

**МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ
(ИГТМ НАН УКРАИНЫ)
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МАКЕЕВСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ
В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (МакНИИ)**

**С. П. Минеев, А. А. Потапенко, Т. Я. Мхатвари,
А. В. Никифоров, С. В. Кузяра, Э. И. Тимофеев**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЫХЛЕНИЯ
ВЫБРОСООПАСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

Донецк – 2013

УДК 622.831.322
ББК 33.31
М 62

**Утверждено к печати Ученым Советом Института геотехнической механики
им. Н. С. Полякова НАН Украины (протокол № 8 от 01.10.2013)**

Рецензенты:

Шашенко А. Н., доктор технических наук, профессор Национального горного университета;
Софийский К. К., доктор технических наук, профессор ИГТМ НАН Украины.

М 62 Минеев С. П.

Повышение эффективности гидравлического рыхления выбросоопасных угольных пластов: монография / С. П. Минеев, А. А. Потапенко, Т. Я. Мхатвари, А. В. Никифоров, С. В. Кузяра, Э. И. Тимофеев – Донецк: ТОВ «Східний видавничий дім», 2013. – 216 с.

ISBN 978-966-317-221-3

Монография посвящена результатам исследований по уточнению параметров способов снижения выбросоопасности, основанных на гидравлическом воздействии на призабойную зону угольного массива при ведении горных работ. Монография состоит из пяти глав.

В первом разделе рассмотрено состояние проблемы борьбы с внезапными выбросами угля и газа на шахтах Донбасса.

Во втором разделе монографии приведены исследования посвященные обоснованию механизма гидрорыхления угольных пластов для предотвращения газодинамических явлений в угольных шахтах. Рассмотрены физическая сущность способа гидрорыхления, влияние влажности на изменение физико-механических свойств угля, разупрочнение угольного массива и основные характеристики процесса гидрорыхления.

В третьей главе рассмотрены результаты исследований по оценке влияния напряженно-деформированного состояния угольного пласта на эффективные параметры гидрорыхления. Приведены результаты исследований выполненные на ряде шахт.

В четвертой главе приведены результаты исследований по оценке границ давления нагнетания жидкости в пласт, оптимальной глубины герметизации нагнетательных скважин и др. факторы, влияющие на процесс эффективного гидрорыхления пласта.

В пятой главе описаны исследования газовыделения в выработку при гидравлическом воздействии на призабойную часть пласта. Рассмотрена методология оценки газоносности пласта, оценка газодинамического состояния угленосного массива по начальной скорости газовыделения, по динамике изменения концентрации метана в исходящей струе воздуха при выполнении гидрорыхления. Результаты исследований позволили авторам разработать рекомендации по определению эффективных параметров гидрорыхления угольного пласта для предотвращения выбросов угля и газа при ведении горных работ.

Монография предназначена для специалистов, инженерно-технических работников угольных предприятий, специалистов техники безопасности, а также для аспирантов и студентов.

УДК 622.831.322
ББК 33.31

ISBN 978-966-317-221-3

© Минеев С. П., Потапенко А. А., Мхатвари Т. Я.,
Никифоров А. В., Кузяра С. В., Тимофеев Э. И., 2013
© ТОВ «Східний видавничий дім» (макет, обложка), 2013

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|-----------------------|----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
|-----------------------|----------|

РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ БОРЬБЫ С ВНЕЗАПНЫМИ ВЫБРОСАМИ УГЛЯ И ГАЗА В ШАХТАХ ДОНБАССА.....

| | |
|---|----|
| 1.1. Анализ изученности природы выбросоопасности угольных пластов..... | 7 |
| 1.2. Динамика проявления выбросоопасности | 9 |
| 1.3. Способы предотвращения выбросов угля и газа, применяемых при ведении горных работ | 14 |
| 1.3.1. Общие сведения о газодинамических явлениях и организация работ на пластах, склонных к ГДЯ..... | 14 |
| 1.3.2. Методы прогноза газодинамических явлений и контроля эффективности противовыбросных мероприятий..... | 31 |
| 1.3.3. Методы предотвращения ГДЯ | 47 |
| 1.3.4. Вскрытие угольных пластов и ведение горных работ по выбросоопасным песчаникам | 65 |
| 1.3.5. Средства для оценки газодинамическогои напряженно-деформирован- ного состояния призабойной части пласта | 83 |
| 1.4. Методы гидрообработки угольных пластов в различных режимах нагнетания | 87 |
| 1.5. Опыт применения гидрорыхления на шахтах Донбасса | 92 |
| Выводы..... | 96 |

РАЗДЕЛ 2

МЕХАНИЗМ ГИДРОРЫХЛЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА

| | |
|--|-----|
| 2.1. Влияние увлажнения угля на изменение его свойств..... | 98 |
| 2.2. Физическая сущность гидрорыхления и его влияние на выбросоопасность призабойной части пласта | 103 |
| 2.3. Влияние нагнетания воды в пласт на развитие трещин | 107 |
| 2.4. Совместное влияние горного давления и нагнетаемой в пласт воды на процесс трещинообразования..... | 109 |
| 2.5. Гидродинамические характеристики процесса гидрорыхления..... | 111 |
| Выводы | 113 |

РАЗДЕЛ 3

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА НА ПАРАМЕТРЫ ГИДРОРЫХЛЕНИЯ

| | |
|---|-----|
| 3.1. Методика оценки напряженно-деформированного состояния пласта и определения параметров гидрорыхления | 114 |
| 3.2. Исследования на шахте им. В. М. Бажанова | 116 |

| | |
|--|-----|
| 3.3. Исследования на шахте им. А. А. Скочинского | 120 |
| 3.4. Исследования на шахте им. А. Ф. Засядько | 124 |
| 3.5. Исследования на шахте «Ясиновская-Глубокая» | 127 |
| 3.6. Анализ и обобщение результатов исследований | 129 |
| Выводы | 134 |

РАЗДЕЛ 4

ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАМЕТРОВ

| | |
|--|------------|
| ГИДРОРЫХЛЕНИЯ | 136 |
| 4.1. Определение граничных значений давления нагнетания | 136 |
| 4.2. Влияние глубины герметизации скважин на продолжительность процесса гидрорыхления | 140 |
| 4.3. Влияние поверхностно-активных веществ (ПАВ) на процесс гидрорыхления | 143 |
| 4.4. Опытнo-промышленная проверка методики определения параметров гидрорыхления | 152 |
| Выводы | 157 |

РАЗДЕЛ 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ВЫРАБОТКУ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПРИЗАБОЙНУЮ ЧАСТЬ ПЛАСТА

| | |
|---|------------|
| 159 | 159 |
| 5.1. Оценка газоносности угольного пласта | 159 |
| 5.2. Исследование связи газодинамической активности углепородного массива при выполнении гидрорыхления на шахте им. А. А. Скочинского | 182 |
| 5.2.1. Оценка газодинамического состояния углепородного массива при выполнении гидрорыхления по начальной скорости газовыделения | 182 |
| 5.2.2. Исследование динамики изменения концентрации метана в исходящей струе при выполнении гидрорыхления на шахте им. А. А. Скочинского | 184 |
| 5.3. Статистическая оценка характеристик газовой выделения в забой выработки при ведении горных работ | 197 |
| 5.4. Анализ результатов шахтных экспериментов | 203 |
| 5.5. Сравнительная оценка содержания метана в исходящей струе воздуха при выполнении гидравлического воздействия на пласт и выемке угля в подготовительных выработках | 204 |

| | |
|-------------------------|------------|
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 206 |
|-------------------------|------------|

| | |
|---|------------|
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 209 |
|---|------------|

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Донецкий бассейн, являющийся основным источником природных топливно-энергетических ресурсов Украины, известен в мировой практике как уникальное по сложности и разнообразию горно-геологических условий месторождение высококачественных коксующихся и энергетических углей, представленное большим количеством разрабатываемых пластов, более 50% которых подвержены внезапным выбросам угля и газа. Эти явления сопровождаются, как правило, травматизмом работающих, повреждением горных выработок и оборудования, а ликвидация их последствий сопряжена с дополнительными материально-техническими затратами и нарушает ритмичность выполнения основных технологических процессов горного производства.

Принятый порядок применения комплекса мер для безопасной и эффективной разработки пластов, склонных к внезапным выбросам, предусматривает осуществление, прежде всего, прогноза выбросоопасности, а в зонах риска ее проявления – локальных способов предотвращения этих явлений. Из обширного перечня нормативных способов предотвращения внезапных выбросов наиболее распространенным является гидрорыхление угольных пластов путем высоконапорного нагнетания в них воды через скважины (шпуры), пробуренные из забоя выработки. Эффективность и продолжительность выполнения этого способа зависит, как показывает практика, от степени соответствия его параметров горно-геологическим условиям ведения горных работ. Числовые значения параметров гидрорыхления могут приниматься в широком диапазоне величин, но выбор их для конкретных условий действующими нормативными документами не регламентируется. Поэтому субъективно принимаемые параметры далеко не всегда оказываются оптимальными для осуществления процесса гидрорыхления и предотвращения внезапных выбросов, особенно в глубоких шахтах.

Учитывая социальную и технико-экономическую значимость обеспечения безопасности и эффективности ведения горных работ на выбросоопасных пластах, тема диссертации, направленная на разработку метода определения оптимальных параметров гидрорыхления, обеспечивающих повышение эффективности его для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, является весьма актуальной для угольной промышленности Украины.

Целью выполненного исследования является установление зависимости параметров нагнетания воды в угольные пласты от их напряженно-деформированного состояния и разработка на основе этой зависимости метода определения параметров, оптимальных для повышения эффективности и ускорения процесса гидрорыхления с целью предотвращения внезапных выбросов угля и газа.

В основу работы положена идея использования закономерностей изменения гидродинамических характеристик процесса нагнетания воды в угольные пласты в зависимости от свойств и напряженно-деформированного состояния их призабойной части для определения параметров гидрорыхления, эффективных для предотвращения внезапных выбросов угля и газа.

Основные научные положения, положенные в основу монографии и их новизна состоят в следующем:

1. Физическая сущность влияния гидрорыхления угольных пластов на устранение выбросоопасности заключается в доразрушении угля внутри массива системой трещин, образующихся под воздействием высоконапорного нагнетания воды и сил горного давления. Указанное доразрушение может происходить лишь в частично разгруженной призабойной части пласта, где уровень напряжений не превышает величину предельно допустимого давления нагнетания, что предопределяет необходимость дифференцированного определения его параметров.

2. Установлена зависимость местоположения максимума опорного давления впереди забоя выработки от величины зоны разгрузки призабойной части пласта, позволяющая оптимизировать глубину бурения нагнетательных скважин для недопущения внедрения в область повышенных напряжений, опасную по внезапным выбросам угля и газа.

3. Установлено соотношение между глубиной герметизации нагнетательных скважин и величиной зоны разгрузки призабойной части пласта, при котором происходит процесс гидрорыхления с минимальными затратами времени на его выполнение.

На основании аналитических и горно-экспериментальных исследований и установленных закономерностей протекания процесса нагнетания воды в угольные пласты через скважины, пробуренные из забоев очистных и подготовительных выработок, разработаны рекомендации по определению параметров гидрорыхления угольных пластов для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, регламентирующие порядок и методику расчета технологических параметров гидравлического рыхления для предотвращения внезапных выбросов при ведении горных работ. Применение этих рекомендаций способствовало повышению безопасности и технико-экономической эффективности горных работ на выбросоопасных угольных пластах.

РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ БОРЬБЫ С ВНЕЗАПНЫМИ ВЫБРОСАМИ УГЛЯ И ГАЗА В ШАХТАХ ДОНБАССА

1.1. Анализ изученности природы выбросоопасности угольных пластов

Современные проблемы охраны труда и техники безопасности в угольных шахтах обусловлены в значительной мере нередко происходящими газодинамическими явлениями природно-техногенного происхождения, среди которых к наиболее распространенным и катастрофичным по тяжести последствий относятся внезапные выбросы угля и газа. География распространения этих явлений весьма обширна и охватывает практически все угольные месторождения мира. Истоки истории проблемы относятся к 30-м годам XIX столетия, когда впервые в мировой практике подземной добычи угля в шахте «Исаак» во Франции произошел внезапный выброс угля и газа [1].

В Донбассе первый внезапный выброс произошел 9 сентября 1906 г. в бывшей шахте «Новая Смолянка» при вскрытии взрывными работами пласта h_7 Смоляниновский квершлагом на горизонте 706 м, описанный в книге пионера горноспасательного дела в России, заведующего созданной в 1907 г. Центральной Макеевской горноспасательной станцией Н. Н. Черницына «Рудничный газ. Условия его выделения, его свойства и меры борьбы» (Петроград, 1917 г.). Изложенные в этой книге представления о том, что причиной внезапных выбросов являются очаги повышенного содержания газа в угольных пластах, стали, по сути, первой так называемой газовой гипотезой о природе внезапных выбросов, получившей впоследствии развитие в трудах многих ученых. В этой книге нет конкретных рекомендаций по предотвращению внезапных выбросов, но значение ее состоит в том, что сделана первая попытка объяснить казавшееся случайным и загадочным стихийное явление с позиций общих закономерностей состояния и движения рудничного газа.

В настоящее время является общепризнанной точка зрения А. А. Скочинского [2] о том, что внезапные выбросы угля и газа обусловлены совокупным действием сил горного давления, заключенного в угольных пластах газа, и физико-механических свойств угля. Эта позиция положена в основу разработанной проф. В. В. Ходотом энергетической теории, объединившей представления других ученых, отдавших приоритет тому или иному фактору выбросоопасности [3], в том числе занимающихся проблемами борьбы и с другими газодинамическими явлениями [4-9]. При этом газ и горное давление рассматриваются как факторы силового воздействия на массив, являющиеся источниками энергии разрушения и отброса (смещения) разру-

шенного материала в выработку, а физико-механические свойства пород и угля представляют необходимые для этого затраты энергии.

Отсутствие в горном массиве иных источников энергии, кроме сил горного давления гравитационного или тектонического происхождения и содержащихся в нем жидких или газообразных флюидов, обуславливает общность природы широкого круга газодинамических явлений, таких как землетрясения, горные удары, внезапные выбросы угля, породы, руды, соли, прорывы нефти, газа, воды и других полезных ископаемых при их добыче [9]. Исходя из этого, сформировался и общий подход к решению в сущности многоотраслевой проблемы обеспечения безопасности освоения недр, частью которой является борьба с внезапными выбросами угля и газа в шахтах. Современная методология такого подхода, принятая в системе мониторинга безопасности труда и производственной среды при разработке выбросоопасных пластов на угледобывающих предприятиях стран СНГ, в том числе Украины, нормативно предусматривает применение комплекса мероприятий, включая прогнозирование выбросоопасности, осуществление способов предотвращения внезапных выбросов, использование технологий ведения горных работ, снижающих вероятность возникновения выбросов, а также обеспечение безопасности работников от поражающих факторов [10-12].

Как показывает практика, выбросы угля и газа происходят при всевозможных видах технологического воздействия на пласт: выемке угля обушком, отбойным молотком, механизированным и буровзрывным способом, бурении шпуров и скважин, нагнетании воды в пласт, оформлении забоя для установки крепи и даже при нанесении ударов по забою породопогрузочной машиной в процессе уборки отбитой горной массы. Почти двухвековой период существования проблемы борьбы с внезапными выбросами свидетельствует о том, что несмотря на предпринимаемые усилия науки и производства во всех экономически развитых странах, нигде в мире эта проблема окончательно не решена. Постановка такой задачи, казавшейся многим ранее вполне разрешимой уже в ближайшие годы [13], ныне представляется несостоятельной в силу объективной реальности возрастания энергетических факторов выбросоопасности по мере увеличения глубины разработки пластов и изменения горно-геологических условий ведения горных работ. Можно констатировать, что в целом состояние изученности природы и механизма внезапных выбросов достаточное для принятия пространственно-планировочных решений по борьбе с ними, но адаптация этих решений к конкретным условиям нуждается в проведении специальных экспериментальных работ.

Поэтому исследования в этой области не являются делом временным и не могут быть прекращены без ущерба для безопасности до тех пор, пока не прекратится разработка пластов, склонных к внезапным выбросам угля и газа.

1.2. Динамика проявления выбросоопасности

Согласно дифференциации выбросов на три группы по условиям их возникновения выделяют: собственно внезапные выбросы, происшедшие в забоях, где применялись способы прогноза или предотвращения этих явлений и поэтому возникновение их было неожиданным и представляло реальную опасность поражения работающих; выбросы при сотрясательном взрывании, а позднее и при дистанционном управлении машинами и механизмами, когда способы прогноза и предотвращения их не применялись, но для обеспечения безопасности работающих предусматривалось нахождение их за пределами возможной дальности действия поражающих факторов. Поскольку выбросы при сотрясательном взрывании и дистанционном управлении добычными или проходческими машинами и механизмами хотя и происходят в безопасных для людей условиях, но ликвидация последствий их сопряжена с издержками, превышающими затраты на выполнение противовыбросных мероприятий, если бы они применялись, то осуществление этих мероприятий в указанных условиях представляется экономически целесообразным.

За период 1951-2005 г.г. в шахтах Донбасса, расположенных на территории Донецкой и Луганской областей, зарегистрировано 7266 выбросов угля и газа, из них внезапных 1955 (22%), при сотрясательном взрывании 4954 (68%) и 719 (10%) при дистанционном управлении машинами и механизмами [14]. Динамика изменения за этот период ежегодного количества всей совокупности выбросов и по каждой из трех названных групп показана на рис. 1.1, наглядно отражающем ряд характерных особенностей.

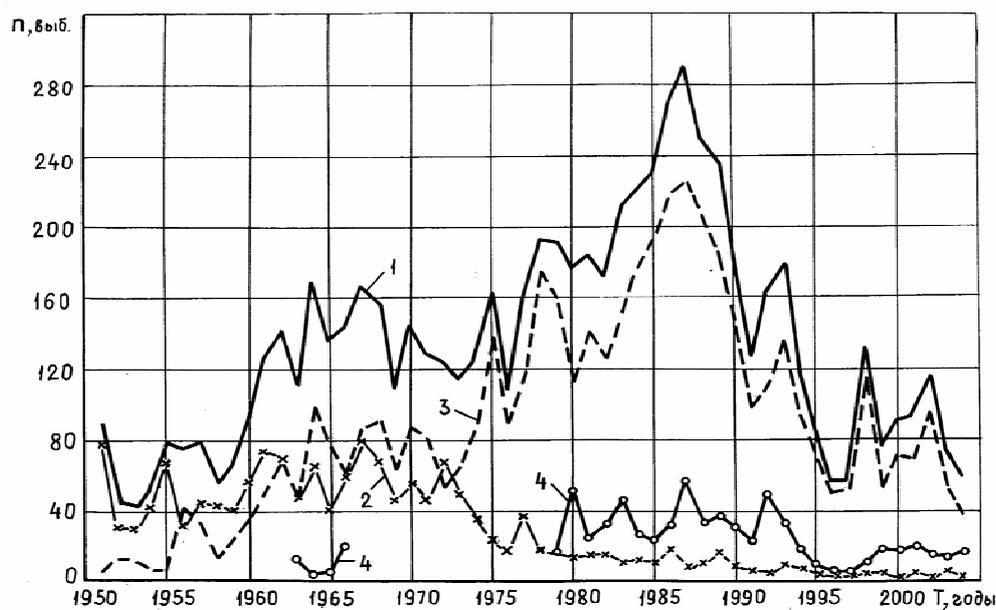


Рис. 1.1. Динамика изменения количества выбросов угля и газа за период 1951-2005 гг.:
1 — общее количество выбросов; 2 — внезапных; 3 — при СВ;
4 — при дистанционном управлении

Так, до 1972 г. количество внезапных выбросов и при сотрясательном взрывании было примерно одинаковым, а общая численность их определялась суммой тех и других. Выбросы при дистанционном управлении машинами и механизмами вследствие их малочисленности обычно объединялись с происшедшими при сотрясательном взрывании, как в безопасных условиях, и лишь в отдельные годы выделялись в самостоятельную группу.

К этому времени Макеевским научно-исследовательским институтом (МакНИИ), а также другими отраслевыми, учебными и академическими институтами, подключившимися к решению проблемы борьбы с внезапными выбросами, был выполнен огромный объем исследований по разработке основ теории этих явлений, методов и технических средств прогноза их и предотвращения. Результаты исследований опубликованы в многочисленных научных трудах известных ученых: А. А. Скочинского, В. В. Ходота, Ф. А. Абрамова, А. Д. Алексеева, И. В. Боброва, А. М. Брюханова, А. Ф. Булата, Р. М. Кричевского, С. А. Христиановича, И. М. Печука, И. М. Петухова, А. Т. Айруни, А. Э. Петросяна, А. Е. Ольховиченко, В. И. Николина, А. Н. Зорина, В. Е. Забигаило и многих других. Широкое внедрение этих разработок способствовало резкому снижению количества внезапных выбросов с 1972 г. и в последующие годы до единичных случаев. Наряду с этим стало возрастать количество выбросов угля и газа при сотрясательном взрывании, превалирующих в общей совокупности их с внезапными и предопределяющих, как видно из рисунка, динамику проявления выбросоопасности. К 1988 г. количество таких выбросов достигло максимума, а затем стало убывать вследствие начавшихся структурных преобразований в отрасли: закрытия нерентабельных шахт, вывода из эксплуатации выбросоопасных шахтопластов, главным образом, со сложными условиями их разработки, сокращения количества действующих забоев, в том числе с применением сотрясательного взрывания.

Сведения об объемах ведения горных работ на выбросоопасных пластах, применения сотрясательного взрывания и выбросах угля и газа за период 1985-2012 г.г. приведены в табл. 1.1 и 1.2. Кроме того, что этот период охватывает спад производства и наибольшие проявления выбросоопасности, следует заметить, что и количество шахт, разрабатывающих выбросоопасные пласты, забоев, в том числе с применением сотрясательного взрывания, и возникающих при этом выбросов скачкообразно уменьшалось. Причем, за последние 15 лет величины этих показателей снизились по сравнению со среднегодовыми значениями их за предыдущее пятилетие не менее чем в 2 раза. В целом же зависимость годового количества выбросов n при сотрясательном взрывании от количества забоев N , в которых оно применялось, близкая к линейной, удовлетворительно описывается уравнением регрессии, полученным согласно [15]:

$$n = 1,01 - N^{0,892} \cdot e^{0,003N} \quad (1.1)$$

при $\rho = 0,84 \pm 0,06$; $HA = 12,9 > 3$,

где ρ – корреляционное отношение; HA – надежность связи.

Достаточно высокие показатели тесноты и надежности связи между коррелируемыми величинами свидетельствуют о существенном влиянии объема применения сотрясательного взрывания на частоту возникновения выбросов угля и газа, изменяющуюся прямо пропорционально этому объему.

Таблица 1.1. – Сведения об объемах разработки выбросоопасных пластов, применения сотрясательного взрывания и произошедших при этом выбросах угля и газа на шахтах Донбасса за период 1985-2005 гг.

| Годы | Кол-во выбросоопасных | | Кол-во забоев на выбросоопасных пластах | | Кол-во выбросов при сотрясательном взрывании |
|------|-----------------------|--------------|---|---|--|
| | шахт | шахтопластов | Всего | с применением сотрясательного взрывания | |
| 1985 | 118 | 223 | 695 | 205 | 195 |
| 1986 | 117 | 235 | 746 | 182 | 220 |
| 1987 | 120 | 247 | 742 | 185 | 225 |
| 1988 | 121 | 250 | 781 | 202 | 267 |
| 1989 | 121 | 243 | 732 | 183 | 184 |
| 1990 | 159 | 266 | 812 | 151 | 141 |
| 1991 | 151 | 248 | 785 | 166 | 106 |
| 1992 | 147 | 226 | 737 | 162 | 111 |
| 1993 | 141 | 221 | 658 | 137 | 136 |
| 1994 | 138 | 214 | 576 | 116 | 94 |
| 1995 | 132 | 178 | 467 | 89 | 71 |
| 1996 | 114 | 159 | 391 | 64 | 49 |
| 1997 | 100 | 116 | 497 | 94 | 81 |
| 1998 | 103 | 129 | 503 | 110 | 119 |
| 1999 | 99 | 124 | 463 | 97 | 54 |
| 2000 | 96 | 113 | 410 | 78 | 71 |
| 2001 | 86 | 106 | 412 | 102 | 69 |
| 2002 | 78 | 110 | 355 | 80 | 94 |
| 2003 | 76 | 98 | 361 | 68 | 54 |
| 2004 | 76 | 95 | 340 | 78 | 34 |
| 2005 | 75 | 87 | 298 | 67 | 27 |

Безусловно, не каждое сотрясательное взрывание и не в каждом забое сопровождается выбросом угля и газа вследствие природной неравномерности распределения выбросоопасных зон. Поэтому более объективным показателем проявления выбросоопасности при проведении выработок сотрясательным взрыванием за анализируемый период является не абсолютное количество выбросов за каждый год, а удельное количество их δ на единицу годового объема применения этого способа проведения выработок, например, на один забой, определяемое соотношением:

$$\delta = n / N, \text{ выб./заб.} \quad (1.2)$$

Таблица 1.2. – Сведения об отработке шахтопластов, склонных к газодинамическим явлениям (ГДЯ) за 2006-2012 гг. [18]

| Годы | Кол-во шахт | Кол-во шахтопластов | | | Кол-во очистных забоев на пластах | | | Кол-во подготовительных забоев на пластах | | |
|------|-------------|---------------------|---------|------------|-----------------------------------|-------------------|------------------|---|-------------------|-------------------|
| | | всего | опасных | угрожаемых | всего | опасных | угрожаемых | всего | опасных | угрожаемых |
| 2006 | 70 | 171 | 85 | 86 | $\frac{234}{184}$ | $\frac{129}{107}$ | $\frac{105}{77}$ | $\frac{410}{268}$ | $\frac{206}{143}$ | $\frac{204}{125}$ |
| 2007 | 63 | 164 | 79 | 85 | $\frac{220}{177}$ | $\frac{120}{95}$ | $\frac{100}{82}$ | $\frac{406}{294}$ | $\frac{200}{140}$ | $\frac{203}{154}$ |
| 2008 | 63 | 160 | 78 | 82 | $\frac{198}{162}$ | $\frac{102}{85}$ | $\frac{96}{77}$ | $\frac{442}{331}$ | $\frac{222}{176}$ | $\frac{220}{155}$ |
| 2009 | 63 | 143 | 71 | 72 | $\frac{203}{150}$ | $\frac{108}{82}$ | $\frac{95}{68}$ | $\frac{440}{226}$ | $\frac{207}{97}$ | $\frac{233}{129}$ |
| 2010 | 61 | 147 | 67 | 80 | $\frac{190}{150}$ | $\frac{97}{76}$ | $\frac{93}{74}$ | $\frac{407}{220}$ | $\frac{166}{82}$ | $\frac{241}{138}$ |
| 2011 | 59 | 145 | 66 | 79 | $\frac{187}{147}$ | $\frac{92}{74}$ | $\frac{95}{73}$ | $\frac{400}{228}$ | $\frac{162}{94}$ | $\frac{238}{134}$ |
| 2012 | 57 | 146 | 69 | 77 | $\frac{182}{138}$ | $\frac{85}{60}$ | $\frac{97}{78}$ | $\frac{402}{234}$ | $\frac{164}{95}$ | $\frac{238}{139}$ |

Примечание: в числителе указано количество всех забоев, отработанных в течение года (в т.ч. остановленных или пройденных), а в знаменателе – количество забоев, оставшихся в работе на конец года (на начало следующего).

По данным табл. 1.1 вычислены согласно соотношению (1.2) величины δ за каждый календарный год T , изменение которых в течение 1985-2005 гг. показано на рис. 1.3, а и аппроксимировано линейной регрессией:

$$\delta = 32,22 - 0,0157T \quad (1.3)$$

при $r = -0,41 \pm 0,19$; $HA = 2,15 < 3$.

где r – коэффициент корреляции.

Весьма невысокие значения коэффициента корреляции и надежности связи указывают на слабую зависимость δ от T , что не позволяет говорить о существенном изменении удельного количества выбросов за достаточно представительный по объему данных анализируемый период. Не вызывает сомнения статистическая надежность и достоверность количества забоев N , в которых применялось сотрясательное взрывание, и абсолютного количества происшедших при этом выбросов n , описываемых соответствующими уравнениями регрессии:

$$N = 18405 - 9,16T \quad (1.4)$$

при $r = -0,87 \pm 0,05$; $HA = 16,1 > 3$

$$n = 18085 - 9,01T \quad (1.5)$$

при $r = -0,88 \pm 0,05$; $HA = 17,2 > 3$

По совокупности ежегодных числовых значений δ за рассматриваемый двадцатилетний период вычислено среднее $\bar{\delta} = 0,85$ и среднеквадратичное отклонение единичных значений от этого среднего $\sigma = 0,19$. С учетом этих характеристик и заданной доверительной вероятности P определен диапазон возможных колебаний δ , ограниченный доверительными границами согласно известному из [16] неравенству:

$$\bar{\delta} - \sigma t(P) \leq \delta \leq \bar{\delta} + \sigma t(P), \quad (1.6)$$

где $t(P)$ – табулированное значение коэффициента Стьюдента при заданной доверительной вероятности P .

Приняв $P = 0,99$, которому соответствует $t = 2,33$, и подставляя указанные величины в (1.6), получим

$$0,41 \leq \delta \leq 1,29$$

Учитывая, что удельное количество выбросов характеризует в сущности степень проявления выбросоопасности при технологическом воздействии на угольный пласт, выполненный анализ позволяет сделать вывод о том, что независимо от объемов применения сотрясательного взрывания опасность возникновения при этом выбросов угля и газа остается постоянной и снижение ее без применения противовыбросных мероприятий не происходит.

Анализ относительного числа ГДЯ на 1 млн. т добычи угля и на 1 км проведения подготовительных выработок на опасных по ГДЯ шахтопластах Донбасса, результаты которого представлены в таблице 1.3 [18].

Таблица 1.3. – Количество газодинамических явлений в очистных и подготовительных выработках и объемы добычи угля и подвигания подготовительных выработок на шахтах Донбасса за период 2003-2012 гг.

| № п/п | Год | Очистные забои | | | Подготовительные выработки | | |
|-------|------|----------------------|---|-------------------------------------|----------------------------|--|---------------------------------|
| | | Кол-во ГДЯ (по углю) | Добыча на опасных по ГДЯ шахтопластах, млн. т | Относительное число ГДЯ на 1 млн. т | Кол-во ГДЯ (по углю) | Подвигание подготовительных выработок на опасных по ГДЯ шахтопластах, км | Относительное число ГДЯ на 1 км |
| 1 | 2003 | 21 | 15,2 | 1,38 | 53 | 51,6 | 1,03 |
| 2 | 2004 | 19 | 15,4 | 1,24 | 36 | 45,3 | 0,79 |
| 3 | 2005 | 10 | 18,8 | 0,53 | 27 | 52,0 | 0,52 |
| 4 | 2006 | 5 | 15,1 | 0,33 | 30 | 53,4 | 0,56 |
| 5 | 2007 | 6 | 13,5 | 0,44 | 30 | 54,2 | 0,55 |
| 6 | 2008 | 4 | 12,1 | 0,33 | 32 | 51,8 | 0,62 |
| 7 | 2009 | 9 | 13,4 | 0,67 | 30 | 46,1 | 0,65 |
| 8 | 2010 | 26 | 13,8 | 1,88 | 21 | 40,4 | 0,52 |
| 9 | 2011 | 8 | 13,5 | 0,59 | 14 | 43,1 | 0,32 |
| 10 | 2012 | 6 | 11,7 | 0,51 | 34 | 39,3 | 0,87 |

Результаты анализа показывают, что относительное число ГДЯ на 1 млн. т добычи угля на опасных по ГДЯ шахтопластах за последние 10 лет уменьшилось в 2,7 раза, а на 1 км подвигания подготовительных выработок – в 1,2 раза, при незначительном уменьшении количества шахт, разрабатывающих опасные по ГДЯ пласты. Некоторый скачек относительного числа ГДЯ на 1 млн. т добычи угля в 2010 г. и на 1 км проведения подготовительных выработок в 2012 г. обусловлен ростом в эти годы по сравнению с предыдущими в 2,4-3,0 раза числа ГДЯ в очистных забоях и нишах лав при ручной, механизированной выемке угля и производстве СВ, а также числа ГДЯ в подготовительных выработках при выполнении СВ.

