости $f = 3,4 - 5,6$, средний $f = 4,4$
8	3,5-4,0	Переслаивание алевролита мелкозернистого с песчаником, трещиноватый. Коэффициент крепости $f = 3,9 - 7,2$, средний $f = 5,9$
9	4,0-4,5	Переслаивание алевролита мелкозернистого с песчаником, слоистый. Коэффициент крепости $f = 1,9 - 5,3$, средний $f = 3,6$
10	4,5-5,0	Переслаивание алевролита мелкозернистого с песчаником, слоистый. Коэффициент крепости $f = 3,7 - 6,7$, средний $f = 5,0$
11	5,0-5,5	Песчаник с включением остатков растительного детрита. Коэффициент крепости $f = 4,5$
12	5,5-6,0	Песчаник с включением остатков растительного детрита. Коэффициент крепости $f = 4,4$

Таблица 2 - Характеристика пород кровли конвейерного штрека 555 ПК
83 + 10 м

№ п/п	Глубина керна, м	Характеристика пород
1	0-0,5	Алевролит мелкозернистый темно - серого цвета. На глубине 0,1–0,2м алевролит мелкозернистый с включением остатков растительного детрита. Коэффициент крепости $f = 3,4$
2	0,5-1,0	Алевролит мелкозернистый, темно-серого цвета, трещиноватый. На глубине 0,55–0,65м переслаивание алевролита мелкозернистого с песчаником, слоистый. На глубине 0,85 – 0,95м алевролит мелкозернистый с включением остатков растительного детрита. Коэффициент крепости $f = 4,8$
3	1,0-1,5	Алевролит мелкозернистый, темно-серого цвета. На глубине 1,25-1,35м алевролит мелкозернистый с включением остатков растительного детрита. Коэффициент крепости $f = 4,0$
4	1,5-2,0	Алевролит мелкозернистый, темно-серого цвета. На глубине 1,7-1,8 песчаник. Коэффициент крепости $f = 3,8$
5	2,0-2,5	Песчаник. На глубине 2,0-2,1м переслаивание алевролита мелкозернистого с песчаником. Коэффициент крепости $f = 5,2$
6	2,5-3,0	Переслаивание алевролита мелкозернистого с песчаником, слоистый. Коэффициент крепости $f = 3,5-4,0$ средний $f = 3,7$
7	3,0-3,5	Переслаивание алевролита мелкозернистого с песчаником, слоистый. Коэффициент крепости $f = 2,4-4,8$, средний $f = 3,5$
8	3,5-4,0	Песчаник. Коэффициент $f = 4,6$

Таблица 3 - Характеристика пород кровли конвейерного штрека 555
ПК 81 + 10 м.

№ п/п	Глубина керна, м	Характеристика пород
1	0-0,5	Алевролит мелкозернистый, темно - серого цвета, с включением остатков растительного детрита, трещиноватый. Коэффициент крепости $f = 2,6$
2	0,5-1,0	Алевролит мелкозернистый, темно-серого цвета, с включением остатков растительного детрита, трещиноватый. Коэффициент крепости $f = 2,7$
3	1,0-1,5	Алевролит мелкозернистый, темно-серого цвета, с включением остатков растительного детрита. Коэффициент крепости $f = 2,7$
4	1,5-2,0	Переслаивание алевролита мелкозернистого с песчаником, с включением остатков растительного детрита, слоистый. Коэффициент крепости $f = 3,0 - 4,3$, средний $f = 3,9$
5	2,0-2,5	Песчаник с включением остатков растительного детрита, слоистый. Коэффициент крепости $f = 2,8$
6	2,5-3,0	Песчаник с включением остатков растительного детрита, слоистый. Коэффициент крепости $f = 5,1$
7	3,0-3,5	Песчаник с включением остатков растительного детрита, слоистый. Коэффициент крепости $f = 5,5$

Таблица 4 - Характеристика пород кровли конвейерного штрека 555
ПК 78.

№ п.п.	Глубина керна, м	Характеристика пород
1	0-0,5	Алевролит мелкозернистый с включением остатков растительного детрита, трещиноватый, перемятый. Коэффициент крепости $f = 3,0$
2	0,5-1,0	Алевролит мелкозернистый с включением остатков растительного детрита, трещиноватый, перемятый. Коэффициент крепости $f = 3,5$
3	1,0-1,5	Алевролит мелкозернистый с включением остатков растительного детрита, трещиноватый, перемятый. Коэффициент крепости $f = 4,1$
4	1,5-2,0	Переслаивание алевролита мелкозернистого с песчаником с включением остатков растительного детрита, трещиноватый. Коэффициент крепости $f = 1,0 - 3,3$, средний $f = 2,2$
5	2,0-2,5	Переслаивание алевролита мелкозернистого с песчаником с включением остатков растительного детрита трещиноватый. Коэффициент крепости $f = 3,5 - 5,8$, средний $f = 4,3$
6	2,5-3,0	Песчаник с включением остатков растительного детрита, слоистый. Коэффициент крепости $f = 5,8$
7	3,0-3,5	Песчаник с включением остатков растительного детрита, слоистый. Коэффициент крепости $f = 4,1$
8	3,5-4,0	Песчаник с включением остатков растительного детрита, слоистый. Коэффициент крепости $f = 4,1$
9	4,0-4,5	Песчаник с включением остатков растительного детрита, слоистый. Коэффициент крепости $f = 5,8$