В целом, данные сравнительного анализа за последнее десятилетие свидетельствуют о наметившейся тенденции соблюдения мер безопасности ведения горных работ на пластах, склонных к ГДЯ, на угледобывающих предприятиях Донбасса (выполнение комплексов мер по борьбе с ГДЯ, разработка и внедрение новых и усовершенствование существующих способов прогноза и предотвращения ГДЯ).

1.3. Способы предотвращения выбросов угля и газа, применяемых при ведении горных работ

1.3.1. Общие сведения о газодинамических явлениях и организация работ на пластах, склонных к ГДЯ

Мировой опыт подземной добычи угля располагает обширными сведениями о газодинамических явлениях (ГДЯ) в шахтах, под которыми понимается процесс быстропротекающего динамического разрушения угольного или породного массива в окрестностях горной выработки, сопровождающийся отбросом или смещением угля (породы) и повышенным газовыделением. Согласно общепринятой классификации к газодинамическим явлениям относятся внезапные выбросы угля и газа, внезапные выбросы породы и газа, внезапные выдавливания (отжимы) угля, внезапные обрушения угля, горные удары и внезапные прорывы метана из почвы выработок.

Донецкий бассейн известен как уникальное по сложности горно-геологических условий месторождение, представленное большим количеством, главным образом, тонких и весьма тонких угольных пластов, сложенных каменными углями практически всего ряда их метаморфизма от длиннопламенных до антрацитов, в котором разрабатываются пласты, подверженные всем указанным видам газодинамических явлений. Однако степень изученности и опыт борьбы с ними различны. Так, например, если внезапные выбросы угля и газа известны уже на протяжении около 100 лет и поэтому накоплен значительный объем знаний и опыта борьбы с этими явлениями, то внезапные прорывы метана из почвы выработок стали изучаться (и меры борьбы с ними разрабатываться) лишь в начале 1990-х годов, а внезапные выдавливания (отжимы) угля – в начале 2000 года.

Шахты, ведущие горные работы по выбросоопасным угольным пластам или породам, относят к категории шахт, опасных по внезапным выбросам.

Угольные пласты в пределах шахтного поля (шахтопласты), при разработке которых произошли или могут произойти газодинамические явления, относят к склонным к ГДЯ. По степени выбросоопасности угольные шахтопласты подразделяют на невыбросоопасные, угрожаемые и выбросоопасные. В отдельных случаях выделяют особо выбросоопасные шахтопласты или участки. По степени выбросоопасности породы подразделяют на невыбросоопасные и выбросоопасные. К выбросоопасным относят слои песчаников в пределах шахтного поля, на которых произошли выбросы, или выбросоопасность которых установлена прогнозом.

К опасным по обрушениям угля относят пласты в пределах шахтного поля или крыла, на которых произошли внезапные обрушения угля или участки шахтопластов, на которых прогнозом установлена опасность по обрушениям.

По внезапным выдавливаниям (отжимам) угля шахтопласты подразделяют на неопасные, угрожаемые и опасные.

К опасным по выдавливаниям угля относят пласты в пределах шахтного поля (крыла), на которых происходили внезапные выдавливания (отжимы) угля или участки шахтопластов, на которых прогнозом установлена опасность по выдавливаниям.

К опасным по прорывам газа относят выработки, в которых происходили эти явления или прогнозом установлена опасность их возникновения.

К удароопасным в пределах шахтного поля относят шахтопласты, на которых произошли горные удары или прогнозом выявлена удароопасность.

Внезапный выброс угля и газа – сложное газодинамическое явление, происходящее в несколько стадий:

- быстрое разрушение напряженной призабойной части пласта под действием сил горного давления и давления газа, освободившегося при разрушении угля, сопровождающееся дроблением угля и возрастанием интенсивности газовыделения, что приводит к лавинно развивающемуся разрушению угольного массива (волна дробления) под действием горного и газового давления;

- вынос (отброс) тонкодисперсно разрушенного угля в потоке интенсивно выделяющегося и расширяющегося газа (образование «бешеной муки»);

- затухание выброса – прекращение процесса разрушения угольного массива и постепенное уменьшение газовыделения.

Основными факторами, влияющими на возникновение и протекание выброса, являются: горное давление (напряженное состояние массива); газоносность пласта (давление газа); физико-механические свойства угля (склонность угля к быстрому и хрупкому разрушению).

К началу Великой Отечественной войны 1941-1945 гг. в Донбассе произошло более 1000 внезапных выбросов, но имевшиеся обширные сведения о них ранее не публиковались, а в период оккупации были утрачены и лишь некоторые из них удалось собрать и воспроизвести по сохранившимся первичным материалам.

В послевоенный период по мере восстановления шахт и наращивания объемов угледобычи количество выбросов угля и газа стало возрастать и к 1951 г. достигло максимума, оказавшегося впоследствии одним из многочисленных локальных повышений частоты выбросов на фоне изменения проявлений выбросоопасности в течение последних 50 лет.

С 1951 г. в МакНИИ была заведена картотека выбросов угля и газа на шахтах Донбасса и начата систематическая их регистрация. Согласно принятой дифференциации выбросов на три группы по условиям их возникновения выделяют: собственно внезапные выбросы, происшедшие в забоях, где применялись способы прогноза или предотвращения этих явлений и поэтому возникновение их было неожиданным и представляло реальную опасность поражения работающих; выбросы при сотрясательном взрывании, позднее и при дистанционном управлении машинами и механизмами, когда способы прогноза и предотвращения выбросов не применялись, но для обеспечения безопасности работающих предусматривалось нахождение их за пределами возможной дальности действия поражающих факторов. Поскольку выбросы при сотрясательном взрывании и дистанционном управлении добычными или проходческими машинами и механизмами хотя и происходят в безопасных для людей условиях, но ликвидация их последствий сопряжена с издержками, превышающими затраты на выполнение противовыбросных мероприятий, если бы они применялись, то осуществление этих мероприятий в указанных условиях представляется экономически целесообразным.

За период 1951-2005 г.г. в шахтах Донбасса, расположенных на территории Донецкой и Луганской областей, зарегистрировано 7230 выбросов угля и газа, из них внезапных 1590 (22%), при сотрясательном взрывании 4927 (68%) и 713 (10%) при дистанционном управлении машинами и механизмами [14]. Динамика изменения за этот период ежегодного количества всей совокупности выбросов и по каждой из трех названных групп показана на рис. 1.1. Так, до 1972 г. количество внезапных выбросов и при сотрясательном взрывании было примерно одинаковым, а общая численность их определялась суммой тех и других, причем выбросы при дистанционном управлении лишь в отдельные годы выделялись в самостоятельную группу вследствие их малочисленности и обычно объединялись с происшедшими при сотрясательном взрывании, как в безопасных условиях. К этому вре-

мени были проведены обширные исследования по разработке основ теории внезапных выбросов угля и газа, методов прогноза выбросоопасности, способов предотвращения этих явлений и контроля их эффективности, повышение надежности которых и широкое внедрение в соответствии с разработанными нормативными документами по применению их способствовало резкому сокращению количества внезапных выбросов в последующие годы до единичных случаев. Причем доказано, что последние происходили в основном вследствие несоблюдения требований и рекомендаций, либо неэффективности их в непредвиденно изменившихся горно-геологических условиях. Наряду с этим стало возрастать количество выбросов угля и газа при сотрясательном взрывании, превалирующих в общей совокупности их и предопределяющих, как видно из рисунка 1.1, динамику изменения в последующие годы. К 1988 г. количество таких выбросов достигло максимума, а затем стало убывать вследствие постепенного выведения из эксплуатации выбросоопасных шахтопластов со сложными условиями разработки, сокращения количества действующих забоев, в том числе с применением сотрясательного взрывания.

Ниже рассмотрим объемы применения способов прогноза и предотвращения газодинамических явлений, которые применялись на шахтах Донбасса с 2003 г. по 2012 г. и приведены в таблице 1.4.

Внезапные выдавливания (отжимы) угля, считавшиеся ранее разновидностью внезапных выбросов угля и газа и происходящие в очистных и подготовительных забоях при всех способах технологического воздействия на пласт (обушкой, отбойным молотком, комбайном, буровым инструментом и пр.). В очистных выработках при струговой выемке пологих пластов и в щитовых лавах на крутых пластах. Нередко эти явления сопровождаются лишь смещением угля в выработку с незначительным газовыделением и сохранением даже структуры пласта и характеризуются большой протяженностью образующихся полостей при малой их глубине.

Внезапные обрушения угля происходят только на крутых и крутонаклонных пластах из нависающего массива в потолкоуступных лавах, в подготовительных выработках и из очистных забоев комбайновых лав.

Горные удары – явления в условиях Донбасса весьма редкие и не типичные. В течение 1988-2001 г.г. зафиксировано всего 4 микроудара в виде толчков и стреляний, а за последние 5 лет не зарегистрировано ни одного случая, хотя дополнительные усилия по борьбе с ними не предпринимались. Исходя из этого можно сделать вывод, что проблемы горных ударов в Донбассе по сути не существует. Тем не менее, в общей совокупности шахтопластов, отнесенных к категории угрожаемых или опасных по различным видам ГДЯ, 65 из них продолжают считаться склонными к горным ударам.

Таблица 1.4. – Объемы применения способов прогноза и предотвращения газодинамических явлений на шахтах Донбасса с 2003 г. по 2012 г.

| Способы прогноза и предотвращения газодинамических явлений | 2003 г. | 2004 г. | 2005 г. | 2006 г. | 2007 г. | 2008 г. | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. |
|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Обработка защитных пластов (полная защита) | $\frac{20}{19}$ / $\frac{26}{18}$ | $\frac{20}{10}$ / $\frac{27}{13}$ | $\frac{18}{8}$ / $\frac{26}{14}$ | $\frac{19}{6}$ / $\frac{18}{9}$ | $\frac{16}{7}$ / $\frac{13}{14}$ | $\frac{12}{2}$ / $\frac{12}{16}$ | $\frac{13}{3}$ / $\frac{14}{5}$ | $\frac{10}{2}$ / $\frac{8}{9}$ | $\frac{8}{3}$ / $\frac{4}{11}$ | $\frac{6}{4}$ / $\frac{5}{6}$ |
| Частичная защита | $\frac{4}{10}$ / $\frac{-}{2}$ | $\frac{11}{7}$ / $\frac{3}{3}$ | $\frac{9}{9}$ / $\frac{2}{2}$ | $\frac{13}{11}$ / $\frac{5}{5}$ | $\frac{11}{5}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{7}{16}$ / $\frac{6}{11}$ | $\frac{9}{21}$ / $\frac{4}{23}$ | $\frac{8}{19}$ / $\frac{2}{14}$ | $\frac{5}{15}$ / $\frac{2}{7}$ | $\frac{7}{13}$ / $\frac{1}{31}$ |
| Текущий прогноз по акустической эмиссии (АЭ) горного массива | $\frac{42}{16}$ / $\frac{14}{6}$ | $\frac{42}{18}$ / $\frac{13}{5}$ | $\frac{32}{23}$ / $\frac{10}{4}$ | $\frac{38}{14}$ / $\frac{20}{3}$ | $\frac{40}{17}$ / $\frac{24}{2}$ | $\frac{50}{25}$ / $\frac{39}{6}$ | $\frac{46}{28}$ / $\frac{34}{20}$ | $\frac{45}{33}$ / $\frac{24}{13}$ | $\frac{39}{28}$ / $\frac{39}{8}$ | $\frac{35}{28}$ / $\frac{41}{7}$ |
| Текущий прогноз по начальной скорости газовыделения из шпуров | $\frac{20}{68}$ / $\frac{70}{161}$ | $\frac{19}{64}$ / $\frac{82}{147}$ | $\frac{26}{59}$ / $\frac{62}{142}$ | $\frac{32}{51}$ / $\frac{81}{124}$ | $\frac{21}{45}$ / $\frac{68}{111}$ | $\frac{14}{27}$ / $\frac{72}{108}$ | $\frac{13}{28}$ / $\frac{64}{120}$ | $\frac{8}{27}$ / $\frac{60}{122}$ | $\frac{14}{25}$ / $\frac{59}{130}$ | $\frac{13}{20}$ / $\frac{62}{123}$ |
| Прогноз по прочности угольного пласта | $\frac{24}{4}$ / $\frac{12}{2}$ | $\frac{20}{2}$ / $\frac{24}{7}$ | $\frac{23}{3}$ / $\frac{29}{13}$ | $\frac{21}{3}$ / $\frac{25}{13}$ | $\frac{21}{7}$ / $\frac{25}{12}$ | $\frac{22}{7}$ / $\frac{49}{20}$ | $\frac{21}{8}$ / $\frac{44}{34}$ | $\frac{-}{2}$ / $\frac{-}{17}$ | $\frac{-}{18}$ / $\frac{-}{49}$ | $\frac{-}{19}$ / $\frac{-}{54}$ |
| Прогноз по параметрам акустического сигнала (АС) | $\frac{4}{14}$ / $\frac{10}{4}$ | $\frac{5}{2}$ / $\frac{6}{7}$ | $\frac{13}{3}$ / $\frac{15}{13}$ | $\frac{12}{3}$ / $\frac{13}{13}$ | $\frac{13}{7}$ / $\frac{9}{12}$ | $\frac{10}{7}$ / $\frac{21}{20}$ | $\frac{14}{8}$ / $\frac{35}{34}$ | $\frac{14}{8}$ / $\frac{19}{39}$ | $\frac{15}{13}$ / $\frac{30}{45}$ | $\frac{18}{16}$ / $\frac{30}{53}$ |
| Определение зоны разгрузки призабойной части пласта | $\frac{9}{2}$ / $\frac{12}{1}$ | $\frac{8}{3}$ / $\frac{7}{2}$ | $\frac{9}{2}$ / $\frac{4}{1}$ | $\frac{10}{3}$ / $\frac{11}{1}$ | $\frac{8}{3}$ / $\frac{15}{15}$ | $\frac{5}{4}$ / $\frac{15}{15}$ | $\frac{5}{4}$ / $\frac{7}{7}$ | $\frac{7}{2}$ / $\frac{6}{4}$ | $\frac{8}{3}$ / $\frac{8}{8}$ | $\frac{5}{3}$ / $\frac{5}{5}$ |
| Гидрорыхление угольного пласта | $\frac{14}{-}$ / $\frac{10}{-}$ | $\frac{11}{4}$ / $\frac{8}{4}$ | $\frac{11}{4}$ / $\frac{15}{4}$ | $\frac{13}{8}$ / $\frac{14}{16}$ | $\frac{8}{5}$ / $\frac{10}{-}$ | $\frac{7}{4}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{8}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{4}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{4}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{4}{-}$ / $\frac{-}{-}$ |
| Оперативное управление гидрорыхлением по АС | $\frac{-}{-}$ / $\frac{7}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{8}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{10}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{10}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ |
| Разгрузочные пазы | $\frac{1}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{1}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{1}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{1}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ |
| Опережающие скважины | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ |
| Гидродинамическое воздействие на пласт | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{2}{-}$ / $\frac{-}{-}$ |
| Безлюдная выемка (дистанционное управление выемочными механизмами) | $\frac{24}{5}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{28}{8}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{21}{7}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{24}{4}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{15}{6}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{16}{3}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{15}{4}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{12}{5}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{10}{8}$ / $\frac{-}{-}$ | $\frac{10}{8}$ / $\frac{-}{-}$ |
| Буровзрывные работы в режиме сотрясательного взрывания (СВ) | $\frac{-}{3}$ / $\frac{78}{7}$ | $\frac{8}{2}$ / $\frac{65}{9}$ | $\frac{-}{2}$ / $\frac{57}{8}$ | $\frac{-}{1}$ / $\frac{59}{5}$ | $\frac{-}{2}$ / $\frac{70}{1}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{66}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{67}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{48}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{38}{-}$ | $\frac{-}{-}$ / $\frac{41}{-}$ |

Примечание: в числителе указано количество очистных/подготовительных забоев на опасных по ГДЯ пластах; в знаменателе – то же, но на угрожаемых по ГДЯ пластах.

Внезапные прорывы метана из почвы выработок до 1991 года не относились к газодинамическим явлениям. Эти явления имеют место при надработке угольных пластов или пропластков с марками угля от Г до А, расположенных на расстоянии до 25 м от проводимой выработки, и происходят позади забоя ее в виде поднятий и разломов пород с образованием зияющих трещин и интенсивным метановыделением. Согласно исследованиям МакНИИ в послевоенный период (с 1952 г.) в Донбассе произошло 88 прорывов метана при разработке 36 шахтопластов на глубинах от 93 м (на шахте им. Косиора ПО «Луганскуголь») до 1056 м (на шахте им. А. А. Скочинского ПО «Донецкуголь»). В среднем за этот период происходило около 4-х прорывов метана в год. Эти явления сопровождаются, как правило, длительным загазированием выработок, повреждением крепи и оборудования, а ликвидация их последствий сопряжена со значительными материальными и трудовыми затратами. В мировой практике не существует мер борьбы с внезапными прорывами метана в горные выработки, как не существует и четких представлений о природе и механизме этих своеобразных явлений. Поэтому начатые МакНИИ исследования в этой области продолжаются.

Из всех перечисленных газодинамических явлений наиболее опасными по своей разрушительной силе и тяжелым последствиям являются внезапные выбросы угля и газа. Внезапному выбросу угля и газа могут предшествовать как предвестники, так и предупредительные признаки явления. Предвестники внезапного выброса – это заблаговременно, до подхода угольного забоя к очагу выброса наблюдающиеся изменения состояния и свойств угольного массива, касающиеся основных факторов, определяющих выбросоопасность: горного давления, газоносности и физико-механических свойств угля. Предупредительные признаки наблюдаются, как правило, непосредственно перед возникновением внезапного выброса угля и газа. К предвестникам при подходе выработок к потенциальным очагам внезапных выбросов угля и газа относятся:

- 1) геологические нарушения тектонического характера (прогнозируемые нарушения заблаговременно наносятся на планы горных работ);
- 2) изменение мощности пласта на 10% и более (что фактически также является геологическим нарушением);
- 3) повышение газовыделения (при всех видах технологических операций, связанных с работой по углю в очистных и подготовительных выработках);
- 4) трещиноватый уголь по всей мощности пласта и образование выпуклостей по забою на величину мощности пласта;
- 5) микровыбросы при выемке угля и бурении;

- 6) захватывание и затягивание буровых штанг при бурении шпуров;
 - 7) выдувание газа и штыба из шпуров;
 - 8) удары и треск в массиве при выемке угля и бурении шпуров (скважин);
 - 9) перемятый уголь по тектоническим трещинам, заполненным пылью;
 - 10) наличие зеркал скольжения по трещинам;
 - 11) изменение температуры угля (с приближением забоя к очагу выброса температура угля повышается);
 - 12) изменение блеска угля;
 - 13) увеличение КИШ (коэффициента использования шпура) при взрывных работах до 1 м и более;
 - 14) отжим и микровыбросы угля с повышением газовыделения при выемке угля или после сотрясательного взрывания;
 - 15) увеличенный выход крупного штыба при бурении;
 - 16) резкие изменения крепости угля при бурении;
- К предупредительным признакам внезапного выброса угля и газа относятся:

- 1) отскакивание кусочков угля и шелушение забоя;
- 2) явно видимое движение угля в забое;
- 3) сильные удары и серии ударов в массиве с образованием пыльного облака;
- 4) удары в массиве с давлением на крепь;
- 5) нарастающий гул в массиве, сильные удары в боковых породах;
- 6) не прекращающиеся выбросы штыба и газа при бурении.

Отличительными признаками внезапного выброса угля и газа являются:

а) отброс угля от забоя на расстояние, превышающее протяженность возможного размещения выброшенной массы под углом естественного откоса;

б) образование в угольном массиве полости;

в) повышенное по сравнению с обычным выделение газа в горную выработку, при котором относительное газовыделение больше разности между природной газоносностью пласта, остаточной газоносностью пласта и остаточной газоносностью выброшенного угля.

Типичные примеры выбросов и обрушений (высыпаний) угля показаны на рисунках 1.2- 1.5.

Дополнительными признаками внезапных выбросов угля и газа могут быть: повреждение и отброс от забоя оборудования, деформирование крепи, наличие тонкодисперсной угольной пыли на откосе выброшенного угля, на крепи и стенках выработки.

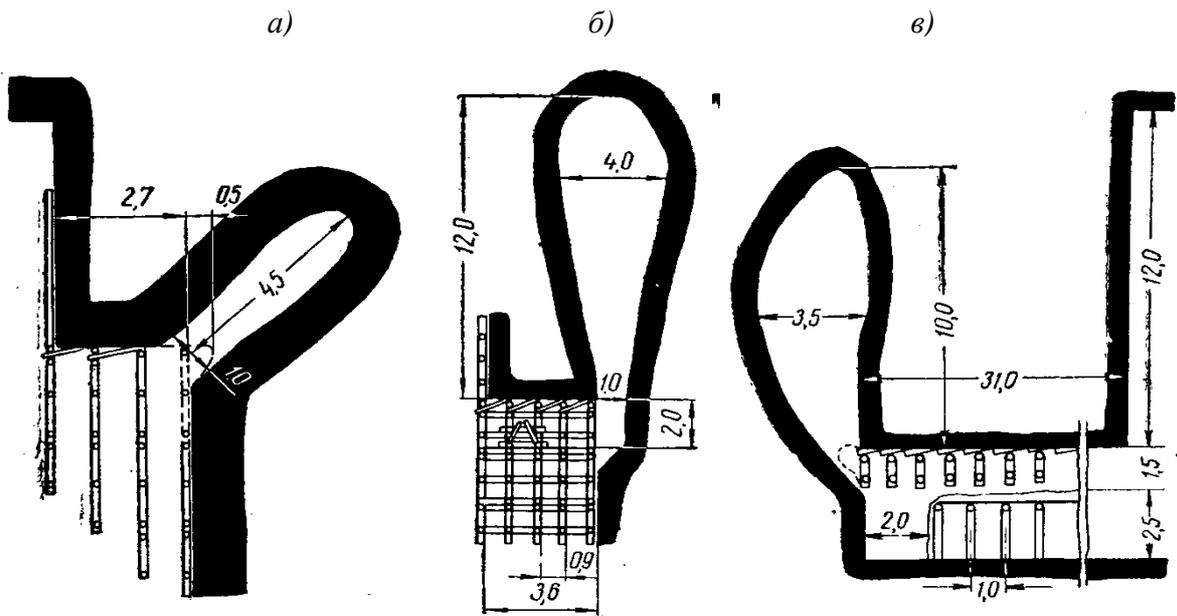


Рис. 1.2. Типовые полости внезапных выбросов угля и газа на крутых пластах Центрального района Донбасса:
а, б – в потолкоуступных лавах, *в* – в подготовительной выработке

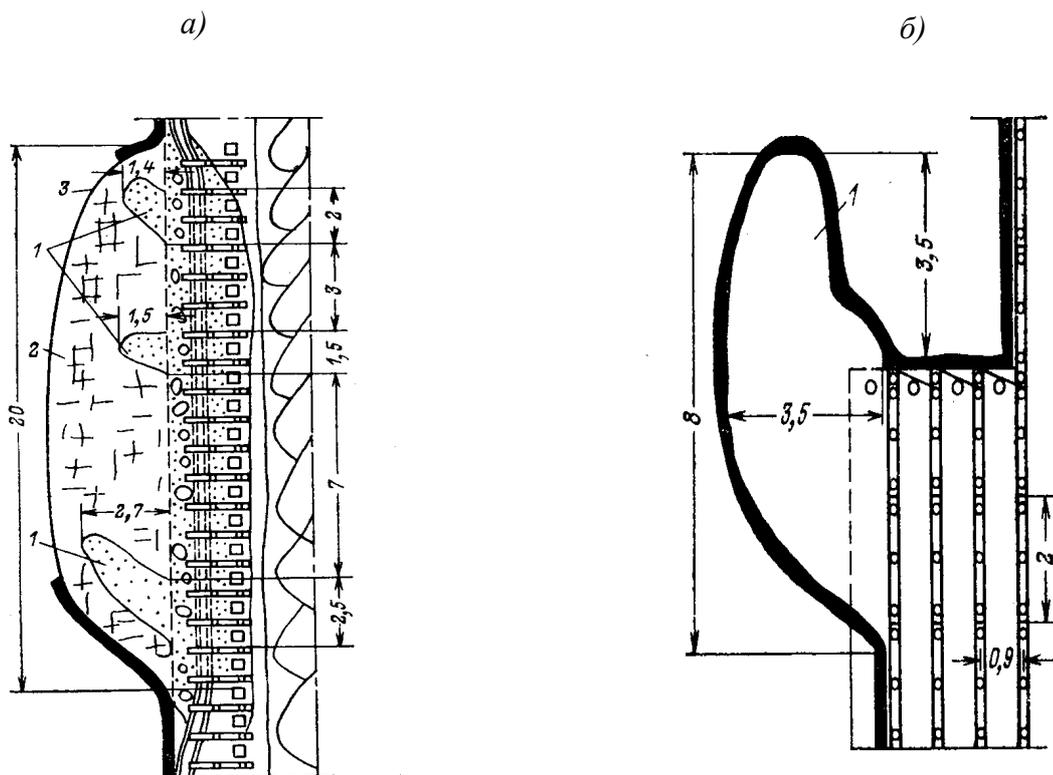


Рис. 1.3. Полости внезапных выбросов угля и газа в очистной забой пологого пласта (*а*) и в потолкоуступную лаву (*б*) крутого пласта 1 – полости, образованные выбросом; 2 – разрушенный и выдавленный уголь; 3 – контур полости

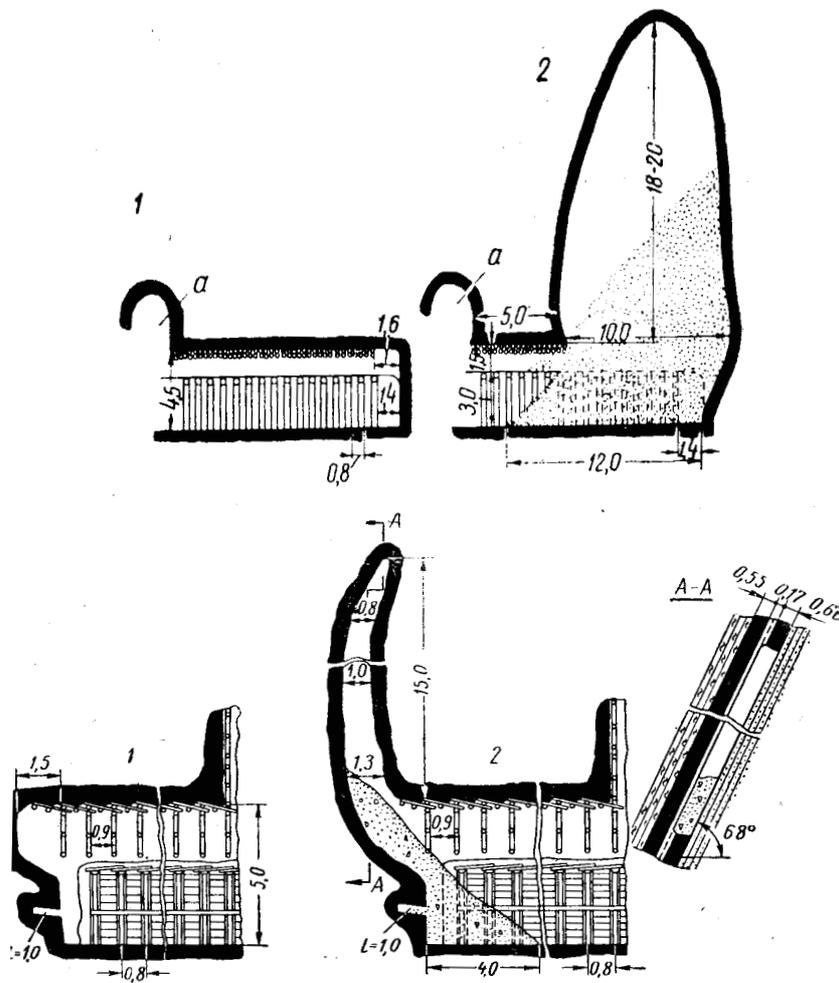


Рис. 1.4. Внезапные обрушения угля в забоях подготовительных выработок крутых пластов: 1 – положение забоя перед обрушением угля; 2 – положение забоя после обрушения; а – полость обрушения, произошедшего на 13 дней раньше

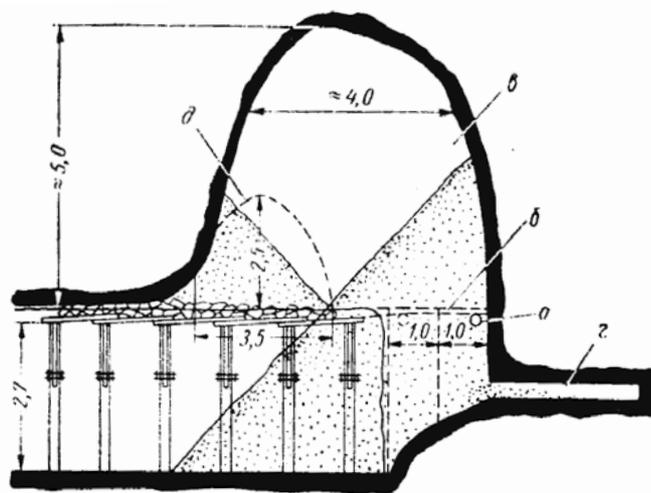


Рис. 1.5. Обычное обрушение нависающего массива угля в забое подготовительной выработки крутого пласта: а – стойка; б – полук; в – полость; з – остаток опережающей скважины; д – контур незакрепленной полости обрушения, произошедшего при взрывных работах по породе

Отличительными признаками выброса породы и газа являются:

а) образование в массиве оконтурированной породой полости, расслоившейся на тонкие чешуеобразные пластинки; отброс породы от забоя и дробление значительной ее части до размеров крупнозернистого песка; повышенное выделение газа в выработку. Характеристики всех видов газодинамических явлений и их отличительные признаки приведены в таблице 1.5.

Таким образом, многообразие видов ГДЯ, катастрофичность их последствий и весьма широкая распространенность в шахтах не только создает повышенную опасность травматизма работающих, повреждения оборудования и горных выработок, но и в значительной мере усложняет технологический процесс ведения горных работ, вызывает необходимость дополнительных материальных и трудовых затрат на осуществление мер борьбы с этими явлениями, ограничивает нагрузку на добычные участки и шахты в целом, что, в конечном счете, приводит к снижению технико-экономических показателей и повышению себестоимости добываемого угля. В этой связи проблема борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах приобретает все возрастающее социальное и народнохозяйственное значение. Успешное решение ее представляется возможным лишь на основе организационно-методологического подхода, сложившегося в практике борьбы с внезапными выбросами угля, породы и газа и предусматривающего порядок разработки и внедрения комплекса мер, включающего прогнозирование потенциальной опасности шахтопластов или их участков (зон) по тому или иному виду ГДЯ, применение способов предотвращения этих явлений, использование технологических мероприятий, снижающих вероятность возникновения ГДЯ, и осуществление мер обеспечения безопасности работающих на случай, если возможность этих явлений не исключается.

Ежегодно, до утверждения планов развития горных работ, комиссия под председательством технического директора объединения или главного инженера угледобывающего предприятия в составе представителей территориального управления (округа) Госпромгорнадзора и научно-исследовательских институтов, занимающихся вопросами борьбы с ГДЯ (МакНИИ, ИГТМ НАН Украины, УкрНИМИ НАН Украины, ИФГП НАН Украины, ДонУГИ, ДонНИИ, НИИГД и др.), по представлению шахт рассматривает: перечень и порядок отработки угрожаемых, выбросоопасных и особо выбросоопасных шахтопластов (участков), угрожаемых и опасных по внезапным обрушениям, выдавливаниям угля и по горным ударам, выбросоопасных песчаников, перечень выработок, опасных по внезапным прорывам газа из почвы, защитных пластов, необходимость применения способов прогноза и предотвращения ГДЯ, а также места заложения разрезных печей (гезенков) на незащищенных, опасных по ГДЯ пластах.

Таблица 1.5. – Характеристика видов газодинамических явлений

| Вид газодинамического явления | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|--|---|--|---|
| Характеристика явления и его отличительные признаки | 2 | 3 | Факторы, определяющие развитие явления | Условия возникновения явления | Предупредительные признаки |
| Внезапный выброс угля и газа | 1 | <p>Быстропротекающее разрушение призабойной части угольного пласта, развивающееся от забоя в глубину массива; отброс угля в выработку на расстояние, превышающее его размещение под углом естественного откоса; повышенное газовыделение в выработку, превышающее разность между природной и остаточной газоносностью выброшенного угля; образование полости; наличие тонкодисперсной угольной пыли; повреждение крепи и оборудования; воздушный толчок и звуковые эффекты в массиве. Поражающими факторами являются газ и механическое воздействие разрушенной горной массы</p> | <p>Глубина ведения горных работ; газоносность пласта; пониженная прочность и структурная нарушенность угля</p> | <p>Пласты с газоносностью более 8 м³/т с.б.м.; зоны геологических нарушений; зоны ПГД от целиков на соседних пластах; задержка и возобновление деформаций с перераспределением напряжений</p> | <p>Отжим или обрушение угля; удары и трески в массиве; отскакивание кусочков угля и шелушение забоя; вынос штыба, газа и зажатие бурового инструмента при бурении шпуров (скважин); уменьшение прочности угля</p> |
| Внезапный выброс породы и газа | 2 | <p>Быстропротекающее разрушение призабойной части породного массива; отброс в выработку породы, часть которой раздроблена до размеров крупнозернистого песка; размещение разрушенной породы под углом откоса, меньше естественного; образование полости, оконтурированной чешуеобразными пластинами; повышенное газовыделение в выработку</p> | <p>Газоносность пород, глубина ведения горных работ; физико-механические, структурные и коллекторские свойства породы</p> | <p>Проведение выработок буровзрывным способом по газоносным выскопористым песчанникам</p> | <p>Деление керна на диски выпукло-вогнутой формы; увеличение коэффициента использования шпуров и степени дробления породы в предыдущих циклах производства взрывных работ</p> |
| Внезапное обрушение угля | 3 | <p>Быстропротекающее разрушение нависающего угольного массива; полость ориентирована по восстанию пласта; разрушенный уголь располагается под углом, близким к углу естественного откоса; относительное газовыделение меньше разности между природной и остаточной газоносностью угля. Поражающим фактором является механическое воздействие обрушающегося угля</p> | <p>Горное давление; гравитационные силы; физико-механические свойства угля</p> | <p>Крутые и крутонаклонные пласты или отдельные их пачки III – V типов тектонической нарушенности; зоны геологических нарушений; зоны ПГД от целиков на соседних пластах</p> | <p>Как правило, отсутствуют. Иногда наблюдаются звуковые эффекты в массиве и оссыпания угля</p> |

Окончание табл. 1.5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--|--|--|--|
| Внезапное выдвигание (отжим угля) | Быстропротекающее смещение угольного массива в выработку без отброса угля; образование полости, заполненной разрушенным крупнокусковым углем, глубина которой меньше ее ширины; наличие пустот, зияющих трещин и щели между кровлей и пластом; относительное газовыделение меньше разности между природной газоносностью и остаточной газоносностью выдвинутого угля. Поражающим фактором является механическое воздействие отжатого угля | Горное давление и физико-механические свойства угля и вмещающих пород | Зоны ПГД от целиков на соседних пластах; зоны влияния геологических нарушений; участки зависания кровли | Как правило, отсутствуют. В отдельных случаях наблюдаются повышенное давление на призабойную крепь, звуковые эффекты в массиве, зажатие бурового инструмента |
| Горный удар (динамическое явление) | Мгновенное хрупкое разрушение целика или краевой части массива угля с отбросом или без выноса угля в выработку; образование или отсутствие полости; при образовании полости – ширина больше ее глубины; преобладание в разрушенном угле крупных кусков; наличие щели между пластом и кровлей. Сопровождается резким звуком, сотрясением массива, образованием пыли и ударной воздушной волны; на газоносных пластах – повышенным газовыделением. Поражающими факторами являются механическое воздействие разрушенного угля и ударная воздушная волна | Напряженное состояние массива горных пород, высокие прочностные и деформационные свойства угля и боковых пород | Отработка оставленных целиков угля; ведение горных работ встречаемыми и догоняющими забоями; проведение выработок в зонах влияния очистных забоев, зонах ПГД и зонах влияния геологических нарушений | Толчки в углепородном массиве, отскакивание кусочков угля; повышенный выход буровой мелочи и зажатие бурового инструмента |
| Внезапный прорыв газа из почвы выработки | Быстропротекающее разрушение (разлом) пород почвы выработки, сопровождающееся звуковым эффектом, интенсивным выделением газа, иногда с углем и водой; образование зияющих трещин, ориентированных по нормали или под некоторым углом к напластованию пород и, как правило, вдоль линии очистных забоев и продольной оси подготовительных выработок. Поражающим фактором является выделяющийся газ | Коллекторы газа в породах почвы выработки, пониженная прочность угля и пород залегающих в почве выработки | Зоны ПГД и геологических нарушений; наличие тектонически нарушенных угольных пластов, прослоек угля и углистого сланца, расположенных в почве выработки на расстоянии до 25 м; большая площадь обнажения пород почвы | Интенсивное пучение почвы; повышенное давление на крепь, удары в породах почвы |
| * Обрушения угля, происходящие под действием сил тяжести вследствие слабого сцепления с боковыми породами и нарушения технологического крепления нависающего массива, не являются газодинамическими явлениями и относятся к технологическим обрушениям. | | | | |

Принятые комиссией перечни и порядок отработки шахтопластов утверждают совместным приказом объединения (предприятия) и территориального управления Госпромгорнадзора, а последующие изменения и дополнения к нему вносят по согласованию с вышеуказанной комиссией.

Для безопасной разработки пластов, склонных к ГДЯ, необходимо предусматривать применение: прогноза опасности проявления ГДЯ; опережающей отработки защитных пластов или других способов предотвращения ГДЯ и контроля их эффективности; систем разработки и технологий ведения очистных и подготовительных работ, снижающих вероятность возникновения ГДЯ; мероприятий по обеспечению безопасности работающих.

Способы предотвращения ГДЯ подразделяются на региональные и локальные.

К региональным способам относятся: опережающая отработка защитных пластов; дегазация надрабатываемых крутых выбросоопасных пластов в зонах разгрузки; увлажнение угольных пластов; передовое торпедирование пород кровли пласта; гидродинамическое воздействие на угольный пласт.

К локальным способам относятся: гидрорыхление угольного пласта; гидроотжим призабойной части пласта; образование разгрузочных пазов; образование разгрузочных щелей во вмещающих породах; бурение опережающих скважин; торпедирование угольного массива; образование разгрузочной щели по длине очистного забоя; вибрационное воздействие на призабойную часть пласта; оптимизация параметров буровзрывных работ; проведение выработки с опережающим забоем; возведение заградительных перемычек и опережающей крепи; бурение дегазационных скважин.

К мероприятиям по обеспечению безопасности работающих, которые должны применяться дифференцированно в зависимости от видов ГДЯ относятся: производство сотрясательного взрывания; регламентации последовательности выполнения технологических процессов и способов предотвращения ГДЯ при работе в опасных зонах; схемы вентиляции, обеспечивающие устойчивое проветривание забоев и возможность подсыхания исходящей из очистного забоя струи воздуха; организация телеметрического контроля за содержанием метана в горных выработках, в том числе при сотрясательном взрывании; устройство индивидуальных или групповых пунктов жизнеобеспечения, либо переносных спасательных пунктов; установление телефонной связи; дистанционное управление машинами и механизмами.

Руководство работами по борьбе с ГДЯ осуществляют по схеме: Техническое управление Министерства угольной промышленности Украины – технические директора (главные инженеры) объединений (предприятий) – главные инженеры шахт (шахтоуправлений).

В технической дирекции объединений, шахты которых разрабатывают пласты, склонные к ГДЯ, или проводят выработки по выбросоопас-

ным песчаникам, работы по борьбе с ГДЯ организует главный горняк по борьбе с этими явлениями, а в шахтостроительных предприятиях и на самостоятельных шахтах – лица, назначенные приказом по предприятию.

Ответственность за обеспечение безопасных условий труда на шахте при ведении горных работ на пластах, склонных к ГДЯ, и на выбросоопасных песчаниках возлагается на главного инженера предприятия и технического директора объединения, которые осуществляют выбор способов прогноза и предотвращения ГДЯ, а также мероприятий по обеспечению безопасности работающих для конкретных забоев. Выбранные мероприятия вносят в техническую документацию, которую согласовывают и утверждают в установленном порядке.

Ведение прогноза и контроля эффективности мероприятий по предотвращению ГДЯ на шахтах осуществляют специальные службы (группы), которые подчиняются непосредственно главному инженеру шахты. Допускается создание таких групп в составе участка вентиляции и техники безопасности (ВТБ). Такой группой руководит заместитель начальника участка ВТБ по прогнозу и контролю и подчиняется главному инженеру шахты.

При применении сплошной системы разработки на незащищенных крутых и крутонаклонных выбросоопасных пластах забой откаточного штрека должен опережать очистной забой (считая от первого уступа лавы или нижнего сопряжения лавы со штреком) не менее чем на 100,0 м. Просеки (нижние печи) должны опережать очистной забой не менее чем на 20,0 м.

На пологих и наклонных пластах при сплошной системе разработки допускается проведение откаточного (конвейерного) штрека по углю одним забоем с лавой или с опережением не менее 100,0 м. В отдельных случаях по заключению МакНИИ опережение откаточного (конвейерного) штрека на крутых и пологих пластах допускается менее 100,0 м, а просека (нижней печи) – менее 20,0 м в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий.

Заложение полевых выработок необходимо производить на расстоянии не менее 5,0 м от угольных пластов, склонных к внезапным выбросам, считая по нормали. По заключению МакНИИ допускается заложение полевых выработок на меньшем расстоянии. При этом полевую выработку необходимо проводить с бурением разведочных скважин через каждые 5,0 м продвижения или с контролем расстояния до пласта акустическим способом.

Если полевая выработка проводится буровзрывным способом, то режим сотрясательного взрывания вводят при приближении к пласту на расстояние не менее 3,0 м по нормали.

Подготовительные и очистные работы в установленных прогнозом опасных зонах необходимо проводить с применением способов предотвращения ГДЯ.

На шахтах, опасных по внезапным выбросам, выделяют специальную смену для выполнения локальных способов предотвращения ГДЯ и ведения сотрясательного взрывания. На основании хронометражных наблюдений, по согласованию с МакНИИ и органами Госпромгорнадзора, время на выполнение указанных работ может быть менее или более смены, о чем указывают в паспорте выемочного участка или в паспорте проведения и крепления выработки.

Выемку угля в очистных забоях пологих и наклонных пластов, опасных по ГДЯ, следует производить узкозахватными самозарубывающимися комбайнами или струговыми установками. При отсутствии самозарубывающихся комбайнов выемку угля в нишах можно производить выбуриванием, отбойными молотками или сотрясательным взрыванием.

Выемку угля узкозахватными комбайнами следует производить по односторонней схеме. По двухсторонней схеме выемка угля допускается в неопасных зонах, установленных прогнозом, а также в опасных зонах после применения способов предотвращения ГДЯ и контроля их эффективности. Выемка угля широкозахватными комбайнами может быть разрешена органом Госпромгорнадзора по заключению технологического института.

Допускается выемка угля отбойными молотками по всей длине лавы или отдельной ее части при неустойчивой, легкообрушаемой кровле со специальными мероприятиями, утвержденными главным инженером шахты.

Выемка угля на крутых шахтопластах, опасных по ГДЯ, производится лавами по падению с применением щитовых агрегатов, а также лавами по простиранию с применением дистанционно управляемых комбайнов или отбойных молотков.

При потолкоуступной форме очистного забоя расстояние между уступами по простиранию не должно превышать 3,0 м для пластов мощностью до 1,0 м и 4,0 м для пластов мощностью более 1,0 м.

Управление кровлей в очистных забоях опасных по ГДЯ шахтопластов производится полным обрушением или полной закладкой выработанного пространства. Другие способы управления кровлей допускаются по согласованию с институтами-разработчиками.

На пластах, опасных по ГДЯ, допускается выемка угля струговыми установками без применения способов предотвращения этих явлений по длине лавы. При этом выемка угля должна осуществляться по всей длине очистного забоя при отсутствии людей в лаве и по ходу исходящей струи воздуха до ее подсвежения или места соединения с групповой выработкой. Разрешается нахождение помощника машиниста на верхней головке конвейера струговой установки (кроме особо выбросоопасных участков). Прямолинейность лавы должна контролироваться инструментально маркшейдерской службой шахты не менее двух раз в месяц.

При неустойчивой кровле допускается выемка угля стругом отдельными последовательными участками длиной не менее 80,0 м и глубиной не более 0,8 м. В концевых частях лавы длина вынимаемых участков может быть уменьшена до 25,0 м, при этом переход между участками должен быть плавным на протяжении не менее 16,0 м.

На особо опасных участках основной пульт управления стругом должен находиться: при столбовой системе – на откаточном штреке на расстоянии не менее 15,0 м от забоя лавы в сторону свежей струи воздуха; при сплошной системе – на расстоянии не менее 20,0 м от забоя лавы в сторону свежей струи воздуха; у пульта управления должен находиться только машинист струговой установки. При выемке угля стругом в нижней концевой части лавы нахождение людей в опережении откаточного (конвейерного) штрека не допускается. В лавах со струговой технологией выемки угля на пластах мощностью 0,8 м и более должен применяться прогноз и способы предотвращения ГДЯ в опасных зонах установленных прогнозом.

На пластах, склонных к горным ударам, допускается, по согласованию с УкрНИМИ НАН Украины, ведение очистных работ по выемке угля механизированным способом без приведения краевой части пласта в неудароопасное состояние, при этом выемочными механизмами должны управлять дистанционно с расстояния не менее 15,0 м.

На пластах, одновременно склонных к нескольким видам ГДЯ, прогноз опасности проводят по каждому из явлений. В зависимости от видов опасности, установленных прогнозом, применяют соответствующие меры предотвращения ГДЯ, предусмотренные Правилами для этих явлений.

При вскрытии угольных пластов предусматриваются способы предотвращения внезапных выбросов угля и газа, внезапных обрушений угля и внезапных прорывов метана из почвы выработок.

Для предотвращения внезапных выбросов применяется: бурение дренажных скважин, возведение каркасной крепи, гидрорыхление угольного массива, гидровывывание пласта в сечении выработки, образование разгрузочных полостей во вмещающих породах. В сложных горно-геологических условиях допускается сочетание этих способов.

Опуская изложение технологии их выполнения, отметим, что на крутых пластах наиболее широко применяются гидрорыхление и гидровывывание угля в комплексе с возведением каркасной крепи по периметру выработки, а на пологих – гидрорыхление и бурение дренажных скважин. Все эти способы в достаточной степени освоены и многолетний опыт подтвердил целесообразность их применения в соответствующих горно-геологических условиях.

На крутых пластах, склонных к внезапным обрушениям угля, для предотвращения этих явлений применяют каркасную крепь, устанавливаемую по своду вскрывающей выработки. Опыт применения каркасов для предупреждения обрушений нависающего массива при вскрытии крутых пластов подтверждает эффективность данного мероприятия.

Вскрытие и пересечение выработками выбросоопасных песчаников осуществляется буровзрывным способом в режиме сотрясательного взрыва, а при проходке вертикальных стволов комбайнами управление ими производят дистанционно с поверхности не ближе 50 м от ствола. Все эти способы в достаточной мере освоены и применение их не вызывает каких-либо затруднений. Другие же виды ГДЯ, такие как горные удары и выдавливания угля при вскрытии пластов не происходят и поэтому меры по их предотвращению в этих условиях не применяются.

Таким образом, анализ состояния проблемы газодинамических явлений в шахтах Донбасса позволяет констатировать, что наука и практика борьбы с различными видами явлений получили неравнозначное развитие, преимущественное лишь в приложении к внезапным выбросам угля, породы и газа, как наиболее распространенным и катастрофичным явлениям. История борьбы с ними исчисляется многими десятилетиями, в течение которых сформировался оправдавший себя стройный организационно-методологический подход к изучению природы и механизма внезапных выбросов, разработке и внедрению технических решений по прогнозу и предотвращению этих явлений, технологии ведения горных работ и обеспечению безопасности работающих. В отношении других ГДЯ такого подхода не было, а для борьбы с ними использовались, как правило, технические решения, предназначенные для борьбы с выбросами, что не всегда приводило к положительным результатам. Более того, в условиях многообразия видов ГДЯ на одних и тех же пластах применение способов прогноза или предотвращения одних явлений часто оказывалось неэффективным и даже вредным для других. Региональные способы предотвращения ГДЯ, основанные на бурении скважин в угольных пластах, несмотря на привлекательность идеи заблаговременного устранения опасности возникновения этих явлений, с увеличением глубины разработки пластов и ростом горного давления стали неэффективными и технико-экономически нецелесообразными. Технологические мероприятия, рекомендуемые для снижения вероятности ГДЯ, рассматриваются как «вторая линия защиты» после выполнения специальных способов предотвращения этих явлений. В то же время некоторые из таких мероприятий, например, полевая подготовка, сами по себе являются кардинальной мерой устранения опасности возникновения ГДЯ и должны применяться в первую очередь, а при невозможности осуществления или недостаточной эффективности технологических мероприятий – специальные способы предотвращения этих явлений.

В этой связи совершенно очевидна необходимость принципиально иной концепции решения проблемы борьбы ГДЯ с позиций общности и различия видов явлений, тенденции изменения условий и характера их проявления, унификации способов и средств прогноза и предотвращения различных явлений, повышения безопасности ведения горных работ на

основе автоматизации производственных процессов и дистанционного управления машинами и механизмами, а также достижения высоких технико-экономических показателей за счет применения прогрессивных технологий и средств механизации добычных и проходческих работ, обеспечивающих одновременно и предотвращение газодинамических явлений.

1.3.2. Методы прогноза газодинамических явлений и контроля эффективности противовыбросных мероприятий

1.3.2.1. Порядок применения методов прогноза выбросоопасности

Прогноз выбросоопасности угольных пластов и песчаников производят на следующих этапах освоения месторождения:

- при ведении геологоразведочных работ;
- при вскрытии пластов стволами, квершлагами, гезенками и другими выработками;
- при проведении подготовительных выработок и ведении очистных работ.

Для прогноза ГДЯ и контроля эффективности способов борьбы с ними необходимо применять приборы и технические средства, соответствующие требованиям сертификации и допуска их к эксплуатации в угольных шахтах действующими нормативными документами.

При этом число комплектов приборов и технических средств на шахте должно быть равно количеству выработок, в которых они применяются, плюс 20% резерва.

Периодическую поверку, а также регулировку и ремонт применяемых на шахтах приборов и технических средств для прогноза ГДЯ в зависимости от способов прогноза должны производить в специализированных организациях.

Прогноз выбросоопасности угольных пластов и пород при ведении геологоразведочных работ производят геологоразведочные организации в соответствии с действующими нормативными документами для этих целей («Руководство по прогноза выбросоопасности угольных пластов Донецкого бассейна при геологоразведочных работах» и «Руководство по прогнозу выбросоопасности угольных пластов и вмещающих пород по данным геофизических исследований геолого-разведочных скважин в Донецком бассейне»).

Прогноз выбросоопасности по геологоразведочным данным предназначен для определения потенциальной выбросоопасности угольных пластов и пород.

Глубины, с которых необходимо осуществлять прогноз выбросоопасности шахтопластов Донецкого бассейна, определяют в соответствии с таблицей 1.6. С этих глубин шахтопласты относят к категории угрожаемых по внезапным выбросам угля и газа.

Таблица 1.6. – Показатели отнесения шахтопластов к угрожаяемым по внезапным выбросам угля и газа

| Выход летучих веществ, V^{daf} , % ($lg\rho$) | Комплексный показатель степени метаморфизма угля, M , у.е. | Природная газоносность пласта, м ³ /т.с.б.м. | Глубина, с которой осуществляют прогноз, м |
|---|--|---|--|
| Более 29 | От 26,3 до 27,7 | 8 и более | 400 |
| | От 24,5 до 26,2 | 9 и более | 380 |
| От 9 до 29 | От 23,7 до 27,6 | 9 и более | 380 |
| | От 17,6 до 23,6 | 11 и более | 320 |
| | От 13,5 до 17,5 | 12 и более | 270 |
| | От 9,0 до 13,4 | 13 и более | 230 |
| Менее 9 (но $lg\rho > 3,3$) | – | 15 и более | 150 |

Комплексный показатель степени метаморфизма угля M , измеряемый в условных единицах (у.е.), рассчитывают:

при V^{daf} = от 9% до 29% по формуле $M = V^{daf} - 0,16y$, у.е.;

при V^{daf} более 29% по формуле $M = (4V^{daf} - 91)/(y + 2,9) + 2,4$, у.е.

где y – толщина пластического слоя угля, мм (для углей, не склонных к спеканию, $y = 0$), определяемая согласно ГОСТ 1186-87; V^{daf} – весовой выход летучих веществ, %, определяемый согласно ГОСТ 6382-91.

Шахтопласт относят к невыбросоопасным независимо от глубины разработки и природной газоносности, если комплексный показатель степени метаморфизма угля $M > 27,7$ у.е. или логарифм удельного электросопротивления антрацитов ρ , составляет $lg\rho < 3,3$, а также, если для углей конкретной степени метаморфизма природная газоносность или глубина разработки меньше значений, указанных в таблице 1.

Прогноз выбросоопасности пород производят на основании анализа проб, отбираемых из керна на участках пересечения песчаников геологоразведочными скважинами с глубин не менее 600 м.

Пробы не отбирают и песчаники на глубинах 600 м и более относят к невыбросоопасным на участках детальной разведки и доразведки углей марок Д, Т, А, а также частично марки Г со значениями показателя отражательной способности витринита R^o менее 0,75% и содержания углерода C^o менее 84%.

1.3.2.2. Прогноз выбросоопасности пластов в месте вскрытия

Перед вскрытием горными выработками выбросоопасных и угрожаяемых по внезапным выбросам угля и газа шахтопластов и пропластков мощностью более 0,3 м необходимо осуществлять прогноз их выбросоопасности в месте вскрытия. При подходе вскрывающей выработки к пласту с расстоя-

ния не менее 10,0 м по нормали из забоя выработки на пласт бурят разведочные скважины для уточнения местоположения, угла падения и мощности пласта.

Схему расположения скважин (не менее двух: одна – в направлении подвигания забоя, другая – по нормали к пласту), их глубину и периодичность бурения определяют главный инженер и геолог шахты из расчета, что разведанная толща между пластом и выработкой должна составлять не менее 4,0 м. Фактическое положение скважин должно быть нанесено на рабочий эскиз выработки с привязкой к маркшейдерскому знаку. Контроль положения забоя относительно пласта по данным разведочного бурения осуществляется под руководством геолога шахты.

При подходе выработки на расстояние не менее 3,0 м (по нормали) к пласту бурят две скважины (шпур) для определения значений показателей выбросоопасности пласта в месте вскрытия. Отбор проб угля с разделением их по угольным пачкам производят колонковой трубой или с помощью керноборника. Скважины должны пересекать пласт на расстоянии от 1,0 м до 1,5 м за контуром выработки, при этом расстояние между ними в плоскости пласта должно быть не менее 2,0 м (см. рис. 1.6).

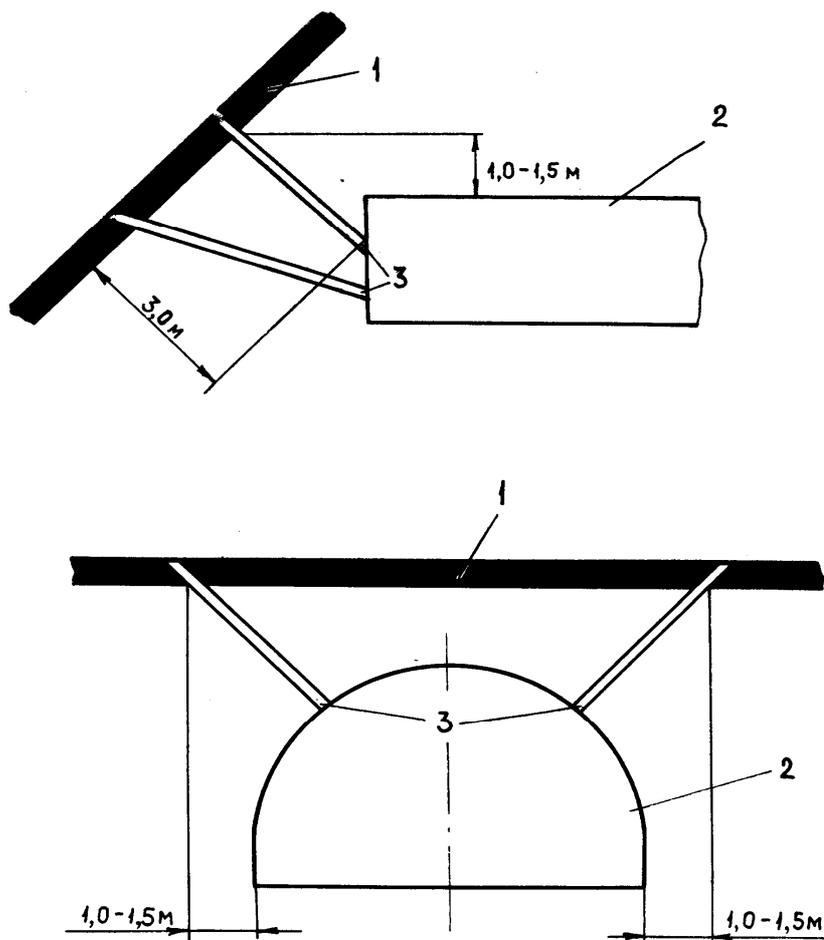


Рис. 1.6. Схема вскрытия угольного пласта: 1 – угольный пласт; 2 – вскрывающая выработка; 3 – скважины (шпур) для прогноза выбросоопасности

Перед вскрытием горизонтальными выработками пологих и наклонных пластов, а также перед вскрытием крутых и крутонаклонных пластов заездами и стволами в случае прогноза «неопасно», полученного при трехметровой породной толще, прогноз повторяют, когда забой выработки приблизится к пласту на величину породной толщи не менее 1,0 м по нормали.

Прогноз выбросоопасности пластов в месте вскрытия осуществляют по данным начальной скорости газовыделения g_n в л/мин, йодному показателю ΔJ в мг/г и коэффициенту крепости угля f по шкале М. М. Протодьяконова. Измерение начальной скорости газовыделения производят с помощью технических средств (расходомера газа и газозатвора), в двух скважинах (шпурах) не позднее, чем через 2 мин. после перебуривания пласта, при этом измерительная камера должна соответствовать мощности пласта. Если при бурении скважин отмечены предупредительные признаки выбросов, то бурение прекращают и выдают прогноз «опасно».

Определение йодного показателя и коэффициента крепости угля производят в МакНИИ по пробам, отобранным из каждой угольной пачки мощностью более 0,2 м при бурении скважин (шпуров). Если разделение проб угля по пачкам невозможен, то ΔJ и f определяют по общей пробе. К учету принимают максимальные значения g_n , ΔJ и минимальное значение f . Ситуацию перед вскрытием оценивают как невыбросоопасную при одновременном выполнении трех условий: $g_n \leq 2,0$ л/мин, $\Delta J \leq 3,5$ мг/г, $f \geq 0,6$. Если величина хотя бы одного из трех показателей не соответствует указанному условию, ситуацию считают опасной и вскрытие пласта осуществляют при прогнозе «опасно».

1.3.2.3. Текущий прогноз выбросоопасности. Общие положения

Текущий прогноз выбросоопасности предназначен для установления опасных и неопасных зон при проведении подготовительных выработок и ведении очистных работ на пластах, склонных к внезапным выбросам. На шахтах Донецкого бассейна применяют следующие способы (методы) текущего прогноза выбросоопасности: по начальной скорости газовыделения из шпуров; по прочности угольного пласта; по акустической эмиссии горного массива; по параметрам акустического сигнала; по амплитудно-частотным характеристикам акустического сигнала. Допускается сочетание текущего прогноза по начальной скорости газовыделения из шпуров с другими методами прогноза для подтверждения и уточнения границ опасных зон по длине очистного забоя.

Область и условия применения способов прогноза, параметры алгоритма прогноза для конкретных условий указывают в паспорте ведения горных работ и уточняют (при необходимости) организациями-разработчиками этих способов прогноза.

Перед началом проведения выработки с применением текущего прогноза для получения исходных данных производят разведочные наблюдения, включающие измерения: начальной скорости газовыделения из шпуров g_n в л/мин на интервалах бурения 1,5 м; 2,5 м и 3,5 м; прочности угольных пачек q_i в условных единицах или коэффициента крепости угля f по шкале М. М. Протодяконова; общей мощности пласта m и отдельных его пачек m_i в метрах и определение выхода летучих веществ V^{daf} в процентах.

Если выработка будет проводиться с применением других методов прогноза (по акустической эмиссии горного массива, по параметрам акустического сигнала, амплитудно-частотным характеристикам сигнала), то в процессе разведочных наблюдений дополнительно определяют исходные данные и для этих методов прогноза. Разведочные наблюдения проводят вне зон геологических нарушений (не ближе 25 м) и повышенного горного давления (ПГД).

В очистных выработках разведочные наблюдения проводят не менее чем в двух циклах измерений через 2,5 м подвигания забоев на пологих и наклонных пластах и через 2,7 м подвигания потолкоуступных (почвоуступных) забоев на крутых и крутонаклонных пластах. В щитовых лавах и в подготовительных выработках разведочные наблюдения проводят не менее чем в пяти циклах измерений через 2,0 м подвигания забоев.

В очистных выработках разведочные наблюдения проводят не менее чем в пяти пунктах, равномерно расположенных по длине очистного забоя, а в потолкоуступных (почвоуступных) лавах крутых и крутонаклонных угрожаемых пластов пункты наблюдений располагают в нижней третьей части этажа.

Пункты наблюдений располагают на расстоянии от 0,5 м до 1,0 м от кутков уступов, щитовых лав, монтажных печей, ниш и подготовительных выработок.

Шпур для измерения начальной скорости газовыделения в пунктах разведочных наблюдений в щитовых лавах бурят по простиранию пласта, а в остальных выработках – в направлении подвигания забоев.

Разведочные наблюдения в очистных и подготовительных выработках, проводимых с применением способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа. В отдельных случаях на выбросоопасных пластах разведочные наблюдения могут проводиться без применения способов предотвращения внезапных выбросов, но с определением при этом величины зоны разгрузки призабойной части пласта по динамике газовыделения из контрольных шпуров или по параметрам акустического сигнала.

На основании обработки результатов разведочных наблюдений должны быть получены исходные данные для текущего прогноза: максимальная величина начальной скорости газовыделения из шпуров $g_{n,max}$; минимальное

среднее значение прочности угольной пачки $\bar{q}_{i \min}$; изменчивость прочности V_q и мощности V_m пласта. При использовании коэффициента крепости угля вместо прочностных характеристик должны быть получены среднее значение \bar{f} и изменчивость коэффициента крепости угля V_f . Схемы определения крепости угля в массиве и прибор ПК-1 приведены на рисунках 1.7 и 1.8.