Результаты видеоэндоскопических обследований на выемочном участке
555

Таблица 1 - Результаты видеозендоскопического обследования скважины №1








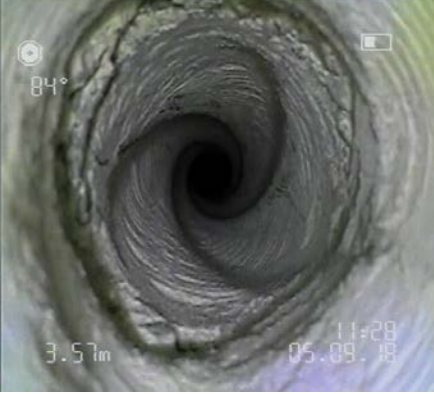




<p>На расстоянии 0,22 м от устья скважины выявлено нарушение массива пород кровли.</p> <p>Выявленное нарушение состоит из системы раскрывшихся трещин, которые образуют зону ослабления пород кровли пласта 5</p>	
<p>На расстоянии 1,38 м от устья скважины выявлена каверна, а также зона ослабления пород кровли пласта 5</p>	
<p>На расстоянии 2,19 м от устья скважины обнаружено нарушение, которое представляет собой расслоение, образующее зону ослабления пород кровли пласта 5</p>	
<p>На расстоянии от 2,20 до 4,30 м от устья скважины обнаружена однородная порода кровли пласта 5</p>	

Таблица 2 - Результаты видеоэндоскопического обследования скважины №2.

<p>На расстоянии 0,41 м от устья скважины обнаружено расслоение пород и выявлена зона ослабления пород кровли пласта 5</p>	
<p>На расстоянии от 0,40 до 0,59 м от устья скважины обнаружено нарушение целостности массива пород кровли, которое представляет собой систему трещин, образующих зону ослабления пород кровли пласта 5</p>	
<p>На расстоянии 2,33 м от устья скважины обнаружено нарушение массива пород кровли которое представляет собой систему трещин, образующих зону ослабления пород кровли пласта 5</p>	
<p>На расстоянии 3,57 м от устья скважины обнаружена каверна и зона ослабления пород кровли пласта 5</p>	

Продолжение таблицы 2

<p>На расстоянии 4,40 м от устья скважины обнаружена каверна и зона ослабления пород кровли пласта 5</p>	
<p>На расстоянии 4,77 м от устья скважины обнаружена каверна и зона ослабления пород кровли пласта 5</p>	
<p>На расстоянии 5,01 м обнаружена каверна и зона ослабления пород кровли пласта 5</p>	
<p>На расстоянии 6,09 м от устья скважины обнаружена каверна и зона ослабления пород кровли пласта 5</p>	

Продолжение таблицы 2

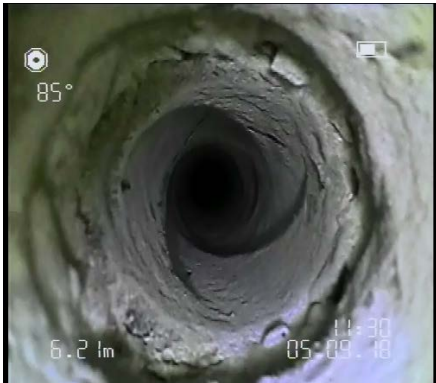



<p>На расстоянии 6,21 м от устья скважины обнаружена каверна и зона ослабления пород кровли пласта 5</p>	
<p>На расстоянии от 6,28 до 7,15 м от устья скважины обнаружена однородная порода кровли пласта 5</p>	

Таблица 3 - Результаты видеоэндоскопического обследования скважины №3.

<p>На расстоянии 0,55 м от устья скважины обнаружено нарушение массива пород кровли, которое представляет собой расслоение, образующее зону ослабления пород кровли пласта 5</p>	
<p>На расстоянии 0,75 м от устья скважины обнаружено нарушение массива пород кровли, которое представляет собой расслоение, образующее зону ослабления пород кровли пласта 5</p>	

Продолжение таблицы 3






<p>На расстоянии 0,95 м от устья скважины обнаружено нарушение массива пород кровли, которое представляет собой систему трещин заполненных буровой мелочью, образующую зону ослабления пород кровли пласта 5</p>	
<p>На расстоянии от 0,95 до 3,55 м от устья скважины обнаружена однородная порода кровли пласта 5</p>	

Таблица 4 - Результаты видеоэндоскопического обследования скважины №4.

<p>На расстоянии 1,35 м от устья скважины обнаружено нарушение массива пород кровли, которое представляет собой систему трещин заполненных буровой мелочью, образующую зону ослабления пород кровли пласта 5</p>	
<p>На расстоянии 2,05 м от устья скважины обнаружено нарушение массива пород кровли в виде расслоения, заполненного буровой мелочью</p>	

Продолжение таблицы 4

<p>На расстоянии от 2,02 до 4,50 м от устья скважины обнаружена однородная порода</p>	
---	--