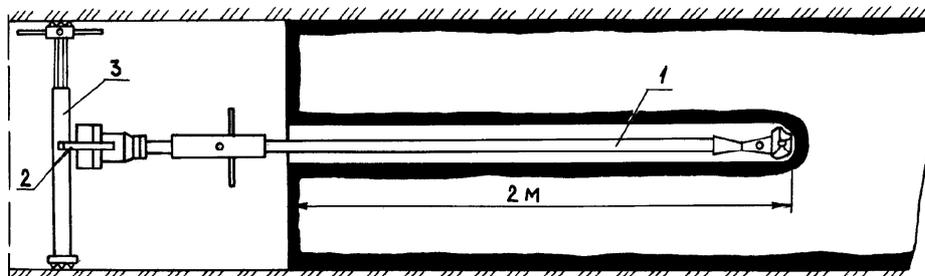


Рис. 1.7. Схема определения крепости угля в массиве: 1 – штанга прибора ПК-1; 2 – скоба корпуса прибора ПК-1; 3 – домкрат или стойка; $f = 0,2 (P+1,5)$; f – коэффициент крепости угля; P – давление сопротивления бурения, кг/см^2

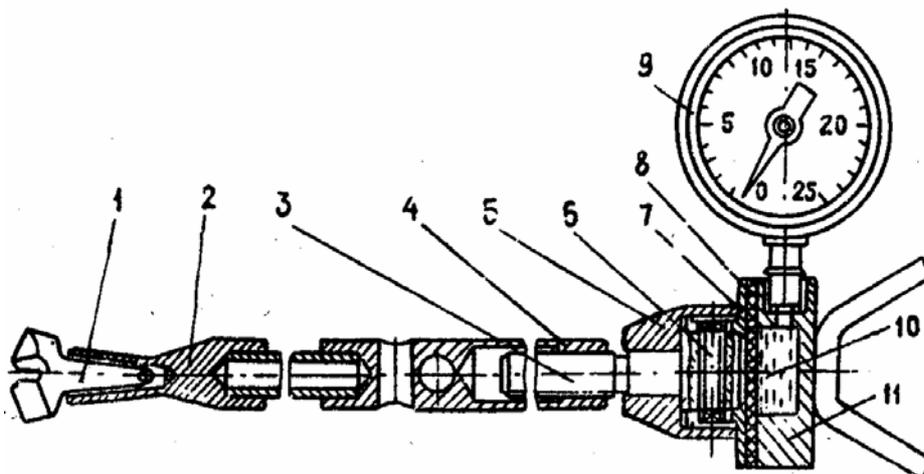


Рис. 1.8. Конструкция прибора ПК-1: 1 – резец типа РП; 2 – бур; 3 – винт; 4 – штуцер; 5 – гайка; 6 – штифт; 7 – фланец; 8 – резиновая диафрагма; 9 – манометр; 10 – глицерин; 11 – корпус

Если $\bar{q}_{i \min} > 60$ у.е., $V_q \leq 20\%$, $V_m \leq 10\%$, а $g_{н. \max}$ меньше критического значения начальной скорости газовыделения (g_n^0 , л/мин), принимаемого в зависимости от V^{daf} , делают заключение, что забой подготовительной или очистной выработки проводился на участке разведочных наблюдений в неопасной зоне. В данном случае в забое вводят текущий прогноз, а применяемые в выработке способы предотвращения выбросов могут быть отменены.

Если в разведочных наблюдениях измерялся коэффициент крепости угля f , то вместо прочностных критериев применяют критерии невыбросоопасности: $\bar{f} \geq 0,8$, $V_f \leq 20\%$. Зона пласта считается неопасной также при любых значениях V_m , если $V_f \leq 20\%$, $\bar{f} > 1,0$, а $g_{н. \max} < g_n^0$.

Критические значения начальной скорости газовыделения (g_n^0) зависят от марки угля и принимают:

| | |
|----------------------------|----------------------|
| при V^{daf} менее 15% | $g_n^0 = 5,0$ л/мин; |
| при V^{daf} от 15 до 20% | $g_n^0 = 4,5$ л/мин; |
| при V^{daf} от 21 до 30% | $g_n^0 = 4,0$ л/мин; |
| при V^{daf} свыше 30% | $g_n^0 = 4,5$ л/мин. |

Значение выхода летучих веществ V^{daf} определяют согласно ГОСТ 6382-91 как среднее по пяти пробам угля, отобранным на стадии разведочных наблюдений с поверхности забоя из угольной пачки, в которой бурят шпур для измерения g_n . В очистном забое отбирают по одной пробе угля в каждом пункте одного из циклов наблюдений, а в подготовительных – по одной пробе в каждом цикле наблюдений.

Данные разведочных наблюдений заносят в журнал по специальной форме, а результаты наблюдений при установлении неопасной зоны оформляют актом.

После вскрытия выработкой пологого или наклонного угольного пласта при прогнозе «неопасно» и отсутствии выброса дальнейшее проведение выработки может также осуществляться с применением текущего прогноза выбросоопасности без проведения разведочных наблюдений.

При выявлении текущим прогнозом опасной зоны горный мастер службы прогноза запрещает ведение работ по выемке угля в забое выработки с записью в наряд-путевку горного мастера эксплуатационного (подготовительного) участка и сообщает об этом диспетчеру шахты и руководителю службы прогноза. Последний делает соответствующую запись в журнале текущего прогноза и согласовывает ее с главным инженером шахты. Главный инженер отдает письменное распоряжение об остановке забоя выработки и возобновлении работ после применения способа предотвращения внезапных выбросов с контролем его эффективности и выполнением мероприятий по обеспечению безопасности работающих.

Выход из опасной зоны, установленной текущим прогнозом по начальной скорости газовыделения или по прочности пласта, в которой применяют способы предотвращения выбросов и контроль их эффективности, определяют путем проведения контрольных наблюдений, выполняемых по методике разведочных наблюдений в границах опасной зоны. Если по результатам контрольных наблюдений получены значения, соответствующие невыбросоопасным условиям, то делают вывод о выходе забоя выработки из опасной зоны и возможности отмены противовыбросных мероприятий.

Выход из опасной зоны, установленной другими методами прогноза, определяют по критериям соответствующих методов прогноза.

1.3.2.4. Прогноз выбросоопасности по начальной скорости газовыделения из шпуров

Измерения начальной скорости газовыделения для текущего прогноза выбросоопасных зон при проведении подготовительных выработок и ведении очистных работ производят, как и при разведочных наблюдениях, в шпурах диаметром 42...43 мм на интервалах бурения 1,5 м; 2,5 м и 3,5 м по методике и с помощью технических средств (расходомера газа ПГ-2МА, газозатвора ЗГ-1 или ГШМ). Результаты измерений заносят в специальный журнал.

Шпуры для прогноза выбросоопасности необходимо бурить: в подготовительных выработках, в нишах комбайновых лав при работе по схеме лава-штрек и в нижних просеках (печах) крутых и крутонаклонных пластов – через 2,0 м подвигания забоя; в очистных забоях – не более, чем через 2,7 м их подвигания.

В подготовительных выработках и в нишах комбайновых лав при работе по схеме лава-штрек необходимо бурить два шпура на расстоянии 0,5 м от стенок выработки в направлении подвигания забоя.

В очистных выработках пологих и наклонных выбросоопасных пластов шпуры бурят в направлении подвигания забоя не более чем через 10,0 м друг от друга. Схемы ведения текущего прогноза на выбросоопасных и угрожаемых пластах крутого и пологого падения приведены на рис. 1.9.

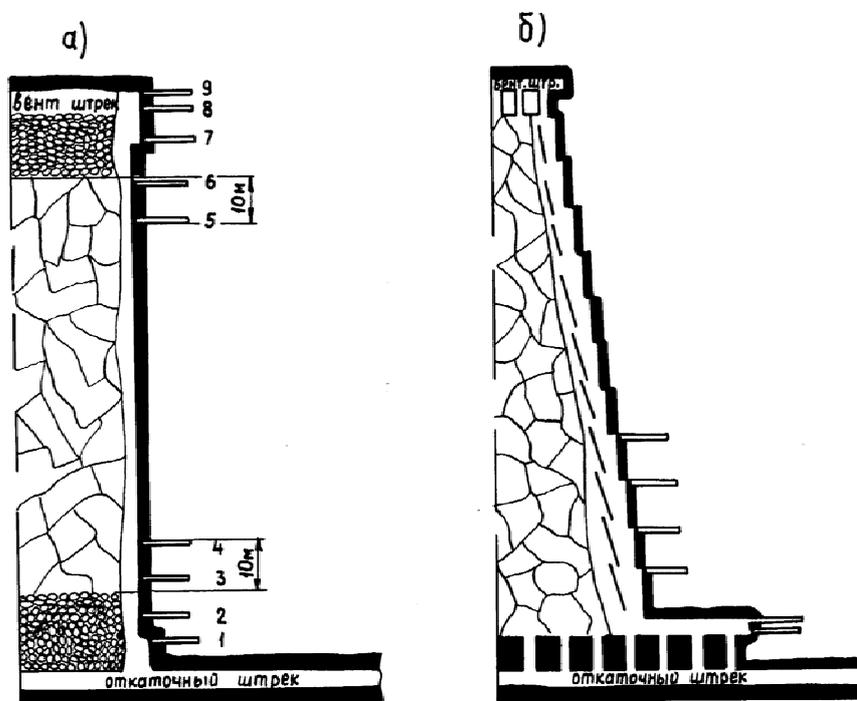


Рис. 1.9. К методике ведения текущего прогноза на угрожаемых пластах пологого (а) и крутого (б) падения: 1, 2, 3 ... – шпуры для измерения начальной скорости газовыделения

В потолкоуступных (почвоуступных) очистных забоях выбросоопасных крутых и крутонаклонных пластов шпуры бурят по простиранию пласта в нижнем просеке (печи) и в уступах на расстоянии 0,5 м от кутков, а в щитовых лавах – на расстоянии 0,5 м от кутков монтажной печи и лавы.

На угрожаемых пластах шпуры бурят: в лавах крутых и крутонаклонных пластов при потолкоуступном (почвоуступном) забое – в нижней третьей части этажа, а в лавах пологих и наклонных пластов – в нишах и напротив бутовых полос плюс 10,0 м выше (ниже) этой полосы. При подходе к геологическому нарушению на расстояние не менее 20,0 м, пересечении его и отходе от нарушения на расстояние не менее 20,0 м шпуры бурят не более чем через 10,0 м по длине очистного забоя на участке геологического нарушения и на расстоянии не менее 10,0 м в обе стороны от границ геологического нарушения.

В зонах ПГД на угрожаемых шахтопластах шпуры бурят не более чем через 10,0 м по всей длине зоны. В зонах ПГД от нескольких соседних пластов шпуры бурят не более, чем через 5,0 м.

На выбросоопасных шахтопластах при подходе к геологическому нарушению, при пересечении которого вышележащими по пласту выработками не происходили выбросы и не установлены опасные зоны, шпуры бурят не более, чем через 5,0 м по длине очистного забоя на участке геологического нарушения и на расстоянии не менее 10,0 м по обе стороны от границ нарушения. Бурение шпуров осуществляют не менее чем за 20,0 м до нарушения, при пересечении нарушения и при отходе от него не менее чем на 20,0 м.

Если отработку пологих и наклонных выбросоопасных пластов осуществляют с применением узкозахватных комбайнов по столбовой системе при отсутствии зон ПГД в лавах, а оконтуривающие выработки проведены без применения способов предотвращения выбросов и при этом не пересекают геологических нарушений, выбросы угля и газа отсутствуют, а выбросоопасные зоны не были выявлены, то ведение прогноза выбросоопасности в лавах производят по схеме, рекомендуемой для угрожаемых пластов.

В зонах геологических нарушений дизъюнктивного или пликративного характера, при переходе которых вышележащими по пласту выработками происходили выбросы или были установлены опасные зоны, а также в зонах ПГД, осложненных такими нарушениями, не менее чем за 20,0 м до и после нарушения на выбросоопасных пластах прогноз по начальной скорости газовыделения не проводят. При переходе очистными и подготовительными выработками указанных зон должны применять способы предотвращения внезапных выбросов или взрывные работы в режиме сотрясающего взрывания.

Зону относят к опасной, если хотя бы в одном из интервалов шпура измеренная начальная скорость газовыделения g_n равна или больше критической g_n^0 . Размер опасной зоны по длине очистного забоя ограничивают соседними шпурами, в которых измеренная начальная скорость газовыделения менее критической.

Прогноз по начальной скорости газовыделения прерывают и зону пласта также относят к опасной при уменьшении мощности пласта (пачки) до величины менее 0,2 м; невозможности пробурить или загерметизировать шпур на требуемую глубину; появлении в процессе бурения ударов и тресков различной силы и частоты; выносе из шпура газа с буровой мелочью; зажатии или выталкивании бурового инструмента.

1.3.2.5. Прогноз выбросоопасности по прочности пласта

Прогноз по прочности пласта применяют в подготовительных и очистных выработках на угрожаемых пластах, а по согласованию с МакНИИ и на отдельных участках (крыло, блок, панель) выбросоопасных шахтопластов.

После проведения разведочных наблюдений и установления на участке подвигания выработки невыбросоопасной зоны прогноз в дальнейшем осуществляют по периодическим измерениям прочности угольного пласта. Результаты измерений заносят в журнал и оформляют актом.

Периодичность измерений определяют в зависимости от прочности пласта. Если по результатам разведочных наблюдений выявлена хотя бы одна угольная пачка с прочностью $60 \text{ у.е.} < \bar{q}_{i \min} \leq 70 \text{ у.е.}$, то измерения прочности угольных пачек (пласта) осуществляют не более чем через 5,0 м подвигания забоя выработки. При $\bar{q}_{i \min} > 70 \text{ у.е.}$ периодичность измерений прочности принимают не более 10,0 м подвигания забоя. Если же при ведении прогноза с периодичностью 10,0 м в каком-либо цикле измерений будет получено значение прочности $60 \text{ у.е.} < \bar{q}_{i \min} \leq 70 \text{ у.е.}$, то переходят на периодичность измерений не более 5,0 м подвигания забоя.

Измерения прочности угольных пачек (пласта) при прогнозе выбросоопасности производят, как и при разведочных наблюдениях, с помощью прочностномера П-1 по установленной методике (рис. 1.10).

Пункты измерения на крутых и крутонаклонных пластах располагают: в потолкоуступных (почвоуступных) лавах в нижней третьей части этажа на расстоянии от 0,5 м до 1,0 м от кутков уступов, нижнего просека (печи) и подошвы откаточного штрека, а в щитовых лавах – на таком же расстоянии от кутков монтажной печи и кутка лавы.

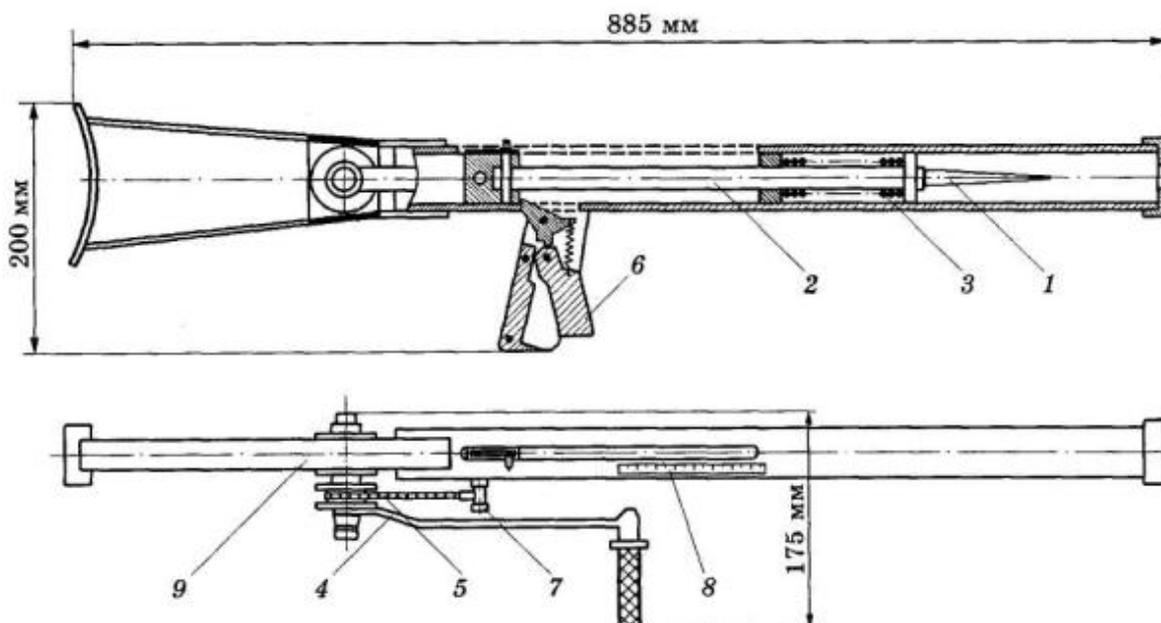


Рис. 1.10. Общий вид прочностномера П-1:

1 – конус; 2 – шток; 3 – пружина; 4 – шкала; 5 – спусковой механизм;
 6 – рычаг с рукояткой; 7 – тросик; 8 – ствол; 9 – приклад
 $q = 100 - \ell$, у.е. q – прочность пласта, у.е. ℓ – глубина внедрения конуса, мм

На пологих и наклонных пластах пункты измерений в очистных выработках располагают не более, чем через 10,0 м в пределах ширины буровой полосы плюс 10,0 м выше (ниже) этой полосы, а в нишах и подготовительных забоях – на расстоянии от 0,5 м до 1,0 м от кутков.

Если в каких-либо пунктах измерений будет установлено, что прочность угольной пачки снизилась до величины менее 60 у.е., то в этих пунктах измерений и на прилегающих к ним десятиметровых участках лавы дополнительно производят прогноз.

1.3.2.6. Контроль эффективности способов, предотвращающих внезапные выбросы угля и газа

Контроль эффективности способов, предотвращающих внезапные выбросы угля и газа, основан на определении величины зоны разгрузки призабойной части пласта по динамике начальной скорости газовыделения (далее – по газодинамике) из контрольных шпуров или по параметрам акустического сигнала.

При контроле эффективности способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа по газодинамике контрольные шпуров бурят на расстоянии до 0,5 м от кутков выработок и ориентируют их по ходу движения забоя или параллельно скважинам (шпурам), через которые осуществлялась противовыбросная обработка пласта. Расстояние от контрольных шпуров до

скважин, пробуренных при выполнении способов предотвращения выбросов, должно быть не менее 0,4 м по всей их длине. При применении разгрузочных пазов для предотвращения внезапных выбросов контрольные шпуры бурят параллельно пазам на расстоянии от 1,0 м до 1,5 м от пазы.

В прямолинейных очистных выработках шпуры бурят в направлении подвигания забоя и располагают их между скважинами, через которые производилась противовыбросная обработка, или на расстоянии не более 10,0 м один от другого по всей длине лавы.

При контроле эффективности разгрузочных пазов, щелей и гидротжима контрольные шпуры бурят на глубину, не превышающую глубину пазов, щелей или шпуров для гидротжима.

Для контроля эффективности по газодинамике контрольные шпуры бурят диаметром 42...43 мм по наиболее нарушенной пачке угля мощностью не менее 0,2 м. Если пласт состоит из двух и более угольных пачек одинаковой нарушенности, то шпуры бурят по пачке большей мощности.

Измерения начальной скорости газовыделения производят через каждые 0,5 м по длине контрольного шпура. Бурение контрольного шпура при достижении глубины 1,0 м, а затем через 0,5 м на интервалах 1,5 м; 2,0 м; 2,5 м и т.д. прекращают, буровую штангу извлекают, в контрольный шпур вводят газозатор ЗГ-1 или ГШМ и герметизируют измерительную камеру длиной 0,2 м.

С помощью расходомера газа ПГ-2МА, присоединенного к газозатору, не позднее, чем через 2 минуты после окончания бурения данного интервала, измеряют начальную скорость газовыделения. Измерения прекращают на интервале, на котором скорость газовыделения снизилась по сравнению с измеренной на предыдущем интервале. Если на каком-либо интервале бурения не удалось выполнить измерение в установленное время и обнаружено уменьшение скорости газовыделения по сравнению с предыдущим замером, то должен быть пробурен дополнительный контрольный шпур на расстоянии не менее 0,3 м от предыдущего. Результаты измерений заносят в журнал по установленной форме.

По результатам поинтервальных измерений газовыделения разгруженной зоной пласта является его призабойная часть до конца интервала, на котором увеличение начальной скорости газовыделения (если она по абсолютной величине не менее 0,8 л/мин) сменяется уменьшением. При максимальной скорости газовыделения до 0,8 л/мин величину зоны разгрузки считают равной длине шпура плюс 1,0 м. Если скорость газовыделения равна или превышает 0,8 л/мин и не происходит ее снижение, зону разгрузки считают равной длине шпура плюс 0,5 м (см. рис. 1.11 и 1.12).

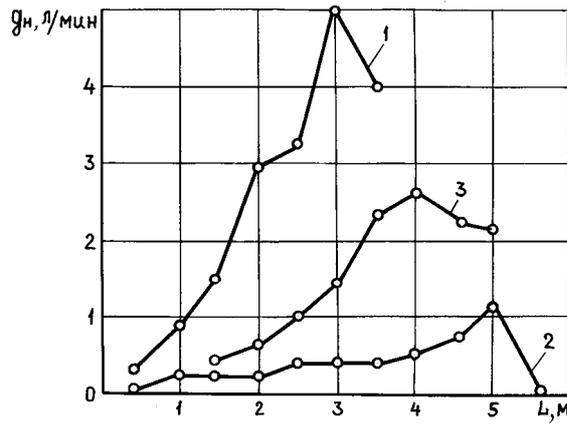


Рис. 1.11. График зависимости начальной скорости g_n газовыделения от расстояния L до забоя: 1 – перед нагнетанием воды; 2 – сразу после нагнетания; 3 – после подвигания забоя

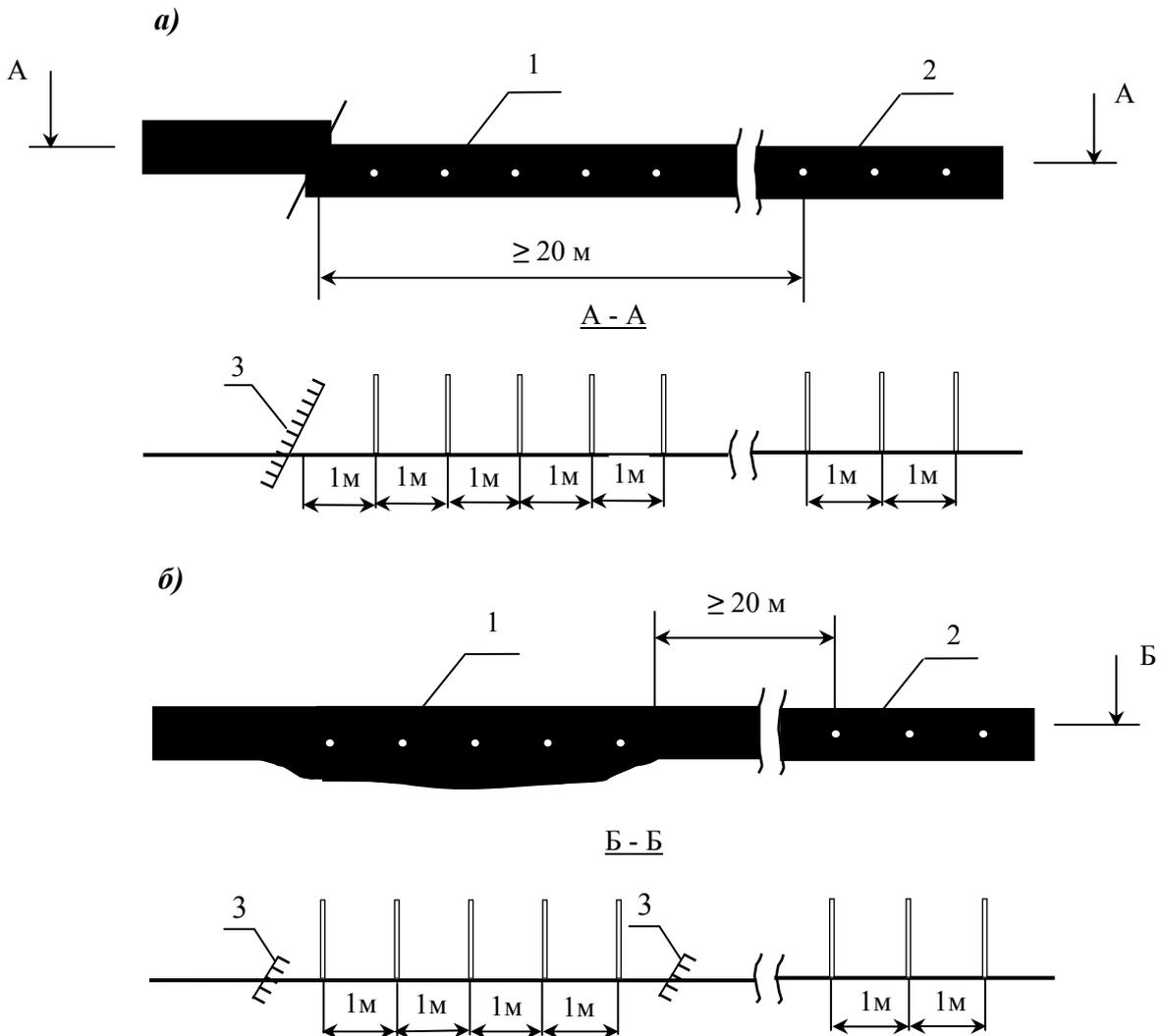


Рис. 1.12. Схемы расположения контрольных шпуров для оценки степени выбороопасности геологических нарушений: *а* – дизъюнктивных; *б* – пликативных; 1 – контрольные шпур в зоне геологического нарушения; 2 – контрольные шпур на эталонном участке; 3 – геологическое нарушение.

Если пробурить шпур на длину очередного интервала не удастся (либо газозатор не досылается на необходимую глубину, либо герметизация ненадежна), величину зоны разгрузки принимают равной глубине предыдущего интервала измерения.

Способ предотвращения внезапных выбросов угля и газа считают эффективным, если после его выполнения величина зоны разгрузки превышает глубину вынимаемой полосы угля за цикл не менее чем на величину неснижаемого опережения, равную 1,3 м.

В случае, если глубина выемки за цикл больше величины зоны разгрузки, или неснижаемое опережение меньше 1,3 м, работы по выемке угля в выработке не допускаются и могут быть разрешены после отстоя забоя (не менее 1 часа) и повторного контроля величины зоны разгрузки, повторного выполнения способа предотвращения выбросов и установления его эффективности, или после пересмотра и выполнения мероприятий по предотвращению выбросов. Для определения величины зоны разгрузки около подготовительной выработки впереди очистного забоя при сплошных и столбовых системах разработки контрольные шпуры бурят в стенку этой выработки не более чем через 10,0 м друг от друга.

Величину зоны разгрузки призабойной части угольного пласта определяют по параметрам акустического сигнала, регистрируемого и обрабатываемого с помощью АПСС и компьютера при поинтервальном бурении контрольных шпуров. Диаметр шпуров, расположение их и величину интервалов бурения принимают аналогично указанным выше. Шпуры бурят на глубину не менее 3,5 м. Область применения способа – очистные и подготовительные выработки, в которых осуществляется контроль эффективности противовыбросных мероприятий или производится определение безопасной глубины выемки угля.

1.3.2.7. Прогноз выбросоопасности пород (песчаников)

Прогноз выбросоопасности пород осуществляют на стадии геологоразведочных работ и при проведении горных выработок.

На стадии геологоразведочных работ прогноз производят согласно действующих нормативных документов, а при проведении горных выработок – по делению кернов на диски и наличию кольцевых трещин, по эффективной поверхностной энергии (ЭПЭ) или по геолого-геофизическим данным.

Выбросоопасность пород определяют на основании анализа керна материала, полученного при бурении скважин диаметром от 59 мм до 76 мм. Длина скважин не ограничивается, но неснижаемое опережение их впереди забоя выработки должно быть не менее 2,0 м.

Керновые скважины бурят в направлении подвигания выработки и располагают: по оси выработки, если выбросоопасный песчаник находится во всем сечении выработки; в выбросоопасном слое песчаника, если в сечении выработки находятся выбросоопасный и невыбросоопасный слой, или по каждому слою, если выбросоопасность их неизвестна.

Прогноз выбросоопасности пород не производят в зонах, защищенных опережающей отработкой угольных пластов. Основным показателем прогноза выбросоопасности пород является разделение керна на диски и наличие кольцевых трещин. Характерной особенностью дисков и кольцевых трещин, образующихся при бурении керновых скважин в выбросоопасных песчаниках, является перпендикулярность к оси скважин плоскостей, ограничивающих диски или кольцевые трещины.

Степень выбросоопасности пород определяют по интенсивности деления керна на диски и образования кольцевых трещин (рис. 1.13):

- при наличии от 30 до 40 и более выпукло-вогнутых дисков в 1,0 м керна – степень выбросоопасности высокая;

- при наличии в 1,0 м керна не более 30 дисков, перемежающихся участками керна длиной от 50 мм до 100 мм с характерными кольцевыми трещинами – степень выбросоопасности средняя;

- при выходе керна длиной от 150 до 200 мм и более, опоясанных кольцевыми трещинами и перемежающихся единичными дисками – степень опасности низкая;

- при отсутствии в керне дисков и кольцевых трещин песчаник относят к невыбросоопасным.

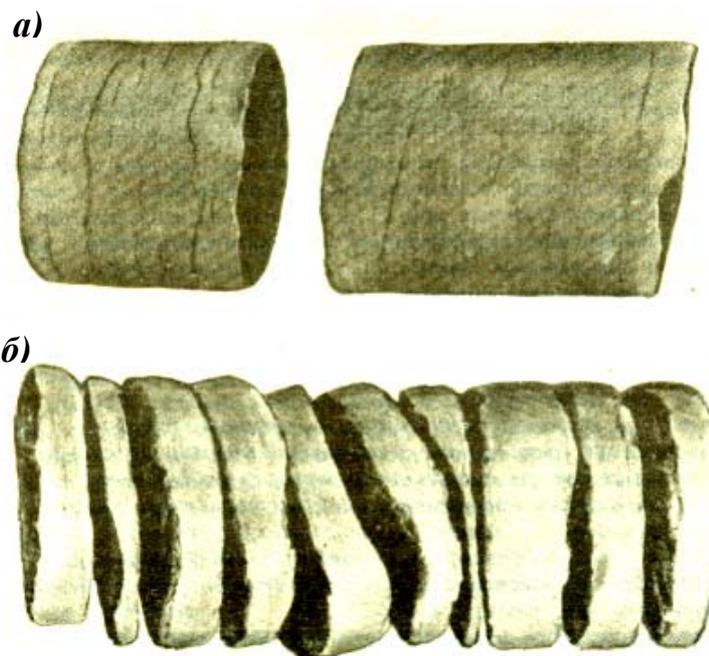


Рис. 1.13. Характер разрушения керна:
а – в невыбросоопасной зоне; *б* – в выбросоопасной зоне

Перед бурением керновой скважины геолог шахты производит описание слоев песчаника в сечении выработки, определяет слой (слои), по которому необходимо бурить скважину. После бурения описывает керновый материал по скважине, наносит на эскиз проведения выработки (планшет) расположение скважины с привязкой ее к маркшейдерскому знаку и данные наблюдений заносит в рабочий журнал геолого-маркшейдерской службы шахты.

При подходе вскрывающей выработки к выбросоопасному песчанику или песчанику; выбросоопасность которого на глубине 600 м и более неизвестна, с расстояния не менее 10,0 м бурят разведочные скважины для определения положения песчаника по аналогии с требованиями для угольных пластов. С расстояния не менее 3,0 м от забоя выработки до песчаника производят прогноз его выбросоопасности в месте вскрытия. При этом песчаник должен быть перебурен керновой скважиной за один или несколько приемов.

Для прогноза выбросоопасности пород по ЭПЭ отбирают пробы в виде части керна длиной не менее 200 мм из участка деления его на диски или наличия кольцевых трещин и из участка, где диски или кольцевые трещины отсутствуют. Из каждой пробы изготавливают не менее трех образцов для определения величины ЭПЭ и вычисляют средние значения для каждой пробы.

Выбросоопасность песчаника определяют по показателю $B_{ЭПЭ}$

$$B_{ЭПЭ} = \frac{(3 \cdot \rho_n \cdot g_n \cdot H)^2}{A_n \cdot E_1 \cdot \gamma_1} - \frac{\gamma_2}{\gamma_1},$$

где H – глубина залегания пород, м;

g_n – ускорение свободного падения, м/с²;

ρ_n – объемный вес вышележащих пород, г/м³;

A_n – удельная поверхность разрушенного материала, м²;

E_1 – модуль упругости песчаника на участке деления керна на диски или наличия кольцевых трещин, т/м²;

γ_1 и γ_2 – средние значения ЭПЭ по пробам керна на участках наличия дисков или кольцевых трещин и отсутствия их соответственно, м / с².

Песчаник считают выбросоопасным, если показатель $B_{ЭПЭ} > 1$, и невыбросоопасным, если $B_{ЭПЭ} \leq 1$.

Для прогноза выбросоопасности по геолого-геофизическим данным в забое выработки отбирают пробы из каждого однородного по структурно-текстурным признакам слоя песчаника мощностью более 1,0 м. Если песчаник однородный по всей мощности, то отбирают одну пробу. Из этих проб

изготавливают образцы, по которым в лабораторных условиях определяют прогностические показатели выбросоопасности. Нормированные величины этих показателей, дифференцированные по рангам выбросоопасности, с помощью которой по фактически установленным величинам каждого показателя определяют соответствующий ранг выбросоопасности.

Выбросоопасность песчаника (слоя) определяют по комплексному критерию B , который рассчитывается по сумме рангов всех показателей согласно формуле

$$B = \frac{B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 + B_6 + B_7}{12} + \frac{B_6}{2},$$

где $B_1 \dots B_7$ – ранги прогностических показателей выбросоопасности согласно [85].

При величине $B \leq 0,35$ песчаник относят к невыбросоопасным. Если B равно от 0,36 до 0,39 то необходимо дополнительное опробование в объеме, предусмотренном нормативными требованиями. При $B \geq 0,4$ песчаник относят к выбросоопасным.

Заключение о результатах прогноза выбросоопасности пород подписывают геолог шахты и руководитель службы прогноза, согласовывают с соответствующим разработчиком способа прогноза и утверждают главным инженером шахты.

1.3.3. Методы предотвращения ГДЯ

Методы предотвращения ГДЯ подразделяются на региональные, выполняемые заблаговременно на стадии подготовки к отработке выемочных участков, панелей, блоков, и локальные, выполняемые непосредственно в забоях очистных, подготовительных и нарезных выработок.

К региональным методам относятся: опережающая отработка защитных пластов, дегазация надрабатываемых крутых пластов в зонах разгрузки, увлажнение угольных пластов, передовое торпедирование пород кровли и гидродинамическое воздействие на угольный пласт.

К локальным методам относятся: гидрорыхление угольного пласта, гидроотжим призабойной части пласта, образование разгрузочных пазов, образование разгрузочной щели во вмещающих породах, бурение опережающих скважин, торпедирование угольного массива, образование разгрузочной щели по длине очистного забоя, вибрационное воздействие на призабойную часть пласта, предупреждение и локализация внезапных выбросов породы и газа, возведение опережающего крепления и бурение дегазационных скважин.

1.3.3.1. Опережающая отработка защитных пластов

Механизм защитного действия опережающей разработки защитных пластов для предотвращения ГДЯ заключается в снижении горного и газового давления, увеличении газопроницаемости и дегазации надрабатываемых и подрабатываемых угольных пластов и пород.

Защитным считается такой пласт (пропласток), опережающая разработка которого обеспечивает полную безопасность горных работ на защищаемом, опасном по ГДЯ, пласте или его частичную разгрузку от горного давления, способствующую облегчению применения других способов предотвращения ГДЯ.

Защите подлежат угольные пласты, опасные и угрожаемые по ГДЯ и слои выбросоопасных пород, по которым проходят горные выработки.

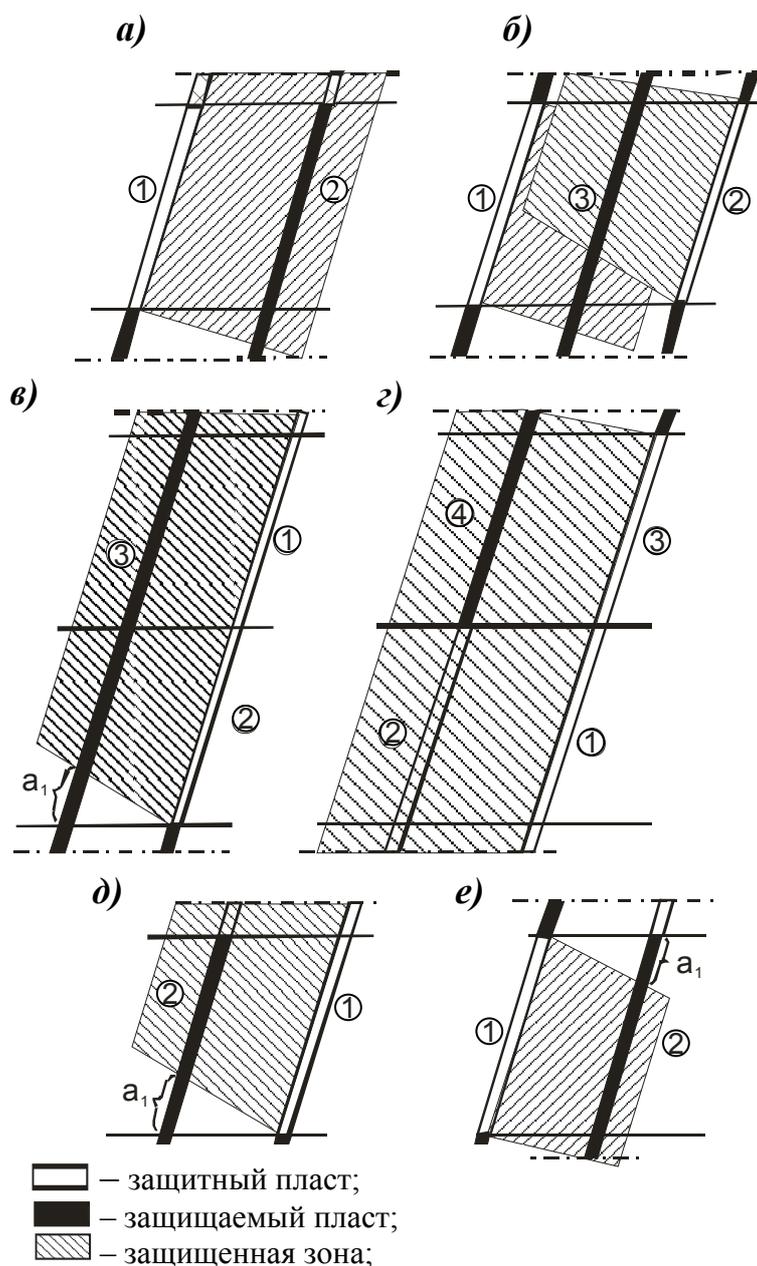
Пласты в свите могут разрабатываться в нисходящем, восходящем и смешанном порядках. Порядок разработки пластов в свите выбирают с таким расчетом, чтобы обеспечить эффективной защитой наибольшее число пластов, опасных и угрожаемых по ГДЯ, в максимальной степени исключить ведение горных работ в незащищенных зонах и в зонах ПГД, возникающих от влияния краевых частей очистных работ и целиков, оставленных на других пластах свиты.

При наличии в свите неопасных или угрожаемых пластов (пропластков) следует предусматривать их первоочередную разработку в качестве защитных. Если все пласты в свите отнесены к опасным по ГДЯ, то в первую очередь следует разрабатывать менее опасный пласт или пласт, при разработке которого обеспечивается наиболее эффективное применение комплекса мер по предотвращению ГДЯ и максимальная защита соседних пластов по площади. Основные схемы отработки защитных пластов приведены на рисунке 1.14.

Опережающая разработка защитных пластов считается эффективной, если дальность защитного действия при подработке S_1 или надрботке S_2 опасного по ГДЯ пласта равна или больше величины междупластья h_1 или h_2 соответственно ($S_1 \geq h_1; S_2 \geq h_2$), как показано на рисунке 1.15.

Расчет и построение защищенных, незащищенных зон и зон ПГД осуществляет маркшейдерская служба шахты по специальной методике. Главный маркшейдер шахты наносит границы этих зон на планы горных работ и на рабочие эскизы участков. Отработку защитного пласта необходимо производить без оставления целиков и участков угольного массива в выработанном пространстве.

При разработке защитных пластов следует применять способы управления кровлей полным обрушением или плавным опусканием. Управление кровлей полной закладкой выработанного пространства допускается при мощности защитного пласта, достаточной для обеспечения защиты.



a_1 – незащищенный участок этажа; 1,2,3,4 – порядок отработки пластов и этажей

Рис. 1.14. Основные схемы (а, б, в, г, д, е) использования защитных пластов

Оценку эффективности защитного действия выполняют с целью установления наличия защиты и определения границ защищенных зон. Определение эффективности защитного действия заключается в экспериментальной оценке изменения напряженного и газодинамического состояния защищаемого пласта по выходу буровой мелочи и начальной скорости газовыделения на каждом метровом интервале бурения контрольных шпуров глубиной не менее 5 м.

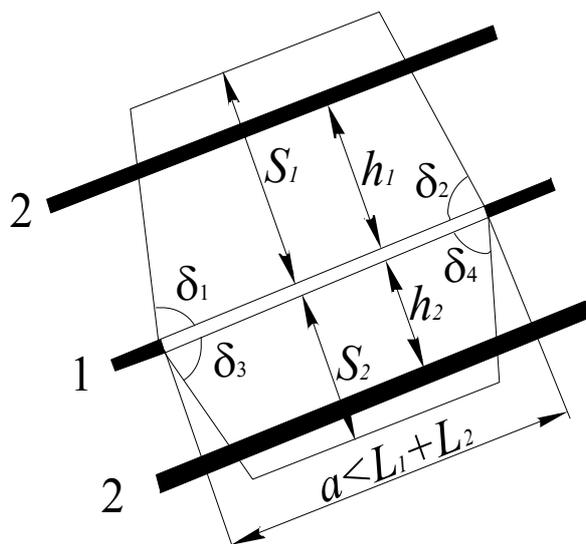


Рис. 1.15. Схема к построению защищенной зоны

Контрольные шпуров располагают:

- в очистных забоях уступной формы – по одному шпуров в каждом уступе на расстоянии не более 1 м ниже кутка, а при длине уступа более 20 м бурят дополнительный шпур по середине уступа;
- в прямолинейных очистных забоях – не более чем через 20 м друг от друга;
- в подготовительных выработках – по одному шпуров в углах забоя с выходом за проектный контур выработки на расстоянии не менее 1,5 м от забоя.

Измеренные значения выхода буровой мелочи P_m в литрах и начальной скорости газовыделения g_n в литрах за минуту по длине шпуров сопоставляют с их безопасными значениями в соответствии с номограммами, приведенными на рисунке 1.16.

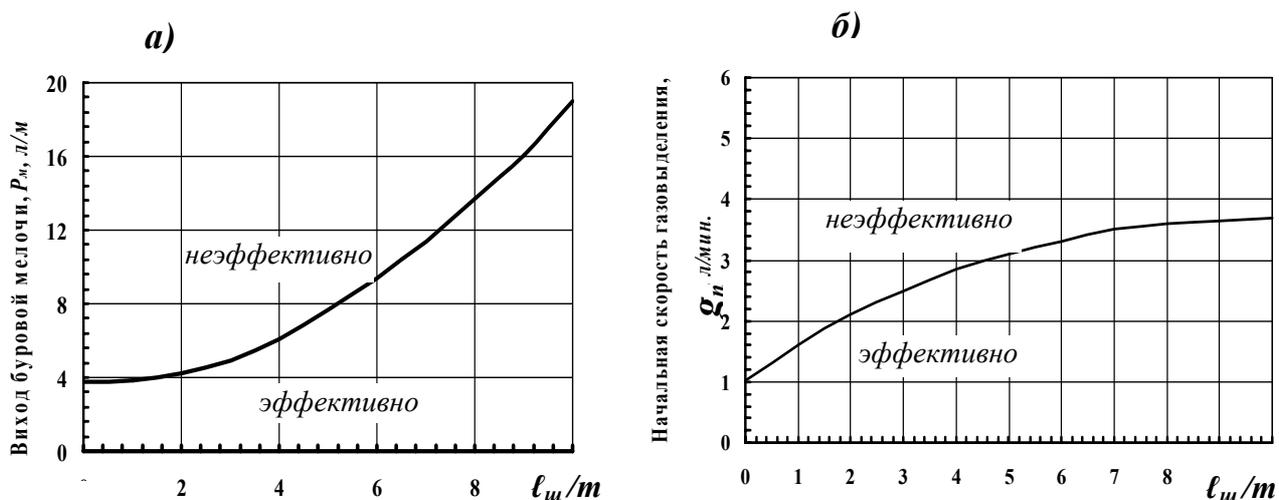


Рис. 1.16. Номограммы для контроля эффективности защитного действия по выходу буровой мелочи (а) и начальной скорости газовыделения (б)

В зонах, выявленных контролем эффективности защитного действия как незащищенных, должен применяться прогноз опасности ГДЯ, а в опасных зонах, выявленных прогнозом, – способы их предотвращения.

На участках пластов, на которых в результате оценки установлено наличие эффективной защиты, горные работы в дальнейшем ведут с периодическим контролем эффективности защитного действия.

Отработку защитного пласта необходимо производить без оставления целиков и участков угольного массива в выработанном пространстве.

1.3.3.2. Дегазация надрабатываемых крутых выбросоопасных пластов в зонах разгрузки

Дегазацию крутых выбросоопасных пластов применяют при расстоянии между защитным и опасным пластами h_2 , превышающем дальность защитного действия S_2 , но не более 100 м.

Дегазацию осуществляют скважинами, пробуренными из полевого штрека (рис. 1.17а) или из откаточного штрека защитного пласта (рис. 1.17б).

Дегазационные скважины бурят впереди очистного забоя защитного пласта, располагая их в три ряда. Скважины первого ряда должны пересекать выбросоопасный пласт на расстоянии от 5 м до 8 м выше отметки будущего откаточного штрека. Скважины второго ряда должны пересекать выбросоопасный пласт выше первого ряда на расстоянии по пласту не более 30 м, а третьего ряда – выше второго ряда не более 40 м.

При мощности междупластья до 65 м расстояние по простиранию между забоями скважин первого ряда не должно превышать 25 м, второго и третьего ряда – 50 м, а при мощности междупластья от 65 м до 100 м расстояние по простиранию между забоями скважин первого ряда – не более 20 м, второго и третьего ряда – 40 м.

Бурение скважин, герметизацию их устьев, оснастку, отвод метана в газопроводы и контроль режима их работы производят в соответствии с Руководством по дегазации.

Горные работы по выбросоопасному пласту должны отставать от линии очистного забоя защитного пласта, обеспечивающего разгрузку, на расстояние не менее 150 м.

Контроль эффективности дегазации надрабатываемого пласта осуществляют по начальной скорости газовыделения из контрольных шпуров при ведении подготовительных и очистных работ. В случае установления неэффективности дегазации вводят прогноз выбросоопасности, а в опасных зонах, выявленных прогнозом, применяют локальные способы предотвращения внезапных выбросов угля и газа.

1.3.3.3. Увлажнение угольных пластов

Увлажнение угольного пласта производят путем нагнетания воды через длинные скважины, пробуренные по пласту из пластовых подготовительных выработок впереди очистного забоя, и применяют для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, внезапных выдавливаний угля и горных ударов.

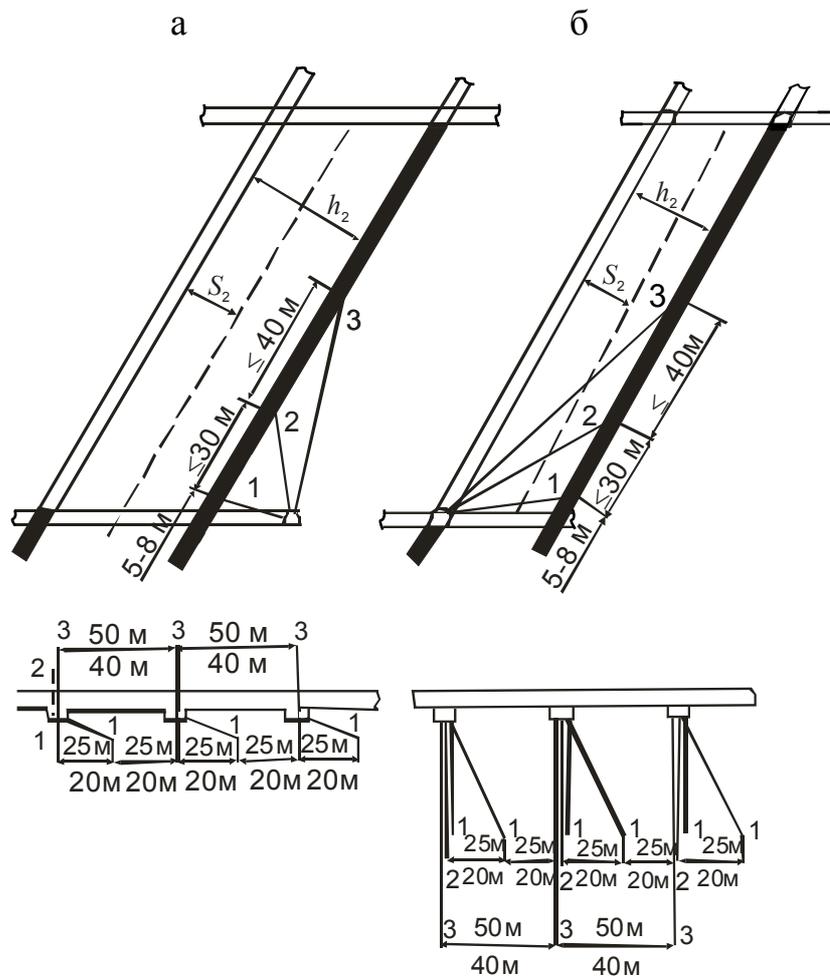


Рис. 1.17. Схемы дегазации крутых надрабатываемых пластов скважинами, пробуренными из полевого штрека (а) и откаточного штрека защитного пласта (б); 1,2,3 – дегазационные скважины; $\frac{25\text{ м}}{20\text{ м}}, \frac{50\text{ м}}{40\text{ м}}$ – расстояния между забоями скважин первого и второго (третьего) рядов соответственно (в числителе при $h_2 \leq 65\text{ м}$, в знаменателе при $h_2 > 65\text{ м}$)

Для повышения эффективности увлажнения применяют водные растворы с добавками ПАВ. Выбор типа и концентрации ПАВ в воде производят согласно таблице 1.7. Увлажнение применяют при условии обеспечения направленности бурения скважин на заданную глубину, надежной герметизации устья скважин и поступления воды (раствора) в угольный пласт.

Таблица 1.7. – Типы и концентрации ПАВ в водных растворах

| Типы ПАВ | Концентрация ПАВ в воде по маркам угля, % | | | | |
|---------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|
| | Г | Ж | К | ОС | Т |
| Сульфанол | 0,1-0,2 | 0,2-0,3 | 0,3-0,4 | 0,1-0,5 | 0,1-0,5 |
| Пенообразователь (ПО-1а, ПО-1ф) | 0,1-0,3 | – | 0,2-0,4 | – | – |
| ДБ | 0,2-0,3 | 0,3-0,4 | – | – | – |

Необходимую концентрацию выбранного вида ПАВ в воде при приготовлении раствора поддерживают дозатором ДСУ-4, установленным между водоподающим трубопроводом и счетчиком – расходомером насосной установки.

Герметизацию скважин осуществляют песчано-цементным или полимерными растворами.

Основными параметрами региональной гидрообработки пласта являются: диаметр и длина нагнетательных скважин, расстояние между ними, глубина герметизации, давление и расход нагнетаемой жидкости.

Диаметр нагнетательных скважин принимают от 80 мм до 110 мм.

Длина скважин, пробуренных по угольному пласту, должна быть на 8-10 м меньше длины лавы (высоты этажа). Если по горно-геологическим условиям или при большой высоте этажа не удастся пробурить скважины заданной длины, то увлажнение производят через скважины, пробуренные из откаточного и вентиляционного штреков. При этом расстояние между забоями встречных скважин должно составлять не менее 5 м.

Расстояние между параллельными скважинами определяют в зависимости от радиуса эффективного увлажнения R_y ; оно должно составлять не более $1,8 R_y$. Величину R_y определяют экспериментально.

Глубину герметизации нагнетательных скважин принимают равной половине расстояния между скважинами, а в нарушенном массиве – не менее 10 м.

Давление нагнетания должно обеспечивать поступление воды (водного раствора ПАВ) в угольный пласт и исключать возможность его гидроразрыва. Максимальное давление нагнетания не должно превышать величины $0,75 \gamma H$, МПа. Для предотвращения гидроразрыва пласта нагнетание в начальный период в течение первых 20 - 30 мин необходимо производить при давлении 2-3 МПа. Минимально необходимое количество жидкости Q , нагнетаемой в одну скважину, определяют по формуле:

$$Q = 2R_y \ell_{скв} m \gamma_y q_{ж},$$

где R_y – эффективный радиус увлажнения, м;

m – мощность угольного пласта, м;

γ_y – объемный вес угля, т/м³;

$l_{скв}$ – длина нагнетательной скважины, м;
 $q_{ж}$ – удельный расход нагнетаемой жидкости на 1 т угля в массиве, м³/т, принимаемый равным 0,025 - 0,030 м³/т.

Выемку угля после увлажнения пласта производят с текущим контролем эффективности увлажнения по методике и критериям прогноза выбросоопасности и удароопасности пластов.

1.3.3.4. Передовое торпедирование пород кровли пласта

Сущность способа заключается в разгрузке и дегазации угольных пластов, опасных по внезапным выбросам, внезапным выдавливаниям угля и горным ударам. Разгрузку и дегазацию производят до начала ведения очистных работ путем торпедирования пород кровли скважинными зарядами.

Передовое торпедирование не допускается в зонах геологических нарушений с перемятыми породами и раскрытыми трещинами.

Взрывные работы при торпедировании кровли должны вестись в режиме сотрясательного взрывания, а технология выполнения этих работ должна обеспечить камуфлетность взрывания.

К параметрам способа относятся: высота заложения нижнего и верхнего торцов заряда; расстояние между линиями скважин; угол разворота между линией скважин и осью подготовительной выработки; длина и диаметр скважин; длина, диаметр и масса заряда; вид и длина забойки, принимаемые согласно руководству по разупрочнению пород кровли.

Контроль эффективности передового торпедирования производят по методике и критериям прогноза выбросоопасности или удароопасности.

На участках неэффективности передового торпедирования должны применяться локальные способы предотвращения внезапных выбросов или горных ударов.

1.3.3.5. Гидродинамическое воздействие на угольный пласт

Сущность гидродинамического воздействия заключается в многократном нагнетании и сбросе давления воды в скважине, что вызывает разупрочнение и дегазацию угольного пласта. Гидродинамическое воздействие применяется для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, внезапных выдавливаний угля и горных ударов.

Область применения способа ограничивается пластами с углом падения не менее 40°, коэффициентом крепости по шкале М. М. Протодяконова $f \leq 1,5$ и газоносностью не менее 10 м³/т с.б.м., которые отрабатываются щитовыми агрегатами.

Нагнетательные скважины для гидродинамического воздействия на пласт бурят из полевой выработки согласно схемам на рисунке 5 до пересечения пласта на полную мощность.

К параметрам способа относятся: диаметр и глубина герметизации нагнетательных скважин, их угол наклона к горизонту, расстояние между скважинами, мощность породной толщи между полевой выработкой и пластом, темп и давление нагнетания, продолжительность открывания скважины по времени, масса извлеченного угля и коэффициент дегазации.

Диаметр скважин должен быть от 150 мм до 190 мм, глубина герметизации – не менее 3 м, угол наклона скважин к горизонту не менее 10° , расстояние между скважинами – от 15 м до 20 м, мощность породной толщи – не менее 3 м, темп нагнетания воды в пласт от 30 л/мин до 40 л/мин, давление нагнетания должно быть больше пластового давления газа, но не более $0,75\gamma H$. Продолжительность времени открывания скважины не должна превышать время, необходимое для обратной фильтрации жидкости из массива.

1.3.3.6. Гидрорыхление угольного пласта

Гидрорыхление осуществляется путем высоконапорного нагнетания воды в угольный пласт через скважины, пробуренные из забоя горной выработки. Суть способа состоит в разупрочнении угля внутри массива системой трещин, образующихся под действием сил горного давления и нагнетаемой воды, вызывающих разгрузку и дегазацию призабойной части пласта.

Применяется для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, внезапных выдавливаний угля и горных ударов.

К параметрам гидрорыхления относятся: диаметр, длина и глубина герметизации нагнетательных скважин, расстояние между скважинами, величина их неснижаемого опережения, количество воды, давление и темп нагнетания.

Давление при нагнетании принимают равным $P_n = (0,75...1,0)\gamma H$, МПа, где γ – удельный вес пород, кг/см³; H – глубина разработки пласта, м.

Темп нагнетания должен составлять не менее 3 л/мин.

Число скважин в подготовительной выработке и нишах лав должно быть не менее двух. Скважины бурят на расстоянии не более 1 м от углов с наклоном $5-7^\circ$ в сторону массива.

В очистных выработках с прямолинейной формой забоя скважины бурят на расстоянии не более $2R_{эф}$ друг от друга в направлении подвигания забоя. В потолкоуступных очистных забоях крутых и крутонаклонных пластов одну скважину располагают на расстоянии до 1 м от угла, остальные – на расстоянии не более $2R_{эф}$.

Для конкретных условий применения гидрорыхления глубину герметизации скважин, длину фильтрующей их части (величину неснижаемого опережения) и удельный расход воды, по которым рассчитывают остальные параметры, определяют на основании опытных нагнетаний.

Длину фильтрующей части скважины l_{ϕ} принимают в зависимости от глубины герметизации: $l_{\phi} = 1$ м, если $l_r = 3$ м и $l_{\phi} = 2$ м, если $l_r > 3$ м.

Гидрорыхление считают законченным, если в скважину подано расчетное количество воды и давление в высоконапорном водопроводе снизилось не менее чем на 30% от максимального, достигнутого в процессе нагнетания.

Контроль эффективности гидрорыхления для предотвращения внезапных выбросов угля и газа и выдавливания угля осуществляют по величине зоны разгрузки, определяемой по динамике газовыделения из шпуров, а для предотвращения горных ударов – по методике и критериям прогноза удароопасности.

1.3.3.7. Гидроотжим призабойной части пласта

Гидроотжим осуществляется путем высоконапорного нагнетания воды в призабойную часть угольного пласта через шпуры (скважины), пробуренные из забоя горной выработки, и заключается в отжати угля в выработку. Параметры и технология гидроотжима подобны гидрорыхлению.

Глубина герметизации шпуров составляет от 2 м до 5,5 м. Длина шпура должна быть на 0,3 м больше глубины герметизации.

Неснижаемое опережение шпуров принимают 0,7 м для очистных забоев и 1 м для подготовительных забоев. В зонах геологических нарушений и ПГД величина неснижаемого опережения должна быть увеличена на 0,2 м.

Темп нагнетания должен быть не менее 30 л/мин.

Насосная установка, предназначенная для гидроотжима, должна располагаться на свежей струе воздуха на расстоянии не менее 120 м от забоя подготовительной выработки и не менее 20 м от забоя очистной выработки.

Контроль эффективности гидроотжима осуществляют по величине зоны разгрузки или по выдвиганию пласта в забое.

Пункты измерения выдвигания пласта в очистных забоях располагают посередине между шпурами для гидроотжима по схеме, приведенной на рисунке 6.

В нишах и в подготовительных выработках пункты измерения выдвигания пласта располагают на расстоянии 0,5 м от кутков, посередине забоя и в боках выработки на расстоянии не более 1 м от забоя.

Измерение величины выдвигания пласта производят по смещению забивных реперов или реперов в шпурах длиной от 0,3 до 0,7 м.

Гидроотжим считают эффективным, если давление воды при нагнетании снизится до $P_k = 3 + P_c$, где P_c – потеря напора в гидросети, и произойдет выход ее на забой, выдвигание пласта в очистных забоях составит не менее $0,01 l_z$, а в подготовительных и в нишах – не менее $0,02 l_z$ и не менее 0,01 м в боках выработок.

Если после гидроотжима не достигается необходимая величина выдвигания угольного пласта, то производят дополнительный гидроотжим через шпур, пробуренный на равном расстоянии от соседних с аналогичным контролем эффективности.

Выемка угля и бурение шпуров в обработанной части пласта допускаются не раньше, чем через 30 мин после завершения гидроотжима.

1.3.3.8. Образование разгрузочных пазов

Разгрузочные пазы представляют собой щелевидные полости, образуемые в угольных пластах с помощью специальных механизмов с дистанционным управлением, и применяются для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, а также внезапных выдавливаний угля, а в сочетании с опережающей крепью, вводимой в паз, – для предотвращения и внезапных обрушений угля на крутых пластах в подготовительных и в очистных выработках. В отдельных случаях по согласованию с МакНИИ и территориальным управлением Госнадзорохрантруда допускается образование пазов выбуриванием ручным инструментом.

Разгрузочные пазы должны удовлетворять следующим требованиям:

- паз должен быть сплошным и расположен по нормали к почве (кровле) пласта, а при наличии в пласте породных прослоек мощностью более 0,02 м, для предотвращения внезапных обрушений угля допускается образование пазов с разрывом их сплошности, то есть только по угольным пачкам;
- ширина паза должна составлять от 60 мм до 80 мм;
- глубина паза должна быть не более 2,5 м, а неснижаемое опережение не менее 1 м.

Разгрузочные пазы в подготовительных выработках пологих пластов располагают в кутках на расстоянии не более 0,5 м от стенок выработки под углом от 5° до 10° в сторону угольного массива.

В нишах лав на пологих пластах разгрузочные пазы образуют в кутках на расстоянии не более 0,5 м от стенок ниши и ориентируют в направлении подвигания забоя.

На крутых пластах нависающий угольный массив по мере образования паза перекрывается на всю глубину опережающей крепью из обрезных досок толщиной не менее 40 мм, под свободный конец которых устанавливают стойки. По мере выемки угля под перекрытием устанавливают стойки через 0,3 м. При мощности пласта 1,5 м и более, а также в зонах геологических нарушений крепление нависающего массива необходимо усиливать.

Контроль эффективности разгрузочных пазов осуществляется по динамике газовыделения из контрольных шпуров.

1.3.3.9. Образование разгрузочной щели во вмещающих породах

Образование щели во вмещающих породах применяется для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, внезапных выдавливаний угля и горных ударов при проведении подготовительных выработок проходческими комбайнами.

Разгрузочную щель (полость) создают путем предварительной выемки породы в кровле или почве угольного пласта на глубину не менее 2 м. Между разгрузочной щелью и угольным пластом оставляют предохранительный породный слой толщиной не менее 0,5 м. Щель должна выходить за контур выработки на расстояние не менее 0,4 м, а на особо опасных по ГДЯ участках пластов – не менее чем на 0,6 м. Неснижаемое опережение разгрузочной щели в направлении проведения выработки должно быть не менее 1 м (рис. 1.18).

Контроль эффективности разгрузочной щели выполняют по динамике газовыделения. Контрольные шпуры бурят на расстоянии 0,5 м от боков выработки таким образом, чтобы забой шпура на расстоянии, равном глубине щели, выходил за контур выработки на величину не менее 0,4 м, а на особо опасных участках пластов – на 0,6 м.

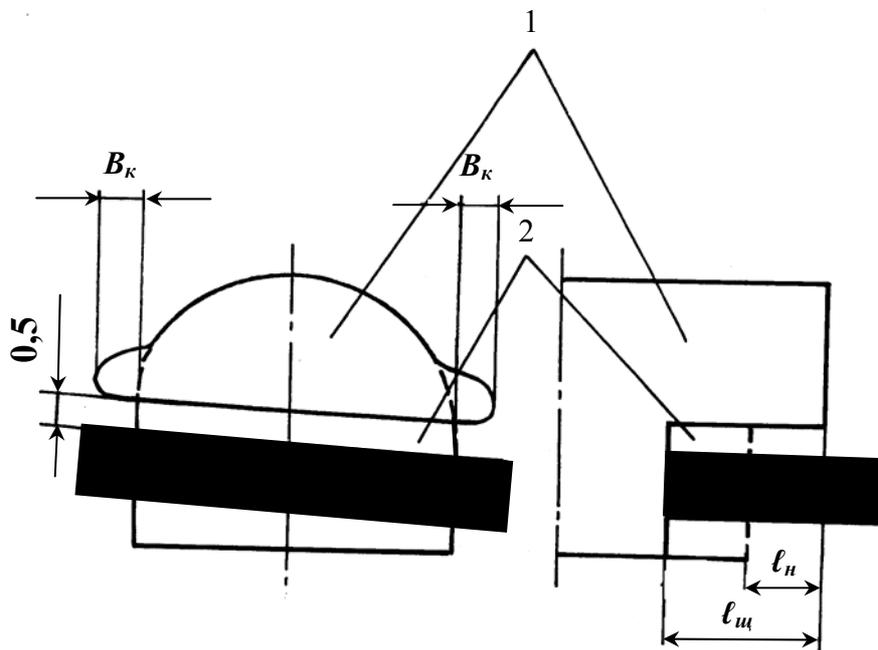


Рисунок 1.18 - Схема образования разгрузочной щели в породах кровли угольного пласта при проведении выработки смешанным забоем: 1 – разгрузочная щель; 2 – предохранительный породный слой; B_k – выход щели за контур выработки; l_n – неснижаемое опережение щели; $l_{щ}$ – глубина щели

1.3.3.10 Бурение опережающих скважин

Бурение опережающих скважин применяют для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, выдавливания угля и горных ударов в подготовительных и очистных выработках на пластах любой мощности. Опережающие скважины необходимо бурить по наиболее перемятой угольной пачке.

Число скважин и схемы их расположения устанавливают таким образом, чтобы обеспечить разгрузку и дегазацию пласта в сечении выработки и за ее контуром на расстоянии не менее 4,0 м.

Параметрами опережающих скважин являются: диаметр, длина, радиус эффективного влияния, величина неснижаемого опережения и расстояние между забоями скважин.

Диаметр скважин составляет от 80 мм до 250 мм, длина скважин не ограничивается, величина неснижаемого опережения на момент бурения новой серии скважин должна составлять не менее 5 м, а расстояние между забоями скважин не более 2 м.

Контроль эффективности опережающих скважин выполняют по динамике газовыделения из контрольных шпуров.

Радиус эффективного влияния скважин определяют опытным путем.

За радиус эффективного влияния опережающей скважины принимается расстояние от нее до наиболее удаленного шпура, скорость газовыделения из которого увеличилась не менее чем на 10% по сравнению с последним значением скорости газовыделения до ее увеличения.

1.3.3.11. Торпедирование угольного массива

Торпедирование угольного массива осуществляется путем взрывания зарядов ВВ в скважинах как без предварительного нагнетания воды в пласт, так и с предварительным нагнетанием и применяется для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, внезапных выдавливания угля и горных ударов.

При торпедировании угольного массива без предварительного нагнетания воды в пласт взрывание зарядов ВВ производят в скважинах диаметром от 55 до 60 мм. Длину скважин L_T принимают по таблице 1.8 в зависимости от величины зоны разгрузки ℓ_p , определяемой до торпедирования.

Таблица 1.8. – К определению длины скважин для торпедирования

| | | | | | | |
|--------------|-----|-----|------|------|------|------|
| ℓ_p , м | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 |
| L_T , м | 8,5 | 9,0 | 10,0 | 11,0 | 12,0 | 13,5 |

Величину ℓ_p определяют по группе контрольных шпуров (не менее трех), которые располагают по той же схеме, что и скважины для торпедирования.

Неснижаемое опережение скважин должно составлять в подготовительных забоях не менее 5 м, в очистных – не менее 3 м. Скважины, расположенные в кутках забоя, должны выходить за контур выработки не менее чем на 2 м. Число скважин определяется исходя из ширины обрабатываемой зоны и расстояния между скважинами. Расстояние между скважинами не должно превышать в нишах 2 м, в комбайновой части лавы и в забоях подготовительных выработок – 2,5 м.

Масса заряда ВВ для торпедирования Q_T в килограммах на одну скважину определяют по формуле:

$$Q_T = q(L_T - L_3), \quad (6)$$

где L_3 – общая длина забойки, м (принимается $L_3 = 3,5$ м при $L_T = 8,5$ м; $L_3 = 4$ м при $L_T = 8,5 - 9,5$ м; $L_3 = 5$ м при $L_T \geq 10$ м);

q_3 – масса одного метра заряда ВВ, кг/м.

Торпедирование угольного массива с предварительным нагнетанием воды в режиме гидрорыхления осуществляют через скважины диаметром 45 мм и длиной 8 м.

Величина неснижаемого опережения ℓ_n забоя скважинами должна быть не менее 2 м. Скважины, расположенные в кутках забоя, должны выходить за контур выработки не менее чем на 1 м. Расстояние между скважинами не должно превышать в нишах и забоях подготовительных выработок 2,5 м, в комбайновой части лавы – 3 м.

Глубина герметизации скважин при нагнетании воды в пласт составляет от 5,5 до 6,5 м.

Масса заряда ВВ составляет от 2,5 до 3 кг. Общая длина забойки – не менее 3,5 м.

Скважины каждой новой серии при наличии неснижаемого опережения бурят на расстоянии не менее 0,5 м от скважин предыдущей серии.

В наклонных выработках, проводимых сверху вниз, скважины для торпедирования бурят по падению пласта, а в горизонтальных – с наклоном 4-7° для заливки их водой.

Для торпедирования угольного массива применяют сплошной колонковый однорядный заряд ВМ. В качестве ВМ используются взрывчатое вещество II класса предохранительности, детонирующие шнуры или ленты и электродетонаторы мгновенного действия.

Взрывание скважинных зарядов ВМ производят в режиме сотрясающего взрыва. Время от заливки скважин водой до инициирования

зарядов ВМ не должно превышать 45 мин. Взрывание зарядов ВМ при торпедировании угольного массива осуществляется за один прием не более чем в 10 скважинах.

Контроль эффективности торпедирования угольного массива для предотвращения внезапных выбросов угля и газа и внезапных выдавливаний угля производят по динамике газовыделения, а для предотвращения горных ударов – по методике и критериям прогноза удароопасности.

1.3.3.12. Образование разгрузочной щели по длине очистного забоя

Сущность способа заключается в образовании в угольном пласте по всей длине очистного забоя разгрузочной щели, под воздействием которой происходит разгрузка и дегазация призабойной части пласта, достаточная для предотвращения внезапных выбросов угля и газа при последующей выемке угля. Применяют на пологих и наклонных пластах с устойчивыми и средней устойчивости породами кровли.

Образование разгрузочной щели и последующую выемку угля производят с помощью выемочно-щеленарезной машины, снабженной щеленарезным исполнительным органом барового типа и выемочным исполнительным органом.

До создания такой машины для образования разгрузочной щели могут использоваться врубовые машины с последующей выемкой угля комбайном.

К параметрам разгрузочной щели относятся: местоположение щели в сечении пласта, высота щели, глубина ее, неснижаемое опережение, угол в кутковой части щели.

При однопачечном строении пласта местоположение щели в пределах его мощности не ограничивается. На пластах, состоящих из двух или более пачек предпочтительно образовывать щель по невыбросоопасной пачке или по породному прослойку. На маломощных пластах, а также в местах утонения, где выемку угля производят с присечкой пород кровли или почвы, допускается образование разгрузочной щели по вмещающим породам у контакта с пластом.

Высота разгрузочной щели должна быть 70 – 120 мм.

Глубина щели должна быть равна сумме ширины вынимаемой комбайном полосы угля и неснижаемого опережения щели не менее 0,2 м. При образовании щели врубовой машиной глубина щели должна задаваться на 0,25 м больше указанной суммы.

Требуемая глубина щели подбирается путем изменения угла установки щеленарезного исполнительного органа от 115° до 135° к линии очистного забоя.

Перед каждым циклом выемки угля после образования щели осуществляют контроль глубины щели не более чем через 10 м по длине очистного забоя. На участках лавы с недостаточной глубиной щели повторно производят ее нарезку с последующим контролем. Выемка угля комбайном допускается, если измеренная глубина щели превышает ширину вынимаемой полосы не менее чем на 0,2 м.

Образование разгрузочной щели и выемку угля производят отдельно и совмещение этих операций не допускается.

Допускается зарубка щеленарезного органа в пласт на любом участке лавы при дистанционном управлении разворотом с расстояния не менее 30 м со стороны свежей струи воздуха.

При отсутствии дистанционного управления зарубка щеленарезного органа в пласт допускается, если величина зоны разгрузки не менее чем на 1,3 м превышает глубину зарубки, или после выполнения в этом месте другого способа предотвращения внезапных выбросов угля и газа.

Управление машиной в процессе образования щели осуществляется машинистом и его помощником дистанционно с расстояния не менее 30 м от машины со стороны свежей струи воздуха. При этом не допускается выполнение других работ и нахождение людей в лаве и по ходу исходящей струи до ее подсвежения.

Для снижения газодинамической активности пласта при образовании разгрузочной щели в зонах ПГД или геологических нарушений на время перехода очистным забоем таких зон может быть уменьшена глубина щели с сохранением требуемого неснижаемого опережения ее и снижена скорость подачи щеленарезной машины до 0,5-0,7 м/мин.

1.3.3.13. Вибрационное воздействие на призабойную часть пласта

Вибрационное воздействие на угольный пласт осуществляется с помощью пневмовибраторов, помещаемых в предварительно пробуренные шпуров, и предназначено для снижения выбросоопасности при проведении подготовительных выработок по выбросоопасным пластам, не склонным к обрушениям (высыпаниям) угля с коэффициентом крепости не менее 0,6 по шкале М. М. Протодяконова.

К параметрам способа относятся: диаметр и глубина шпуров (далее – виброшпуров), расстояние между ними, частота и амплитуда вибрации, продолжительность виброобработки пласта.

Диаметр виброшпуров принимают в зависимости от типа вибратора, но не более 80 мм; глубина виброшпуров составляет 2,5 м, а на особо опасных участках пласта не более 2 м.

Допускаются к применению вибраторы с частотой от 45 Гц до 150 Гц и амплитудой вибрации 0,5 – 1,5 мм. Расстояние между виброшпурами не должно превышать $2R_{эф}$. Количество виброшпуров в забое должно быть не менее трех.

Шпурсы бурят на расстоянии не более 0,5 м от кутков с наклоном 5-7° в сторону массива, а остальные – параллельно оси выработки. Виброшпурсы бурят на заданную глубину в два этапа: первоначально диаметром 42 мм, а затем их разбуривают до необходимого диаметра.

При использовании пневмовибраторов номинальное давление в трубопроводе сжатого воздуха должно быть не менее 0,4 МПа. Значения параметров вибровоздействия в зависимости от радиуса эффективного влияния виброшпура и его диаметра приведены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Параметры вибровоздействия на угольный пласт

| Радиус эффективного влияния виброшпура, м | Диаметр виброшпура, мм | Амплитуда вибрации, мм | Частота вибрации, Гц | Продолжительность виброобработка час |
|---|------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| до 0,5 | 50 | 0,5-0,9 | 100-150 | 1,0 |
| до 0,5 | 80 | 0,5-0,9 | 60-100 | 0,5 |
| 0,6-0,8 | 80 | 0,7-1,2 | 60-120 | 1,2 |
| 0,5-0,8 | 80 | 0,7-1,2 | 50-120 | 1,0 |
| 0,7-1,0 | 80 | 0,8-1,5 | 45-100 | 1,5 |

1.3.3.14. Возведение опережающей крепи

Опережающая крепь представляет собой перекрытие нависающей части угольного массива впереди забоя очистной или подготовительной выработки, состоящее из несущих элементов крепи, введенных в предварительно пробуренные шпурсы диаметром 42-43 мм между почвой и кровлей пласта и закрепленных с помощью вяжущих (скрепляющих) материалов. Предназначена для предотвращения внезапных обрушений (высыпаний) угля из нависающего массива в выработках на крутых и крутонаклонных пластах.

В качестве несущих элементов опережающей крепи применяют стальные стержни гладкостенные или из арматурной стали диаметром 20-28 мм, витые стеклопластиковые стержни диаметром 28 мм или деревянные – диаметром 36-38 мм. В качестве вяжущего материала используют состав на основе пенополиуретана. В шпурсы этот состав подают в ампулах из полиэтиленовой оболочки, заполненной полиолом, и находящейся внутри оболочки стеклянной ампулы, заполненной полиизоцианатом. При смешивании компонентов образуется твердый продукт – полиуретан.

Для разрушения ампул с вяжущим составом забойные концы металлических стержней срезают под углом 45°, а деревянные стержни заостряют. Внешние концы металлических стержней имеют резьбу, на которую накручивают переходник для вращения стержня ручным сверлом.

Шпурь для опережающей крепи бурят с подъемом под углом 5-10° в сторону восстания пласта и располагают на расстоянии 0,2-0,3 м ниже кутка по линии, перпендикулярной напластованию.

Стержни опережающей крепи должны выступать из шпуров на 0,15 – 0,20 м, под свободные концы которых устанавливают стойки крепи. По мере выемки угля под опережающую крепь не более чем через 0,3 м снова устанавливают стойки.

1.3.3.15. Бурение дегазационных скважин

Бурение дегазационных скважин применяют для предотвращения внезапных прорывов газа из почвы горных выработок, расположенных на расстоянии до 25 м от зон дизъюнктивных геологических нарушений и газоносных угольных пластов или углистого сланца, являющихся потенциальными источниками газовой выделению при их наработке.

Дегазационные скважины бурят диаметром не менее 76 мм в почву выработки под углом от 20° до 30° к линии очистного забоя или подошве подготовительной выработки до пересечения на полную мощность потенциального источника газовой выделению на расстоянии не менее 10 м впереди забоя проводимой выработки.

Для предотвращения прорывов газа при проведении подготовительной выработки бурят по одной дегазационной скважине через каждые 10-15 м по мере подвигания забоя, при этом пересечение скважины с источником газовой выделению должно быть в пределах ширины выработки.

Для предотвращения прорывов газа в лавах дегазационные скважины бурят из подготовительных выработок до пересечения источников газовой выделению на расстоянии не менее 30 м от концевых участков лав, а расстояние между забоями скважин должно быть не более 25 м.

При проведении подготовительных или очистных выработок в зонах дизъюнктивных геологических нарушений дегазация наработываемого горного массива скважинами осуществляется на глубину не менее 25,0 м от почвы этих выработок.

При подходе забоя ствола к потенциальному источнику газовой выделению с расстояния не менее 10 м от него бурят дегазационные скважины до пересечения этого источника в пределах проектного контура ствола на удалении от него не более одной трети диаметра ствола, при этом количество скважин должно быть не менее двух.

При подходе забоя квершлага или других горизонтальных и наклонных выработок к потенциальному источнику газовой выделению на расстояние не менее 25 м бурят первую дегазационную скважину в почву выработки до пересечения источника газовой выделению, а последующие – через каждые 15 м подвигания забоя выработки.

При наличии нескольких потенциальных источников газовыделения в почве выработки дегазационные скважины необходимо бурить до пересечения наиболее удаленного источника газовыделения.

Для предупреждения прорывов газа из почвы подготовительной выработки допускается изменение положения выработки относительно потенциального источника газовыделения путем ее проведения таким образом, чтобы кратчайшее расстояние от подошвы выработки до ближайшего источника газовыделения, включая его мощность, превышало 25 м.

1.3.4. Вскрытие угольных пластов и ведение горных работ по выбросоопасным песчаникам

1.3.4.1. Вскрытие угольных пластов

Как уже отмечалось в предыдущих разделах, основными факторами, влияющими на развязывание внезапного выброса угля и газа, являются напряженное состояние горного массива, газоносность угольного пласта и физико-механические свойства угля. При ведении горных работ по углю в очистных и подготовительных выработках сразу же после выемки очередной полосы (заходки) происходит естественный отжим пласта, конвергенция боковых пород (сближение пород кровли и почвы пласта), образование технологических трещин (заколов) и расширение (раскрытие) природных (кливажных) трещин и, как следствие, разгрузка и дегазация призабойной части пласта, перемещение зоны максимума опорного давления в глубь массива, увеличение безопасной зоны разгрузки угольного пласта. Зона разгрузки призабойной части пласта, сформированная естественным путем, может оказаться недостаточной (с учетом неснижаемого ее опережения) для выемки хотя бы одной полосы угля. В таких случаях с целью определения безопасной глубины выемки применяют текущий прогноз выбросоопасности угольного пласта и в опасных зонах, установленных прогнозом (а на особо выбросоопасных пластах – постоянно) – локальные способы предотвращения газодинамических явлений.

При вскрытии пласта квершлагом или другой полевой (породной) выработкой вскрываемый угольный пласт находится в состоянии всестороннего сжатия и естественно перед вскрытием пласта отсутствуют условия для изменения свойств и состояния угольного массива, определяющих его выбросоопасность.

Поэтому при вскрытии угольных пластов предусматриваются прогноз их выбросоопасности и способы предотвращения внезапных выбросов угля и газа, внезапных обрушений угля и внезапных прорывов метана из почвы выработок.

Для предотвращения внезапных выбросов применяется: бурение дренажных скважин, возведение каркасной крепи, гидрорыхление угольного массива, гидровывывание пласта в сечении выработки, образование разгрузочных полостей во вмещающих породах. В сложных горно-геологических условиях допускается сочетание этих способов.

Опуская изложение технологии их выполнения, отметим, что на крутых пластах наиболее широко применяются гидрорыхление и гидровывывание угля в комплексе с возведением каркасной крепи по периметру выработки, а на пологих – гидрорыхление и бурение дренажных (разгрузочных) скважин. Все эти способы в достаточной степени освоены, и многолетний опыт подтвердил целесообразность их применения в соответствующих горно-геологических условиях.

На крутых пластах, склонных к внезапным обрушениям угля, для предотвращения этих явлений применяют каркасную крепь, устанавливаемую по своду вскрывающей выработки. Это мероприятие рекомендовано на таких пластах во всех случаях, поскольку опыт применения каркасов для предупреждения обрушений нависающего массива при всрытии крутых пластов подтверждает эффективность данного мероприятия.

Вскрытие и пересечение выработками выбросоопасных песчаников осуществляется буровзрывным способом в режиме сотрясательного взрывания, а при проходке вертикальных стволов комбайнами, управление которыми производят дистанционно с поверхности не ближе 50 м от ствола.

Для предотвращения внезапных прорывов метана при вскрытии угольных пластов и пропластков производится бурение дегазационных скважин.

Работы по вскрытию пласта производят в следующей последовательности: разведка положения пласта относительно забоя вскрывающей выработки; прогноз выбросоопасности в месте вскрытия; применение способов предотвращения выбросов при прогнозе «опасно»; осуществление контроля эффективности способов предотвращения выбросов; применение способов удержания нависающего массива на крутых и крутонаклонных пластах; введение режима сотрясательного взрывания (при проведении выработки буровзрывными работами); введение дистанционного управления при пересечении пласта проходческим комбайном; обнажение и пересечение пласта; возведение усиленной крепи в местах сопряжения выработки с пластом; удаление выработки от пласта.

Вскрытие особо опасных участков на выбросоопасных шахтопластах осуществляется в защищенных зонах путем сбойки с заранее пройденной по пласту выработкой или с применением способов предотвращения выбросов.

При проведении вскрывающей выработки с помощью буровзрывных работ сотрясательное взрывание вводят при приближении забоя выработки к выбросоопасному или угрожаемому по внезапным выбросам угля и газа

пласту на расстояние не менее 3,0 м и отменяют после закрепления выработки постоянной крепью и удаления забоя от пласта на расстояние не менее 3,0 м по нормали к пласту. При сбойке с заранее пройденной по пласту выработкой, а также при приближении забоя выработки к пропластку это расстояние равно 2,0 м. При проведении вскрывающей выработки проходческим комбайном дистанционное управление вводят и отменяют при приближении и удалении забоя выработки на расстояние не менее 2,0 м по нормали к пласту.

Если прогнозом в месте вскрытия установлены неопасные значения показателей выбросоопасности, то выбросоопасные пласты могут вскрываться без применения способов предотвращения выбросов с помощью сотрясательного взрывания или комбайном с дистанционным управлением.

Если прогнозом установлены опасные значения показателей выбросоопасности, то вскрытие выбросоопасных пластов должно производиться с применением способов предотвращения выбросов. После применения способов предотвращения выбросов и контроля их эффективности вскрытие пластов должно производиться сотрясательным взрыванием или комбайном с дистанционным управлением.

Если забой вскрывающей выработки приближается к угрожаемому по внезапным выбросам пласту или пропластку мощностью более 0,3 м и прогнозом установлены неопасные значения показателей выбросоопасности, то вскрытие можно осуществлять без применения способов предотвращения выбросов с помощью взрывных работ в режиме, установленном для сверхкатегорийных по газу шахт (без осуществления требований режима сотрясательного взрывания) или проходческим комбайном без дистанционного управления. В последнем случае должны быть разработаны дополнительные меры безопасности.

Если прогнозом установлены опасные значения показателей выбросоопасности, то вскрытие угрожаемых пластов и пропластков мощностью более 0,3 м производят с применением способов предотвращения выбросов. После применения способов предотвращения выбросов и контроля их эффективности вскрытие пластов и пропластков производят сотрясательным взрыванием или комбайном с дистанционным управлением.

Допускается вскрытие пропластков мощностью до 0,3 м сотрясательным взрыванием или комбайном с дистанционным управлением без применения прогноза выбросоопасности и способов предотвращения выбросов.

Мероприятия по предотвращению выбросов угля и газа перед вскрытием пластов с углами падения 55° и более осуществляют с расстояния не менее 3,0 м по нормали к пласту, а перед вскрытием пластов с углами падения менее 55° – с расстояния не менее 2,0 м. При этом величина обработанной противовыбросными мероприятиями зоны пласта должна составлять не менее 4,0 м за контуром выработки.

Обнажение пластов и пересечение пропластков, а также вскрытие на заранее пройденную выработку при помощи буровзрывных работ производят при величине породной толщи между выработкой и крутым пластом (пропластком) не менее 2,0 м, а пологим, наклонным и крутонаклонным – не менее 1,0 м по нормали к пласту.

При проведении заездов вскрытие пластов осуществляют по касательной к пласту взрывными работами при поэтапном выполнении противовыбросных мероприятий в опасных зонах и мер по удержанию нависающего массива на крутых и крутонаклонных пластах.

Вскрытие и пересечение выбросоопасных и угрожаемых пластов восстанавливаемыми выработками должно осуществляться с применением прогноза выбросоопасности, а в опасных зонах – противовыбросных мероприятий и контроля их эффективности, но независимо от результатов прогноза и контроля – сотрясательным взрыванием.

При вскрытии пластов (пропластков) в зонах, полностью защищенных отработкой защитных пластов, прогноз выбросоопасности и способы предотвращения выбросов могут не применяться. Вскрытие осуществляют взрывными работами в режиме, установленном для сверхкатегорийных по газу шахт, или проходческими комбайнами без дистанционного управления.

В забой вскрывающей выработки с расстояния 3,0 м по нормали к пласту для работы одновременно допускается не более трех человек.

В забой ствола с расстояния 6,0 м по нормали к пласту допускают количество рабочих из расчета обеспечения возможности подъема людей в один прием. При вскрытии пластов стволами перед началом проведения вертикального ствола должна быть произведена предварительная разведка всей пересекаемой стволом толщи пород до нижней проектной отметки ствола. В углубляемых стволах дополнительную разведку пересекаемой стволом толщи пород производят разведочными скважинами с расстояния не менее 10,0 м по нормали до пласта. Для предотвращения ГДЯ при вскрытии угольных пластов стволами производят бурение дренажных скважин, возведение каркасной крепи, гидрообработку угольного массива, а в сложных горно-геологических условиях – сочетание этих способов.

Вскрытие выбросоопасных угольных пластов и пород стволами, проводимыми проходческими комплексами, производят без применения способов предотвращения ГДЯ при условии дистанционного управления комплексом с поверхности. При вскрытии выбросоопасных пластов стволами с помощью буровзрывных работ прогноз в месте вскрытия и способы предотвращения выбросов могут не применять, если обнажение и пересечение пласта на полную мощность будет произведено за одно взрывание по всему сечению ствола.

При вскрытии пластов стволами с бурением дренажных скважин скважины диаметром до 80 мм бурят согласно схемам на рисунках 1.19 и 1.20 таким образом, чтобы точки выхода скважин из пласта были удалены

друг от друга не более чем на $2R_{эф}$ (где $R_{эф}$ – радиус эффективного влияния скважины, м). Точки выхода скважин из пласта должны быть расположены в пределах необходимой зоны его обработки на расстоянии не более $R_{эф}$ от контура этой зоны, $R_{эф}$ принимается равным 0,75 м. Дегазация считается эффективной после снижения давления газа в контрольных шпурах до величины менее 1,0 МПа.

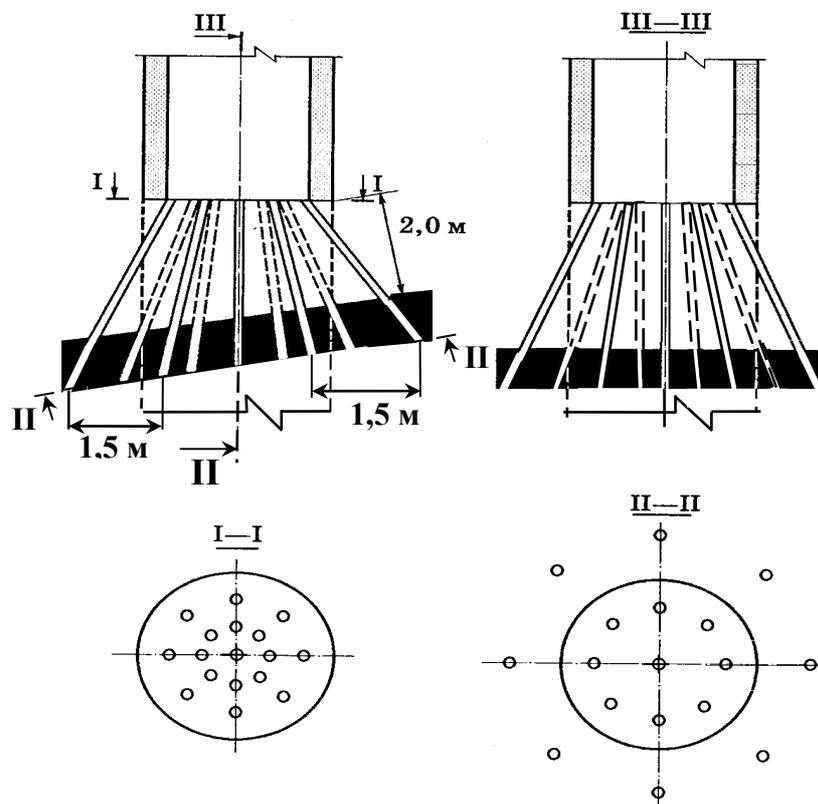


Рис. 1.19. Схема расположения дренажных скважин при вскрытии пологих и наклонных пластов

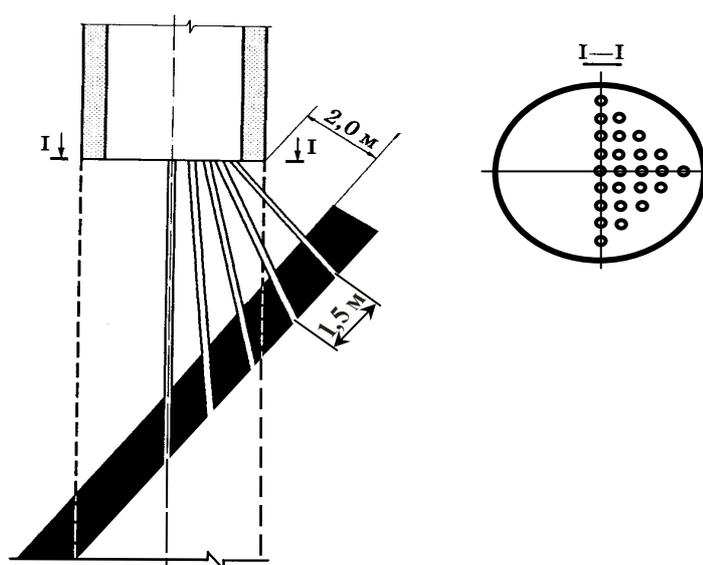


Рис. 1.20. Схема расположения дренажных скважин при вскрытии крутых и крутонаклонных пластов

При обнажении пласта дренажные скважины бурят с расстояния 2,0 м до пласта по нормали. Расстояние от контура ствола до скважины и между скважинами в плоскости забоя последней заходки под защитой этими скважинами должно составлять не более 1,5 м. Длину скважин принимают из расчета постоянного опережения забоя ствола не менее чем на 2,0 м.

При пересечении стволами угольных пластов дренажные скважины бурят согласно схеме на рисунке 1.21 диаметром от 200 мм до 250 мм.

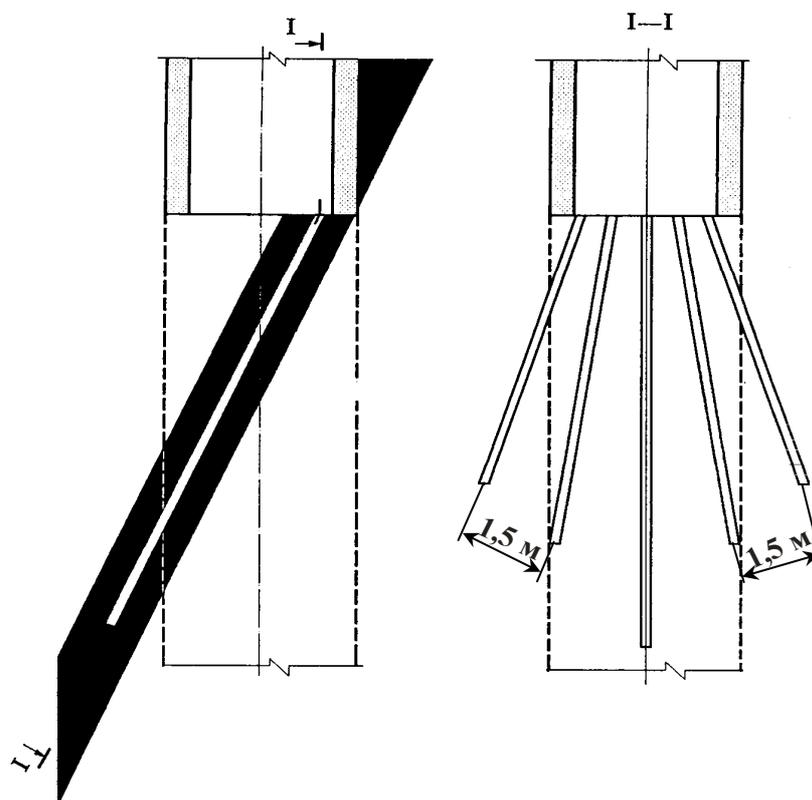


Рис. 1.21. Схема расположения дренажных скважин при пересечении крутых и крутонаклонных пластов

При вскрытии стволами с возведением каркасной крепи каркасная ограждающая крепь из металлических стержней периодического профиля диаметром 36...38 мм или труб диаметром 40...50 мм, зацементированных в скважинах диаметром от 60 мм до 80 мм, должна опережать забой ствола не менее чем на 2,0 м. Свободные концы стержней заделывают в постоянную крепь ствола на длину не менее 2,0 м.

Скважины для каркасной крепи необходимо бурить с расстояния 2,0 м от пласта по нормали и располагать по периметру ствола через 0,3...0,5 м, считая по точкам входа скважин в пласт. Угол наклона скважин должен быть таким, чтобы в плоскости забоя любой заходки они располагались на расстоянии не менее 1,5 м от проектного контура ствола при бурении скважин по углу.

При обнажении пластов, когда забой очередной заходки находится в породах кровли пласта, расстояние скважин от контура ствола в плоскости

этой заходки должно быть не менее 1,0 м. При выходе скважин в породы лежащего бока концы их должны отстоять от почвы пласта на расстоянии не менее 1,0 м по нормали.

При раскрытии крутых пластов каркасную крепь можно возводить не по всему периметру ствола, а только в месте его пересечения с пластом. К выполнению работ по обнажению и пересечению пласта приступают не менее чем через сутки после окончания установки каркаса.

При раскрытии стволами с гидрорыхлением угольного массива нагнетание воды в пласт осуществляют через скважины диаметром от 43 мм до 60 мм, пробуренные с расстояния не менее 3,0 м по нормали к пласту. В середине забоя по оси ствола бурят контрольную скважину диаметром до 80 мм.

При диаметре ствола 6,0 м бурят 5...6 скважин для нагнетания воды, при диаметре ствола 8,0 м бурят 7...8 скважин (рисунок 1.22). Герметизацию скважин осуществляют цементным раствором на величину породной толщи между забоем ствола и пластом.

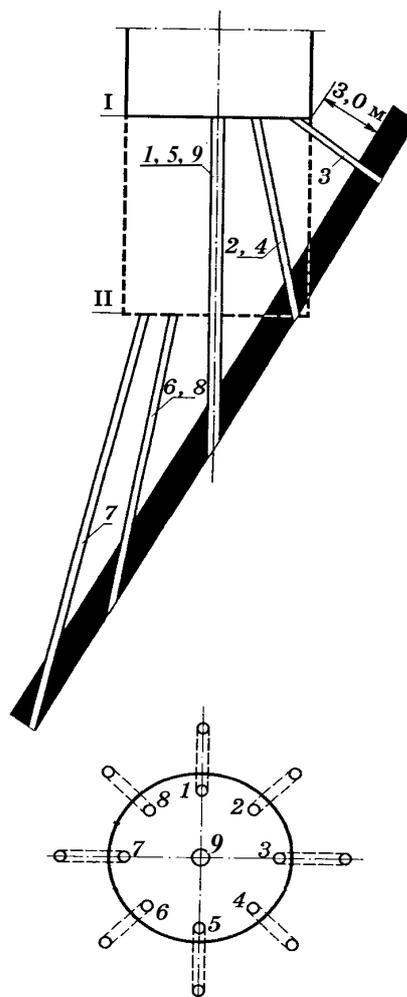


Рис. 1.22. Схема расположения скважин для гидрорыхления крутого пласта из забоя ствола: 1,2,3,4,5,6,7,8 – скважины для гидрорыхления угольного массива; 9 – контрольная скважина; I, II – циклы обработки пласта

Нагнетание воды производят под давлением P_n в МПа, величина которого должна быть в пределах $(0,75...1,0)\gamma H$, МПа (γ – удельный вес вышележащих пород, кг/см³, H – глубина ведения горных работ, м). Нагнетание можно производить через серии скважин, которые бурят по мере продвижения забоя. Нагнетание осуществляют последовательно в каждую скважину до тех пор, пока вода не проникнет в соседнюю или центральную контрольную скважину.

Процесс нагнетания должен быть закончен после снижения давления нагнетания не менее чем на 30% от установившегося, при котором производилось нагнетание.

Вскрытие пластов квершлагами и другими выработками за пределами околоствольного двора осуществляют после проведения вентиляционной сбойки на вышележащий горизонт для обеспечения проветривания нового горизонта за счет общешахтной депрессии. Проветривание тупиковой части вскрываемой выработки производят вентилятором местного проветривания.

При вскрытии выбросоопасных пластов проходческими комбайнами приближение, пересечение и удаление от пласта осуществляют после выполнения прогноза выбросоопасности и способов предотвращения выбросов в опасных зонах. Проводить выработку на участке вскрытия можно с применением разгрузочных щелей, гидрорыхлением угольного пласта, гидровывыванием угольного массива в сочетании с ограничением скорости проходки выработки до 1,0 м/смену и скорости внедрения исполнительного органа комбайна в массив до 0,5 м/мин. При контроле эффективности способов предотвращения выбросов безопасный уровень давления газа в пласте должен быть менее 1,0 МПа.

После обнажения пласта в сечении выработки дальнейшее проведение ее комбайном осуществляют по технологии проведения пластового штрека с выполнением текущего прогноза и применением способов предотвращения выбросов с контролем их эффективности в опасных зонах, установленных прогнозом.

Вскрытие выбросоопасных пластов промежуточными квершлагами и породными скатами (ортами) производят путем сбойки их с заранее пройденной по пласту выработкой. Вскрытие углеспускными скатами (ортами) с расстояния 2,0 м до выбросоопасного крутого пласта можно производить сотрясательным взрыванием на участке, обработанном противовыбросными мероприятиями из забоя нижней печи.

При наличии впереди лавы ранее пройденных с помощью буросблочных машин скатов, сбойку с ними следует производить только из забоя нижней печи. Допускается вскрытие пласта не более чем тремя ортами впереди нижней печи при обеспечении эффективного проветривания ортов. На особо выбросоопасных участках дополнительные противовыбросные мероприятия согласовывают с МакНИИ.

При вскрытии пластов дренажными скважинами диаметром до 80 мм проектное количество скважин определяют, исходя из величины $R_{эф}$ ($R_{эф}$ принимают равным 0,75 м) и необходимой зоны обработки пласта (в сечении выработки и на 4,0 м за ее контуром).

Действие дренажных скважин считают эффективным, если давление газа в контрольных шпурах (не менее двух), пересекающих пласт на расстоянии 4,0 м за контуром выработки, снизилось до величины менее 1,0 МПа.

При углах падения пласта до 18° дренажные скважины бурят сериями по мере подвигания забоя выработки. Очередную серию скважин следует бурить при неснижаемом опережении скважин предыдущей серии не менее 5,0 м.

При вскрытии пластов квершлагами и другими выработками с нагнетанием воды в пласт нагнетание воды или водных растворов ПАВ (поверхностно активных веществ) производят в режиме гидрорыхления при давлении в пределах $(0,75...1,0)\gamma H$, МПа (γ – удельный вес вышележащих пород, H – глубина залегания выработки). Диаметр скважин для нагнетания воды должен составлять 43...45 мм.

При вскрытии крутых пластов гидрорыхление производят через 5...6 скважин, расположенных по схеме, показанной на рисунке 1.23. В середине забоя по оси квершлага бурят контрольную скважину диаметром не более 80 мм.

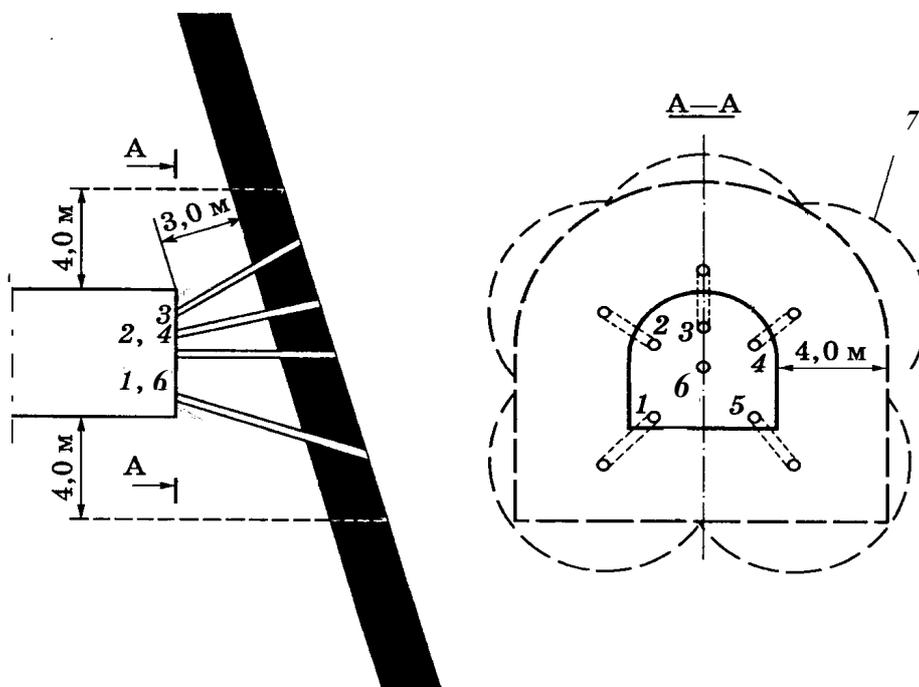


Рис. 1.23. Схема расположения скважин для гидрорыхления перед вскрытием крутого угольного пласта: 1,2,3,4,5 – скважины для гидрорыхления пласта; 6 – контрольная скважина; 7 – контур обработанной части пласта

При вскрытии пологих и наклонных пластов гидрорыхление производят через скважины, расположенные по схеме, показанной на рисунке 1.24. Обработку угольного массива водой или водными растворами ПАВ осуществляют через серии скважин, которые бурят по мере продвижения забоя. Неснижаемое опережение обработанной части угольного массива должно быть не менее 4,0 м.

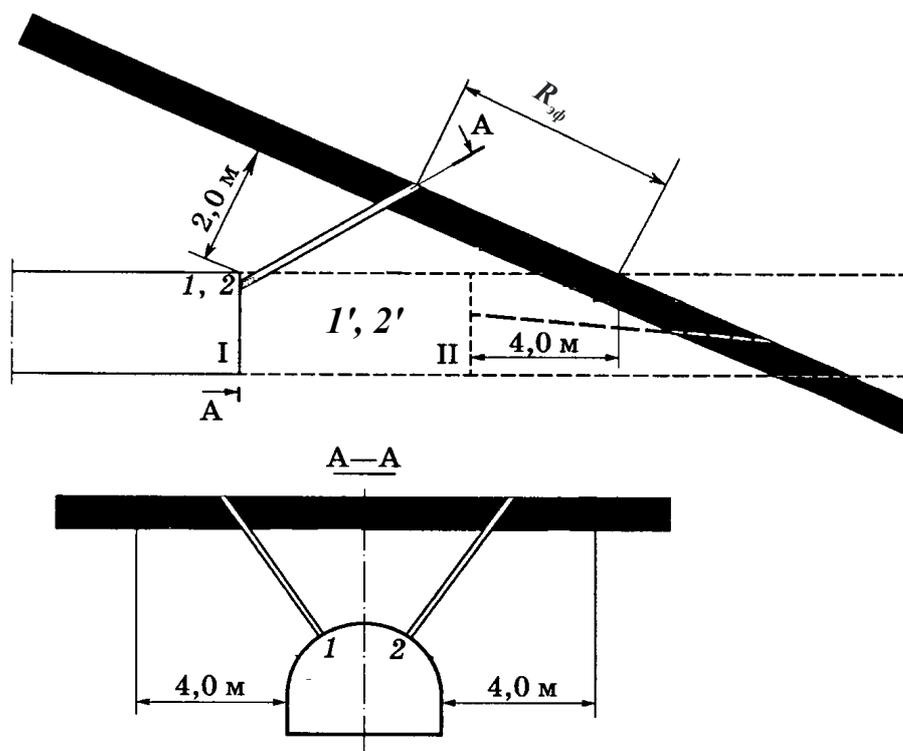


Рис. 1.24. Схема расположения скважин для гидрорыхления перед вскрытием пологого и наклонного угольного пласта: 1,2,1',2' – скважины для гидрорыхления пласта; $R_{эф}$ – радиус эффективного влияния гидрорыхления; I, II – циклы обработки пласта

Нагнетание воды производят последовательно в каждую скважину до тех пор, пока вода не проникнет в соседнюю скважину или центральную контрольную скважину (на крутом пласте).

Процесс нагнетания должен быть закончен после снижения давления нагнетания не менее чем на 30% от установившегося, при котором производили нагнетание. В тех случаях, когда снижение давления нагнетания воды на указанную величину не происходит, вскрытие пласта необходимо производить с применением дополнительных способов: возведением металлического каркаса, гидровыванием угля или бурением дренажных скважин.

Вскрытие с гидровыванием применяют на пластах, имеющих мягкие пачки с коэффициентом крепости угля $f < 1,0$ по шкале М. М. Протодьяконова и боковые породы не ниже средней устойчивости.

При вскрытии пластов с помощью гидровывывания впереди забоя выработки необходимо создать полость по всей мощности пласта или отдельной его пачке, контур которой должен выходить за проектный контур выработки на 1,5 м.

Гидровывывание осуществляют через скважины диаметром от 100 мм до 200 мм, которые должны полностью пересекать пласт. Нижние скважины бурят под таким углом, чтобы они пересекали пласт на 1,0 м ниже подошвы выработки, а верхние скважины бурят под углом 6...7° к горизонту. Число скважин может быть от 3 до 9 в зависимости от сечения выработки и принятой технологии гидровывывания.

Гидровывывание осуществляют специальной передвижной насосной установкой при давлении воды от 4,0 до 7,0 МПа, расходе не менее 18 м³/час и диаметре насадок от 6 мм до 10 мм. В комплект должны входить прямоугольные, тупоугольные или остроугольные насадки.

Гидровывывание осуществляют с дистанционным управлением с расстояния не менее 40,0 м от забоя до создания полости необходимых размеров, которые определяют с помощью разведочных шпуров и объемов вымытого угля.

Обнажение пласта после гидровывывания производят при снижении давления газа в контрольных шпурах, пересекающих пласт на расстоянии 4,0 м за контуром выработки, до величины менее 1,0 МПа.

Для удержания нависающего угольного массива на пластах с неустойчивыми углями необходимо применять: возведение металлического каркаса по своду выработки, предварительный вымыв нависающей части массива с последующим тампонирующим раствором для создания искусственного свода, тампонирующее всей вымытой полости с таким расчетом, чтобы при пересечении пласта вокруг выработки образовалось кольцо, создаваемое с помощью твердеющих растворов толщиной не менее 1,0 м.

Перед взрывными работами вымытые полости должны быть заполнены песчано-цементным или другим твердеющим раствором, песком или инертной пылью. Возведение каркасной крепи применяют для предотвращения ГДЯ при вскрытии крутых и крутонаклонных пластов, представленных мягкими, сыпучими углями и слабыми боковыми породами.

Донный каркас предназначен для предотвращения ГДЯ при вскрытии крутых и крутонаклонных угольных пластов полевыми выработками. Используется на пластах с устойчивыми вмещающими породами, характеризуется тем, что монтируется в донной части скважин, пересекающих угольный пласт, и закрепляется в породах кровли и почвы пласта. Схема возведения донного каркаса приведена на рисунке 1.25.

В отдельных случаях применяют донный каркас при вскрытии выбросоопасных угольных пластов мощностью не более 1,0 м.

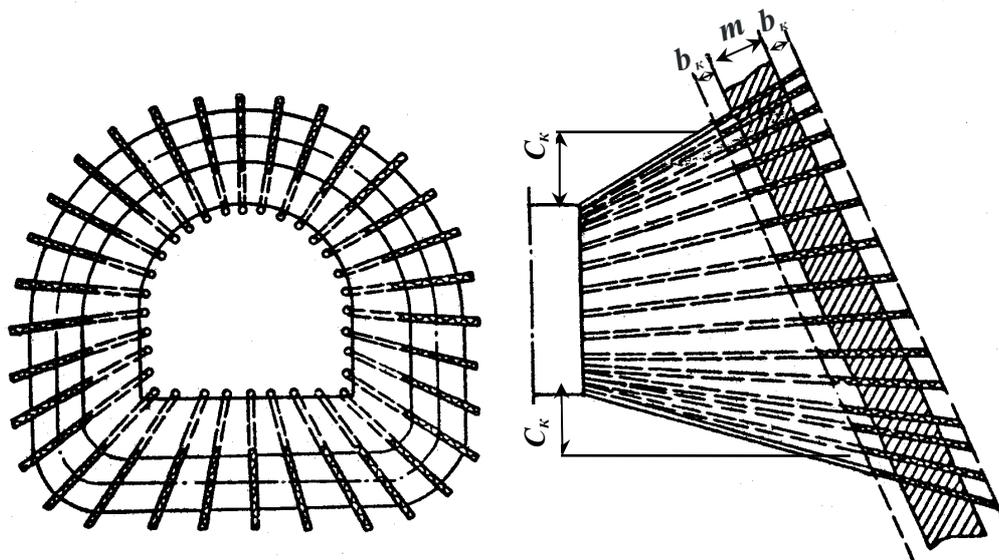


Рис. 1.25. Схема возведения донного каркаса: C_k – расстояние от контура выработки до закрепления несущих каркасных элементов; b_k – длина каркасного элемента, закрепляемого в породах почвы (кровли) пласта; m – мощность пласта

Параметры донного каркаса следующие: диаметр скважины $d_{скв}$ от 42 мм до 56 мм; диаметр вводимого в скважину металлического стержня должен быть на 5...10 мм меньше $d_{скв}$; расстояние от контура вскрываемой выработки до места закрепления несущих каркасных элементов, C_k , м; расстояние между скважинами в ряду на выходе из пласта, a_o , м; число рядов скважин и расстояние между рядами; длина несущих каркасных элементов, l_k , м.

Расстояние от контура вскрываемой выработки до несущих каркасных элементов C_k определяется в зависимости от коэффициента крепости пород f по шкале М. М. Протоdjяконова, вмещающих угольный пласт, по формуле:

$$C_k = 2,11 - 0,187 f$$

Расстояние между скважинами в ряду на выходе из пласта устанавливается в соответствии с выражением

$$a_o = 1,5R_p,$$

где R_p – радиус зоны разупрочнения вокруг скважины, м (при $d_{скв} = 42$ мм $R_p = 0,3$ м; при $d_{скв} = 56$ мм $R_p = 0,35$ м).

Число рядов скважин устанавливают в зависимости от категории опасности пласта по внезапным выбросам и сечения вскрываемой выработки:

– при вскрытии весьма тонких угрожаемых угольных пластов и пропластков выработками сечением вчерне не более $12,0 \text{ м}^2$ – один ряд скважин;

– при вскрытии тонких и весьма тонких угрожаемых и выбросоопасных угольных пластов и пропластков выработками сечением более $12,0 \text{ м}^2$ – не менее двух рядов скважин.

Скважины каждого последующего ряда располагают в шахматном порядке относительно скважин предыдущего. Расстояние между рядами скважин не должно превышать $1,5 R_p$, м.

Длина несущих каркасных элементов l_k определяется из выражения:

$$l_k = l_m + 2b_k,$$

где l_m – длина скважины в пределах мощности пласта, м;

$2b_k$ – длина каркасного элемента, закрепляемого во вмещающих пласт породах, м; $b_k \geq 0,5$ м.

Возведение донного каркаса производят с расстояния до пласта по нормали не менее 3,0 м при вскрытии крутых пластов и не менее 2,0 м при вскрытии крутонаклонных пластов.

При пересечении крутонаклонных пластов в породах с коэффициентом крепости $f \geq 5,0$ по шкале М. М. Протоdjeяконова вскрывающимися выработками высотой вчерне не менее 3,0 м допускается поэтапное возведение каркасной крепи в следующей последовательности:

– возведение каркасной крепи в наиболее приближенном к забою выработки участке пласта на половину ее высоты;

– подход забоем выработки к пласту на расстояние вскрытия и возведение каркасной крепи в наиболее удаленном от забоя участке пласта.

Закрепление каркасных элементов в скважинах производят не более чем через 3 ч после окончания их бурения. В случае зажатия скважин углем их повторное перебуривание рекомендуется осуществлять буровым инструментом из витой стали.

Донная часть очищенных скважин заполняется патронированными скрепляющими композициями на длину каркасного элемента, после чего с помощью каркасного элемента, соединенного переходником (муфтой) с буровой штангой бурильного механизма, производят их разрушение и перемещение, сопровождающееся реакцией полимеризации. Разрушение осуществляется вращательно-поступательным перемещением каркасного элемента к торцу скважины в течение 20...30 с. В качестве несущих каркасных элементов должна применяться арматурная сталь.

В качестве скрепляющих составов рекомендуются патронированные пенополиуретановые композиции. Для скважин с наклоном вниз, удаление влаги из которых затруднено, следует применять патронированные хлормagneзиальные вяжущие вещества.

Для возведения каркасной крепи по периметру выработки через 0,3 м друг от друга бурят скважины с таким расчетом, чтобы они пересекали пласт и входили в породу кровли (или почвы) пласта не менее чем на 0,5 м. В скважину вводят металлические трубы диаметром не менее 50 мм или арматурное железо диаметром не менее 32 мм, под их выступающие концы возводят железобетонную или металлическую арку. Арку соединяют с трубами каркаса и закрепляют в стенках и кровле выработки 5...6 анкерами длиной 1,5...2,0 м.

В пластах со слабыми и сыпучими углями расстояние между скважинами должно быть уменьшено до 0,2 м. В слабых сыпучих углях возводят двухрядную каркасную крепь, в углях средней крепости – однорядную крепь.

На пластах с обрушающимися боковыми породами и углем установку металлического каркаса должны вести с заполнением скважин вяжущими материалами, а выступающие концы арматуры вместе с металлической аркой должны быть забетонированы. При этом толщина бетонного слоя должна быть не менее 0,3 м, а ширина – не менее 2,0...3,0 м.

На пластах с устойчивыми боковыми породами, но обрушающимся углем, установка каркаса может осуществляться с заполнением скважин вяжущими материалами без выхода арматуры в выработку.

1.3.4.2. Предотвращение и локализация выбросов породы и газа

Проведение выработок по выбросоопасным породам в незащищенных зонах осуществляют с применением прогноза их выбросоопасности, а в опасных зонах – с помощью локализации и борьбы с выбросами: оптимизации параметров буровзрывных работ; проведения выработок с опережающим забоем; возведения заградительных перемычек; применения комбайнов со специальным исполнительным органом; образования разгрузочных щелей. В неопасных зонах, установленных прогнозом, проведение выработок можно осуществлять без применения противовыбросных мероприятий, а взрывные работы без выполнения требований режима сотрясательного взрывания.

Способы борьбы с выбросами или сотрясательное взрывание вводят при приближении к опасной зоне с расстояния не менее 3,0 м и отменяют при отходе от опасной зоны на такое же расстояние.

При проведении выработок буровзрывным способом вблизи выбросоопасного песчаника взрывные работы должны вестись в режиме сотрясательного взрывания при расстоянии по нормали от песчаника высокой степени выбросоопасности менее 4,0 м, средней степени выбросоопасности – менее 3,0 м и низкой степени выбросоопасности – менее 2,0 м.

Перед вскрытием выбросоопасного песчаника или песчаника, выбросоопасность которого не известна, на глубине 600 м и более при подходе к нему с расстояния не менее 3,0 м осуществляется прогноз выбросоопасности песчаника. Если прогноз выбросоопасности не производят или прогнозом установлено, что пласт песчаника выбросоопасный, то подход к нему с расстояния не менее 3,0 м, пересечение и отход от него на такое же расстояние при проведении выработки буровзрывным способом выполняют в режиме сотрясательного взрывания.

Вскрытие выбросоопасного песчаника мощностью 0,5 м и менее на глубине более 600 м производят сотрясательным взрыванием без прогноза выбросоопасности и противовыбросных мероприятий. Проведение выработок по выбросоопасным породам без применения прогноза и противовыбросных мероприятий производят при опережающей отработке защитного угольного пласта.

При проходке вертикальных стволов буровзрывным способом по выбросоопасным породам следует применять шпуры для взрывания длиной не более 4,5 м, а при проведении других выработок – от 1,6 м до 1,8 м с оптимизацией параметров буровзрывных работ. При расчете шпуровых зарядов и оптимизации параметров буровзрывных работ следует исходить из того, что расход ВВ на разрушение $1,0 \text{ м}^3$ породы должен составить от 0,8 кг до 1,5 кг непридохранительных ВВ. При применении предохранительных ВВ расход следует увеличивать на 25...30 %. Взрывание шпуровых зарядов при проведении выработки буровзрывным способом с опережающим забоем уменьшенного сечения (рисунок 1.26) выполняют в обоих забоях за один прием с замедлением от проектного сечения к уменьшенному.

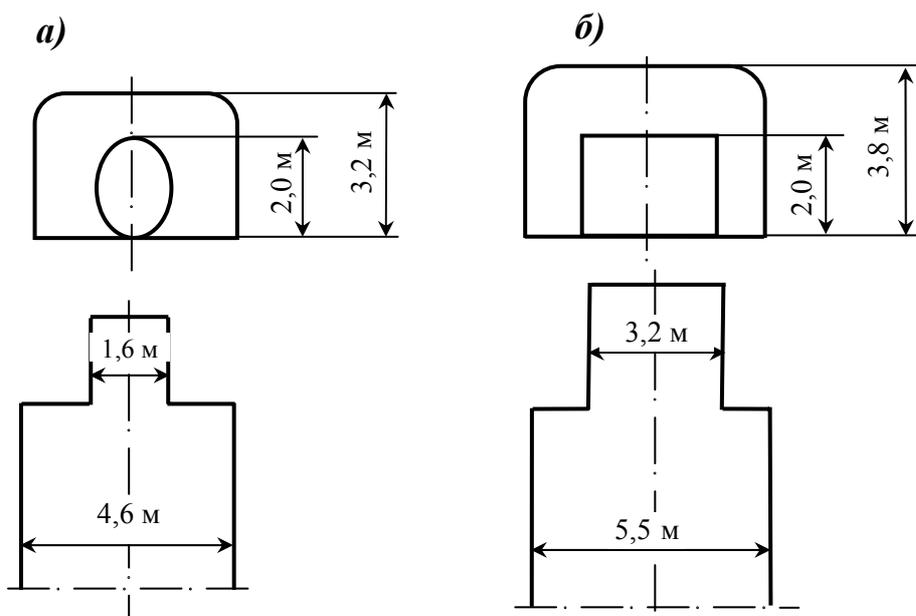


Рис. 1.26. Схема проведения выработки с опережающим забоем уменьшенного сечения: а – в песчаниках высокой степени опасности; б – в песчаниках низкой и средней степени опасности

Соотношение сечений опережающего забоя проводимой выработки и отставание забоя от опережающего должны быть такими, чтобы отбитая порода при взрывании в проектном сечении полностью перекрывала сечение опережающего забоя. В породах высокой степени выбросоопасности рекомендуется в опережающем забое бурить не более 12 шпуров, располагая отбойные шпуры по эллиптическому контуру. В породах низкой и средней степени выбросоопасности бурение отбойных шпуров в опережающем забое по эллиптическому контуру необязательно и число их может быть увеличено.

В забое проектного сечения шпуры располагают в один ряд на расстоянии не более 0,6 м от стенок опережающего забоя. Если одного ряда шпуров недостаточно для доведения выработки до проектного сечения, то взрывание зарядов шпуров в отстающем забое необходимо произвести в несколько очередей.

При проведении выработки одновременно по выбросоопасному и невыбросоопасному слоям песчаника рекомендуются следующие схемы размещения шпуров: в случае расположения выбросоопасного слоя песчаника только в нижней или средней части забоя выработки бурение врубовых шпуров производят в этих слоях; в случае расположения выбросоопасного слоя песчаника в верхней части забоя выработки и выхода его за пределы проектного контура выработки рекомендуется располагать заряды только в нижней части забоя; если при этом слой песчаника высокой степени опасности, то расстояние между верхним рядом шпуров и нижней границей выбросоопасного слоя должно быть от 1,5 м до 2,0 м; если слой песчаника низкой степени опасности, то это расстояние может быть уменьшено и составлять от 0,5 м до 1,0 м; в случае расположения выбросоопасного слоя песчаника в верхней части забоя в пределах проектного контура выработки используют рекомендации, изложенные в предыдущем случае, но при высокой степени опасности слоя минимальное расстояние от нижней границы его до ряда шпуров должно составлять от 1,0 м до 1,5 м, а при низкой степени опасности слоя – не более 0,5 м.

Для снижения частоты и силы выбросов породы на определенном расстоянии от забоя устанавливают канатную заградительную перемычку, а взрывными работами разрушают только часть пород в сечении выработки. При этом взорванная порода не отбрасывается, а заполняет пространство до перемычки, препятствуя развитию выброса.

Для возведения заградительной перемычки кольца из канатов подводят под стойку арки в момент ее установки или подвязывают к ней после установки. При сборе опалубки кольца закрепляют на нужной высоте и в таком положении бетонируют.

Перед заряданием шпуров петли канатов накладывают на кольца и закрепляют шплинтовым канатом большего диаметра. К кольцам с одной стороны выработки канаты перемычки могут быть присоединены заранее.

Параметры канатной перемычки следующие: расстояние от забоя до перемычки 3,0...3,5 м; расстояние от почвы выработки до нижнего каната 0,5...0,6 м, а между канатами 0,15...0,20 м; расстояние от верхнего каната до кровли выработки 0,6...0,8 м. Диаметр канатов для перемычки 22...25 мм; диаметр канатов для колец 18...20 мм; диаметр шплинтового каната 59 мм. Длина каната перемычки должна быть на 0,14...0,15 м больше ширины выработки.

Заградительные перемычки в комплексе с оптимизированными параметрами буровзрывных работ применяют при проведении выработок в зонах высокой степени выбросоопасности. В случае необходимости перемычки могут быть установлены в несколько рядов.

При проведении выработок по выбросоопасным породам проходческими комбайнами предотвращение выбросов достигается путем регулирования режима разрушения пород и снижения напряжений на контуре выработки за счет придания ей круглой, а забою – полусферической формы с помощью специального исполнительного органа комбайна. При высокой степени выбросоопасности пород скорость проведения выработки должна быть не более 0,5 м/час, а при средней не более 1,0 м/час.

Разгрузочные щели для предотвращения выбросов породы и газа могут быть расположены по контуру выработки или по ее ширине (плоская щель), как показано на рисунке 1.27.

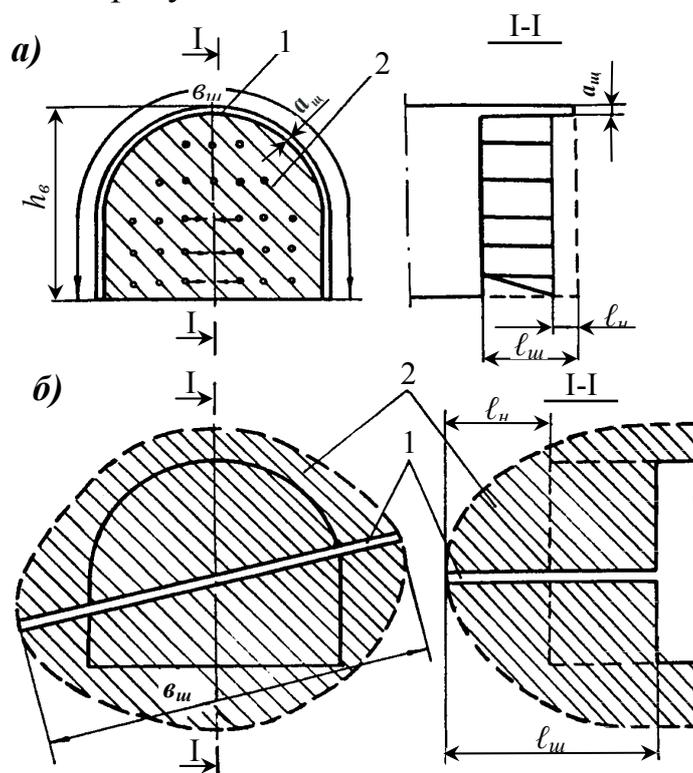


Рис. 1.27. Схемы расположения разгрузочных щелей: *a* – по контуру выработки; *б* – по ширине выработки (плоская щель); 1 – разгрузочная щель; 2 – защищенная зона; $a_{щ}$ – ширина щели; $b_{щ}$ – длина щели; l_n – неснижаемое опережение щели; $l_{щ}$ – глубина щели; $h_в$ – высота выработки

Параметрами разгрузочной щели являются: длина щели в плоскости забоя $b_{щ}$, ширина щели $a_{щ}$, высота выработки $h_{в}$, неснижаемое опережение щели $l_{н}$, глубина щели $l_{щ}$. Ширина щели должна быть не менее 20 мм. Плоская щель должна выходить за контур выработки в обе стороны не менее чем на 0,6 м. Величина неснижаемого опережения щели должна быть не менее 0,3 м. Максимальная глубина щели регламентируется технической характеристикой установки для образования щели.

Статистические данные о газодинамических явлениях при вскрытии угольных пластов и сотрясательном взрывании по породе на шахтах украинского Донбасса (1991-2005 гг.) приведены в таблице 1.10.

Таблица 1.10. – Газодинамические явления и травматизм при вскрытии угольных пластов и ведении горных работ по выбросоопасным песчаникам на шахтах украинского Донбасса

| Год | ГДЯ при вскрытии пластов | | ГДЯ при СВ по выбросоопасным песчаникам | |
|------|--------------------------|---------------|---|---------------|
| | кол-во | смерт. травм. | кол-во | смерт. травм. |
| 1991 | 4 | - | 36 | - |
| 1992 | 5 | - | 58 | - |
| 1993 | 4 | - | 65 | - |
| 1994 | 2 | - | 24 | - |
| 1995 | 1 | - | 5 | - |
| 1996 | 1 | 1 | 5 | - |
| 1997 | 1 | - | 23 | - |
| 1998 | 3 | 1 | 7 | - |
| 1999 | 1 | - | 14 | - |
| 2000 | - | - | 14 | - |
| 2001 | 1 | - | 26 | - |
| 2002 | - | - | 7 | - |
| 2003 | 1 | - | 15 | - |
| 2004 | 1 | - | 16 | - |
| 2005 | - | - | 12 | - |

Горные работы на выбросоопасных и угрожаемых по выбросам пластах в последние годы ведутся на все более глубоких горизонтах, где, как показывает практика, выбросоопасность как угольных пластов, так и горных пород (песчаников) повышается, поэтому научно-исследовательские работы по проблеме разработки пластов, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа, в настоящее время продолжают.

1.3.5. Средства для оценки газодинамического и напряженно-деформированного состояния призабойной части пласта

1.3.5.1. Прогноз выбросоопасности по сорбционным показателям угля

В качестве программно-технических средств для обеспечения акустических способов контроля состояния горного массива и прогноза выбросоопасности угольных пластов применяются: аппаратура передачи сейсмоакустического сигнала АПСС-1 (МакНИИ), шахтный цифровой регистратор, десорбометр электронный шахтный ДЭШ 1 и персональный компьютер. Рассмотрим основные из них.

Шахтный цифровой регистратор. Установленные закономерности повышения напряжений с увеличением мощности и протяженности отслаивающейся породной толщи и существующие представления о динамике напряженно-деформированного состояния углепородного массива в окрестности горных выработок [3] показывают, что расслоения пород кровли являются источником дополнительных напряжений, величина которых может быть весьма существенной, соизмеримой и даже превышающей напряжения от веса залегающей над пластом всей породной толщи. Наложение тех и других напряжений предопределяет уровень концентрации их в зоне опорного давления.

Таким образом, определив наличие и распределение расслоений пород кровли в краевой части выработки, можно контролировать наличие задержек деформаций пород кровли и формирование выбросоопасной ситуации. Такой контроль можно осуществлять с помощью способа акустического зондирования пород кровли.

Помимо этого акустические способы контроля состояния горного массива позволяют решать такие важные для практики вопросы как определение параметров напряженно-деформированного состояния призабойной части горного массива, текущий прогноз прорывов метана из почвы горной выработки, исследование эффективности применения анкерного крепления горных выработок с целью определения их устойчивости во времени.

Выполняемые аппаратурой АПСС-1 функции, в силу стационарного расположения, не позволяют осуществлять оперативный или локальный контроль состояния горного массива и прогноза выбросоопасности по длине очистного забоя или вдоль пройденной подготовительной выработки.

В связи с этим НПП «Интеграл» был разработан шахтный цифровой регистратор (см. рис. 1.28), позволяющий с помощью акустического зондирования пород кровли оперативно решать эти вопросы. Регистратор представляет собой электронное устройство, которое состоит из сеймоприемника и блока регистрации. Блок регистрации принимает и записывает в энергонезависимую память акустический сигнал, полученный от сеймоприемника в результате акустического зондирования пород кровли.



Рис. 1.28. Шахтный цифровой регистратор

Акустическое зондирование пород кровли осуществляются по следующей методике. В месте проведения исследований к породам кровли крепится сейсмоприемник. По обе стороны от него на расстоянии 2-3 м ударом молотка (10-12 ударов) по породам кровли или по угольному пласту возбуждаются упругие колебания. Акустический отклик массива через сейсмоприемник записывается шахтным регистратором. Дальнейшая обработка данных осуществляется на поверхности с помощью специальных программ на персональном компьютере. Основные функциональные возможности регистратора приведены в таблице 1.11.

Таблица 1.11. – Функциональные свойства шахтного регистратора

| № п/п | Функциональное назначение | Параметр |
|-------|-------------------------------|-------------------|
| 1 | Динамический диапазон, дБ | 60 |
| 2 | Частотный диапазон, Гц | 20-3500 |
| 3 | Аналоговое воспроизведение | Да |
| 4 | Прослушивание записей | Наушники, динамик |
| 5 | Время непрерывной работы, час | Не менее 4 |
| 6 | Индикатор уровня сигнала | Пиковый |
| 7 | Контроль питания | Да |
| 8 | Поиск и стирание записей | Да |
| 9 | Исполнение | IP 54 |
| 10 | Уровень искрозащиты | РО-Иа |
| 11 | Вес, кг | 2 |

В результате обработки получаем информацию о степени расслоения пород кровли и характере напряженно-деформированного состояния массива на исследуемом участке.

Акустическое зондирование пород кровли можно выполнять в подготовительном и очистном забоях.

В подготовительных выработках зондирование осуществляют с шагом 5-20 м, который выбирается в зависимости от необходимой детализации исследуемого участка, а в очистных – с шагом 10 м.

Десорбометр электронный шахтный ДЭШ 1. Одним из главных факторов, влияющих на выбросоопасность, является высокое содержание газа в призабойной части угольного пласта. В последнее время исследовательские работы ряда институтов были посвящены разработке способа прогноза выбросоопасности по сорбционным показателям угля.

В основу способа положены выявленные исследованиями [2, 3, 44, 48] закономерности изменения сорбционных показателей угля в пределах безопасной части угольного пласта и в выбросоопасных зонах. В последних (в пробах угля, отобранных при бурении шпуров с глубины 2 и 3 м) содержится значительное количество метана, возрастает скорость газоотдачи. Для измерений давления десорбированного газа используется электронный десорбометр ДЭШ 1 (см. рис.1.29).



Рис. 1.29. Электронный десорбометр ДЭШ 1

Действие десорбметра основано на измерении давления десорбированного из пробы угля газа в замкнутом сосуде и сопоставлении его с критическим значением. Область применения – очистные и подготовительные выработки на выбросоопасных и угрожаемых пластах. Десорбметр состоит из электронного блока измерения давления и замкнутого сосуда – пробозаборника, соединенного с измерительным блоком гибким шлангом. Основные технические характеристики десорбметра ДЭШ 1 приведены в таблице 1.12.

Таблица 1.12. – Основные технические характеристики десорбметра ДЭШ 1

| № п/п | Техническая характеристика | Значение |
|-------|---------------------------------------|-----------|
| 1 | Предел измерения давления, мм рт.ст. | 0,1 - 360 |
| 2 | Точность измерения, мм рт.ст. | ± 0,1 |
| 3 | Объем пробозаборника, см ³ | 33 |
| 4 | Время непрерывной работы, ч | 6 |
| 5 | Объем памяти, циклы измерений | 25 |
| 6 | Степень защиты от внешних воздействий | IP 54 |
| 7 | Уровень и вид взрывозащиты | РО Иа |

Методика прогноза выбросоопасности по сорбционным показателям угля заключается в следующем. Для получения проб угля бурят шпуры по угольному пласту длиной 3 м. В подготовительных выработках необходимо бурить два шпура на расстоянии 0,5 м от стенки выработки. Шпуры ориентируют в направлении подвигания выработки. В очистных выработках шпуры бурят в направлении подвигания выработки и располагают на расстоянии 0,5 м от кутков ниш, а в остальной части лавы – через 10 м друг от друга.

Пробы угля из буровой мелочи отбирают при длине шпура 2 м и 3 м, при этом соблюдая следующие правила: шпур бурить до глубины 1,8 м, его расштыбовать, добурить до 2,0 м и отобрать пробу при извлечении бурового инструмента, после измерения сорбционных показателей пробурить шпур до 2,8 м и выполнить аналогичные процедуры по отбору пробы угля.

Герметизируют пробозаборник спустя 60 с после добурирования шпура до соответствующей длины и фиксируют давление десорбированного газа в пробозаборнике через 10, 20, 30, 40 с. По результатам измерений давления десорбированного газа вычисляют приращения $\Delta P_{40} = P_{40} - P_{10}$; $\Delta_1 = P_{20} - P_{10}$; $\Delta_2 = P_{30} - P_{20}$ и $\Delta_3 = P_{40} - P_{30}$.

Состояние в забое считают выбросоопасным (прогноз «опасно»), если хотя бы по одной из отобранных проб угля в одном и более шпуре величина ΔP_{40} превысит критическое значение $\Delta P_{40}^{кр}$, установленное для 2-х и 3-х метровых интервалов измерений, и отношение $\Delta_2 / \Delta P_{40}$, Δ_3 / Δ_2 не менее 0,90.

1.4. Методы гидрообработки угольных пластов в различных режимах нагнетания

Нагнетание воды в угольные пласты является древнейшим способом борьбы с различного рода вредными и опасными явлениями в шахтах. Впервые гидрообработка угольного пласта путем нагнетания воды в призабойную часть его через шпур для ослабления массива и предотвращения тем самым выбросов угля и газа была применена в 1890 г. в шахтах Бельгии [20]. Это было низконапорное нагнетание в режиме увлажнения. Технологическая простота выполнения и ощутимая в то время эффективность способствовали широкому распространению его во многих угледобывающих бассейнах мира.

В СССР нагнетание воды в угольные пласты для борьбы с внезапными выбросами начали применять еще в 30-х годах XX века. В начале 50-х годов широкие исследования в этом направлении стали проводить МакНИИ, ВостНИИ и другие отраслевые и академические институты. По мере развития и совершенствования способов гидрообработки угольных пластов низконапорное нагнетание трансформировалось в высоконапорное. Уже к началу 60-х годов был накоплен огромный экспериментальный материал и практический опыт применения различных способов гидровоздействия на угольный пласт, физическая сущность которых понятна из названия этих способов: увлажнение угольного массива, гидроразрыв пласта, гидроразмыв пласта и гидроотжим призабойной части пласта. Обширная информация по каждому из них содержится в сборнике трудов состоявшегося в 1963 г. Всесоюзного научно-технического совещания по методам нагнетания воды в угольные пласты [21].

Наибольшее распространение в то время получило увлажнение угольных пластов, применявшееся практически во всех угольных бассейнах и месторождениях страны как комплексный метод борьбы с различными видами опасности в шахтах, включая пылеобразование, газовыделение, эндогенные пожары, горные удары, внезапные выбросы угля и газа. Применялись две схемы нагнетания воды: через короткие шпур (скважины) диаметром 43 мм длиной 2-10 м, пробуренные в забое выработки, и через длинные скважины диаметром 90-100 мм длиной до 120 м, пробуренные из опережающих подготовительных выработок параллельно забою действующей или будущей лавы. По той и другой схеме нагнетание производилось с таким расчетом, чтобы процесс увлажнения не переходил в гидроразрыв пласта, после которого повышение влажности угля не достигалось вследствие истечения воды по образовавшимся трещинам в соседние скважины или выработку. Предпочтение отдавалось увлажнению через длинные скважины как региональному способу заблаговременного устранения выбросоопасности выемочных участков на стадии подготовки их к отработке по столбо-

вой или комбинированной системе разработки с большим опережением очистных забоев подготовительными выработками, из которых должны буриться нагнетательные скважины, ради чего эти системы настоятельно рекомендовались на выбросоопасных пластах [22, 23]. Доказывалось что рекомендации по ограничению применения локальных мероприятий по борьбе с выбросами на незащищенных или одиночных выбросоопасных пластах и «преимущественном использовании региональных мероприятий... основываются как на сравнительной оценке их эффективности, так и на соображениях технико-экономических» [24].

В целом же основным направлением научно-технической политики разработки выбросоопасных пластов в 1970-х годах считался «...полный отказ от локальных мероприятий в очистных выработках, осложняющих и дезорганизующих процессы добычи угля, и переход на региональные мероприятия, профилактическую гидравлическую обработку и глубокую дегазацию, осуществляемые из подготовительных выработок. Эти мероприятия связаны с необходимостью внедрять на выбросоопасных и сильно газоносных незащищенных пластах столбовые системы разработки». И далее: «...эти мероприятия должны быть оптимальными не только в отношении обеспечения безопасности работ, но и по технико-экономическим показателям...» [25].

Как оказалось впоследствии, ни по эффективности, ни по технико-экономической целесообразности перспективность увлажнения и дегазации как региональных способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа в условиях незащищенных (неразгруженных) пластов Донбасса не подтвердилась. Поэтому объем применения их, по сути, ограничивался проведением экспериментальных работ и, как видно из табл. 1.2, сокращался вплоть до полного прекращения использования в течение последних 10 лет. На основании аналитического обзора опыта применения различных мер борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах сделан вывод о том, что «...применение региональных способов, кроме опережающей отработки защитных пластов, не следует рассматривать как приоритетное направление борьбы с газодинамическими явлениями» [17].

Опыты по гидроразрыву и гидроразмыву пласта [26, 27] показали, что эти процессы взаимосвязаны, поскольку вначале должен произойти гидроразрыв пласта между нагнетательной и пульпоотводной скважиной, после чего может происходить гидровывывание угля между ними. Было установлено, что гидроразрыв является неуправляемым процессом и сам по себе не обеспечивает разгрузку и дегазацию пласта, достаточную для предотвращения внезапных выбросов угля и газа. Величина критического давления воды, при котором происходит гидроразрыв, возрастает с увеличением расстояния от нагнетательной скважины до забоя выработки, то есть с повышением напряжений в месте расположения этой скважины. Ве-

личины критического давления гидроразрыва, превышающие уровень гравитационных напряжений (γH), обусловленных действием силы тяжести вышележащей толщи пород, считались приуроченными к выбросоопасным зонам с повышенными напряжениями тектонического происхождения. Гидровывывание в таких зонах сопровождается бурным извержением пульпы из отводной скважины, что приводит к разрядке напряжений и устранению выбросоопасности. Несмотря на положительные результаты опытного применения гидровывывания для предотвращения выбросов при вскрытии пластов и проведении подготовительных выработок, оно не получило широкого промышленного применения из-за отсутствия в то время необходимых для этого высокопроизводительных насосных установок до 10 м³/ч, развивающих давление до 40 МПа, и стало использоваться лишь в отдельных случаях согласно [10] при вскрытии малопрочных крутых пластов, поддающихся гидровывыванию существующим оборудованием.

В 1962 г. МакНИИ были проведены первые опыты по гидроотжиму призабойной части пласта путем высоконапорного нагнетания воды под давлением 25-30 МПа в шпуров длиной до 5 м [28]. Как правило, через 2-3 мин после начала нагнетания начиналось сдвигание боковых пород, главным образом кровли, сопровождающееся трещинообразованием в пласте, отжимом и смещением угля в выработку с интенсивным газовыделением. Процесс завершался спустя 5-8 мин резким падением давления нагнетания и выходом воды по трещинам на забой или в соседние шпуров. В результате гидроотжима (отторжения) призабойной части пласта угольный массив разрыхлялся и выдвигался в выработку, зона опорного давления перемещалась в глубь массива, то есть происходила разгрузка и дегазация пласта впереди очистного или подготовительного забоя и тем самым предотвращалась опасность возникновения внезапных выбросов при выемке угля.

Оказалось, что гидроотжим «не получается» на разгруженных от горного давления, а следовательно, весьма водопроницаемых участках пластов, защищенных опережающей надработкой или подработкой их защитными пластами. В этих условиях происходило лишь увлажнение угольного массива, отличающегося большой продолжительностью нагнетания до появления воды на забое и отсутствием явно выраженных признаков рыхления и отжима пласта, которые свидетельствовали бы о влиянии гидрообработки его на изменение напряженно-деформированного состояния. Исходя из этого сделан вывод о возможности гидроотжима только в условиях «сильно напряженного неразгруженного пласта» [28]. Как показала практика, именно в таких условиях гидроотжим происходит весьма динамично с частыми случаями внезапных выдавливаний и выбросов угля и газа в процессе его выполнения или при последующей выемке угля. Так, в 1971-1981 гг., за период широкого применения гидроотжима на шахтах Донбасса произошло 28 выбросов угля и газа, причем в 57% случаев интенсивность их составляла в

среднем 101 т, а при выемке угля после гидроотжима, оказавшегося неэффективным, произошло 11 выбросов при средней интенсивности их в 54% случаев 240 т. Если выбросы в процессе гидроотжима, выполняемого дистанционно, считались не представляющими опасности для рабочих, с чем трудно согласиться, поскольку риск поражения выбрасываемым углем или газом все же не исключается, то совершенно очевидно, что степень риска при выбросах в процессе выемки угля работающими непосредственно в забое весьма высокая. Вследствие опасности возникновения выбросов в процессе гидроотжима и сомнительной эффективности его для предотвращения этих явлений при последующей выемке угля объем применения гидроотжима несмотря на попытки оптимизации параметров [29] неуклонно сокращался, а с 1994 г. он перестал применяться.

Приведенный в [29] анализ результатов исследований и опыта применения гидроотжима позволил выявить существенное влияние глубины герметизации нагнетательных шпуров на гидравлические параметры нагнетания и показатели качества гидроотжима, характеризующие, по сути, реакцию пласта на гидродинамическое воздействие в зависимости от уровня напряжений в месте расположения участка шпура, из которого вода поступает в пласт. Отмечено, что с увеличением глубины герметизации шпура, а, следовательно, и напряжений на этой глубине, возрастает давление нагнетания, количество закачиваемой воды и продолжительность нагнетания, увеличивается зона гидрообработки одним шпуром, уменьшается величина отжима пласта и возрастает вероятность выбросов угля и газа в процессе нагнетания. Эти закономерности явились предпосылкой для разработки принципиально иного по физической сущности способа предотвращения внезапных выбросов на основе высоконапорного нагнетания воды в угольные пласты. Концепция способа состояла в достижении эффекта гидрорыхления угольного пласта, обеспечивающего разгрузку и дегазацию призабойной части его таким образом, чтобы уровень потенциальной энергии горного массива, высвобождаемой в процессе нагнетания воды и остаточной энергии после завершения этого процесса не превышал величину работы разрушения и смещения, или отброса угля в выработку в виде газодинамических явлений.

Экспериментальные работы по гидрорыхлению угольных пластов путем высоконапорного нагнетания воды через шпуры (скважины), пробуренные непосредственно в очистном или подготовительном забое, были начаты МакНИИ в 1967 г. По результатам исследований, выполненных к 1971 г., было разработано «Временное руководство по применению нагнетания воды в режиме рыхления угольного массива для предотвращения выбросов на шахтах Донбасса», согласованное Госгортехнадзором и утвержденное Минуглепромом УССР. Но противоречиво изложенные в этом руководстве физические основы, параметры, технология нагнетания и контроля качества гидрообработки пласта базировались на доминировавших

еще в то время представлениях о механизме воздействия нагнетаемой воды на устранение выбросоопасности по сути за счет увлажнения, а не рыхления угля в массиве. Исходя из необходимости обеспечения равномерного увлажнения угольного массива за пределами прилегающей к забою выработки зоны повышенной трещиноватости угля и зоны опорного давления, характеризующейся минимальной водопроницаемостью и проницаемостью пласта, участок нагнетательной скважины в этих зонах должен был перекрываться средствами герметизации. Поскольку размеры этих зон изменяются, а объективных способов определения их не было, рекомендуемая глубина нагнетательных скважин составляла 15-20 м, глубина герметизации 6-8 м, длина фильтрующей части 3-5 м, неснижаемое опережение скважин не менее 2 м. Давление нагнетания должно быть порядка $(0,8-0,9) \mu H$, а если оно превышало $1,5 \mu H$ – нагнетание не рекомендовалось для борьбы с выбросами. На практике нагнетание с такими параметрами справедливо называлось «кратковременное высоконапорное увлажнение» [30], оказавшееся малоэффективным для предотвращения внезапных выбросов угля и газа из-за проблематичности поступления воды в пласт и должной гидрообработки его в области повышенных напряжений в глубине массива даже на расстоянии 1 м от нагнетательных скважин. Безуспешными оказались и попытки корректировки параметров нагнетания, направленные вопреки здравому смыслу на еще большее увеличение длины скважин, глубины их герметизации, давления и количества нагнетаемой воды, сопровождавшиеся затруднением бурения и герметизации этих скважин, учащением случаев гидроразрыва или гидроотжима пласта, нарушением устойчивости вмещающих пород вследствие их обводнения и пр.

Лишь позднее на основании обширных и всесторонних исследований сформировались представления о механизме гидрорыхления, заключающемся в разрушении угля внутри массива и деформировании его в сторону выработки под воздействием высоконапорного нагнетания воды и горного давления с образованием при этом трещинного коллектора, ориентированного параллельно забою выработки [31-33]. Такой механизм имеет место только при определенном сочетании параметров нагнетания и напряженно-деформированного состояния пласта на таком расстоянии от забоя выработки, на котором под действием нагнетаемой воды может происходить образование системы трещин, вызывающих разгрузку и дегазацию этой части пласта, перемещение зоны максимума опорного давления в глубь массива и устранение за счет этого выбросоопасности обработанного гидрорыхлением участка пласта. Увлажнение угля является сопутствующим процессом гидрорыхления, но происходит крайне неравномерно и не рассматривается как существенный фактор устранения выбросоопасности [34-38]. Уточненные согласно [37, 39] параметры гидрорыхления, главным образом,

в сторону существенного уменьшения длины нагнетательных скважин (до 6-11 м), глубины их герметизации (до 4-8 м) и длины фильтрующей части (до 2-3 м) получили нормативное закрепление в изданной впервые в 1977 г. «Инструкции по безопасному ведению горных работ на пластах, склонных к внезапным выбросам угля, породы и газа», а затем верхние пределы этих параметров были еще уменьшены на 1 м в аналогичной «Инструкции...» [10] выпуска 1989 г. Однако выбор этих параметров гидрорыхления для конкретных условий его применения указанными нормативными документами не предусматривался. Поэтому субъективно принимаемые параметры по аналогии с применявшимися ранее далеко не всегда оказываются эффективными для предотвращения внезапных выбросов угля и газа в изменившихся условиях ведения горных работ.

1.5. Опыт применения гидрорыхления на шахтах Донбасса

Многолетний опыт применения гидрорыхления угольных пластов свидетельствует о достаточно высокой эффективности его для предотвращения внезапных выбросов угля и газа. Область применения гидрорыхления весьма обширна и включает очистные, подготовительные и нарезные выработки при условии, если обеспечивается бурение и надежная герметизация нагнетательных скважин на заданную глубину и поступление воды в пласт. Но выполнение этих условий отнюдь не означает, что нагнетание будет происходить в режиме гидрорыхления и завершится устранением выбороопасности призабойной части пласта.

Как показывает практика, выбросы угля и газа происходили непосредственно в процессе нагнетания и после его завершения при последующей выемке угля. Так, за период 1985-2005 гг. на шахтах Донбасса в забоях, где применялось гидрорыхление, произошло 50 внезапных выбросов. При бурении скважин для гидрорыхления газодинамические явления за указанный период не зарегистрированы, хотя ранее такие случаи имели место, например, внезапный выброс 4.02.1970 г. интенсивностью 50 т при бурении нагнетательной скважины диаметром 43 мм длиной 10 м в конвейерном штреке пласта k_7^{1-s} Юльевский на шахте «Кондратьевская» (г. Горловка), выброс 21.10.1972 г. интенсивностью 303 т при бурении скважины такого же диаметра глубиной 3,5 м для гидрорыхления в нижней нише лавы по пласту h_{10} Ливенский на шахте им. М. И. Калинина (г. Донецк). В процессе выполнения гидрорыхления (нагнетания воды) произошло 16 выбросов и подобных им явлений (выдавливаний угля с повышенным газовыделением). Поскольку травматизм работающих при этом не исключается, то с целью обеспечения их безопасности нагнетание производится согласно «Инструкции...» [10] при отсутствии людей на расстоянии не менее 30 м от нагнетательных

скважин. Соблюдением этого требования объясняется отсутствие травматизма при выбросах в процессе выполнения гидрорыхления. Значительное количество выбросов при выемке угля после гидрорыхления сопровождалось травматизмом работающих. Только за период 1997-2004 гг. из 12 внезапных выбросов и выдавливаний угля при выемке его после гидрорыхления в 9 случаях было застигнуто и травмировано с различной степенью тяжести 55 чел., в том числе 20 чел. со смертельным исходом.

Из анализа обстоятельств и причин происшедших выбросов при выемке угля после гидрорыхления, изложенных в карточках регистрации этих явлений, следует, что все случаи произошли вследствие различных нарушений принятых параметров гидрорыхления или несоответствия их конкретным условиям ведения горных работ в выбросоопасных зонах, в которых гидрообработка пластов оказалась неэффективной для предотвращения газодинамических явлений. Для выявления закономерностей проявления выбросоопасности в забоях, где применялось гидрорыхление, в табл. 1.13 приведены сведения о количестве и интенсивности выбросов угля при нагнетании воды и выемке после гидрорыхления на соответствующих глубинах разработки пластов за указанный период.

Как следует из этой таблицы, в процессе выполнения гидрорыхления произошло 16 выбросов, из них 1 в очистном забое и 15 в подготовительных, а при выемке угля после гидрорыхления 34 выброса, в том числе 12 в очистных и 22 в подготовительных забоях. Учитывая единичный случай выброса при нагнетании в очистном забое, статистический анализ проявления выбросоопасности в процессе гидрорыхления проводился по общей совокупности выбросов без разделения их по видам выработок, а при выемке угля после гидрорыхления – отдельно для очистных и подготовительных забоев. Из приведенных данных видно, что количество выбросов при нагнетании и выемке угля после гидрорыхления в подготовительных забоях больше, чем в очистных. Это обусловлено более высоким, как известно, уровнем напряжений в кутках подготовительных забоев, а следовательно и повышенной выбросоопасностью при всех способах воздействия на пласт, в том числе бурении скважин, нагнетании воды, выемке угля и пр. Поскольку параметры гидрорыхления в очистных и подготовительных выработках принимаются, как правило, одинаковыми без учета существенного различия в них напряженно-деформированного состояния призабойной части пласта, то совершенно очевидно, что в подготовительных они оказываются менее эффективными, чем в очистных. Интенсивность выбросов в общей совокупности их колеблется от 8 т до 550 т, а средние значения ее при нагнетании воды составляют 78 т, при выемке угля после гидрорыхления в очистных забоях 145 т и в подготовительных 74 т.

Таблица 1.13. – Сведения о глубине разработки и интенсивности внезапных выбросов при применении гидрорыхления за период 1985-2005 гг.

| Годы | Интенсивность выбросов ($J, \text{т}$) и глубина разработки ($H, \text{м}$) при выполнении технологических процессов: | | | | | | | |
|------|--|---------------|-------------------------|---------------------------------|--|-------------------|-----------------------|-------------------------------|
| | нагнетание воды в забоях | | | | выемка угля после гидрорыхления в забоях | | | |
| | очистных | | подготовительных | | очистных | | подготовительных | |
| | $J, \text{т}$ | $H, \text{м}$ | $J, \text{т}$ | $H, \text{м}$ | $J, \text{т}$ | $H, \text{м}$ | $J, \text{т}$ | $H, \text{м}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1985 | - | - | 90 | 1224 | 200 | 1100 | 70 | 522 |
| 1986 | - | - | - | - | 200 | 943 | - | - |
| 1987 | - | - | - | - | - | - | 65, 180 | 870,898 |
| 1988 | - | - | - | - | 30, 30 | 330, 1090 | 115, 40, 90 | 1026, 863, 960 |
| 1989 | - | - | - | - | 220 | 1020 | - | - |
| 1990 | - | - | - | - | - | - | 8, 30, 150, 12, 45 | 716, 651, 610, 580, 915 |
| 1991 | - | - | 160 | 716 | - | - | 56 | 815 |
| 1992 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1993 | 120 | 1200 | - | - | 120,150, 100 | 600, 600, 1200 | 80 | 704 |
| 1994 | - | - | - | - | - | - | 64 | 915 |
| 1995 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1996 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1997 | - | - | - | - | 15, 21, 100 | 1100, 674, 970 | 40 | 850 |
| 1998 | - | - | - | - | - | - | 20, 20, 140 | 1010, 1225, 1260 |
| 1999 | - | - | 70, 54 | 1280, 1280 | - | - | - | - |
| 2000 | - | - | 28, 37, 49, 58 | 1010, 1010, 1010, 1010 | 550 | 1250 | 20 | 1010 |
| 2001 | - | - | 15, 58 | 1010, 1010 | - | - | 45 | 1300 |
| 2002 | - | - | 39, 75, 60 | 1078, 1078, 1078 | - | - | 50 | 700 |
| 2003 | - | - | - | - | - | - | 300 | 1343 |
| 2004 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2005 | - | - | 130, 210 | 1200, 1320 | - | - | - | - |

Для суждения о том, является ли отличие интенсивности выбросов в трех указанных выборках при различных технологических процессах (нагнетании воды и выемке угля в очистных и подготовительных забоях после гидрорыхления) значимым, а, следовательно, их нельзя объединять в одну совокупность, или случайным и их можно объединить, определим принадлежность этих выборок одной генеральной совокупности по критерию Пирсона χ^2 (хи-квадрат) согласно [40]:

$$\chi^2 = N^I N^{II} \sum_{i=1}^n \frac{1}{m_i^I + m_i^{II}} \left(\frac{m_i^I}{N^I} - \frac{m_i^{II}}{N^{II}} \right)^2,$$

где N^I, N^{II} – объемы сравниваемых выборок;
 n – число интервалов разбиения выборок по интенсивности выбросов;
 m_i^I, m_i^{II} – число выбросов сравниваемых выборок в i -м интервале интенсивности.

Критерий χ^2 вычисляли отдельно для трех пар выборок: в двух парах сравнивали выборку выбросов при выемке угля после гидрорыхления в очистных забоях поочередно с выборкой при нагнетании воды и при выемке в подготовительных забоях, а в третьей паре – выборку при нагнетании и выемке в подготовительных забоях. Вычисленные по формуле (1,7) расчетные величины χ_p^2 сравнивали с приведенными в [40, табл. IV] табулированными значениями χ_T^2 при заданном уровне значимости $\beta = 0,05$ и числе степеней свободы $k = n - 1$. Если $\chi_p^2 > \chi_T^2$, то различие между выборками считается существенным и их нельзя отнести к одной генеральной совокупности. В противном случае при $\chi_p^2 < \chi_T^2$ выборки отличаются несущественно и их можно объединить в одну совокупность.

Исходные данные для расчета χ_p^2 приведены в табл. 1.14.

Таблица 1.14. – Исходные данные для расчета χ_p^2

| Интенсивность выбросов $J, \text{ т}$ | m_o | m_n | m_n | $\nu_{он}$ | $\nu_{он}$ | ν_{nn} |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 8 - 95 | 4 | 12 | 17 | 0,0171 | 0,0092 | 0,0002 |
| 95 - 180 | 4 | 3 | 4 | 0,0060 | 0,0029 | 0,0002 |
| 180 - 265 | 3 | 1 | - | 0,0208 | 0,0208 | - |
| 265 - 350 | - | - | 1 | - | 0,0021 | 0,0021 |
| 350 - 435 | - | - | - | - | - | - |
| 435 - 520 | - | - | - | - | - | - |
| 520 - 605 | 1 | - | - | 0,0069 | - | - |
| Σ | $12 = N_o$ | $16 = N_n$ | $22 = N_n$ | 0,0508 | 0,0350 | 0,0025 |

Приняты следующие обозначения: объем выборки выбросов при выемке угля после гидрорыхления в очистных забоях $N_o = 12$; в подготовительных забоях $N_n = 22$; при нагнетании воды $N_n = 16$; количество выбросов в интервалах интенсивности их соответственно указанным технологическим процессам m_o, m_n и m_n ; произведение сомножителей под знаком Σ для сравниваемых пар выборок N_o и N_n , N_o и N_n , N_n и N_n соответственно $\nu_{он}$, $\nu_{он}$ и ν_{nn} . При минимальной интенсивности выбросов $J_{\min} = 8$ т и максимальной $J_{\max} = 550$ т величина интервала ℓ разбиения этого диапазона в общей выборке объемом $N = N_o + N_n + N_n = 50$ составляет 85 т согласно расчету по известной из [41] формуле:

$$\ell = (J_{\max} - J_{\min}) / (1 + 3,2 \lg N)$$

Выбросы при нагнетании и выемке угля после гидрорыхления в подготовительных забоях между собой существенно не отличаются по интенсивности, и их можно было бы объединить в одну совокупность. Но поскольку интерес представляет закономерность изменения интенсивности выбросов при указанных технологических процессах от глубины разработки пластов, то для выявления такой закономерности выполнен корреляционный анализ каждой выборки в отдельности. Изменения интенсивности выбросов J от глубины разработки H при выемке угля после гидрорыхления в очистных забоях и в подготовительных, а также в процессе выполнения гидрорыхления в тех и других забоях. Соответственно они удовлетворительно описываются следующими одностепенными уравнениями регрессии:

$$1 - J_o = 1,003 H^{0,54} \cdot e^{0,0014H}$$

при $\rho = 0,75 \pm 0,18$; $HA = 4,3 > 3$;

$$2 - J_{II} = 15,83 \cdot 10^6 H^{-2,48} \cdot e^{0,0048H}$$

при $\rho = 0,93 \pm 0,05$; $HA = 19,9 > 3$;

$$3 - J_H = 219 \cdot 10^8 H^{-3,91} \cdot e^{0,0069H}$$

при $\rho = 0,75 \pm 0,19$; $HA = 3,9 > 3$,

где ρ – корреляционное отношение; HA – надежность.

Достаточно высокие показатели тесноты и надежности связи (ρ и HA) позволяют утверждать о закономерном возрастании интенсивности выбросов с увеличением глубины ведения горных работ, а значит и горного давления в забоях, где применялось гидрорыхление угольных пластов. Следовательно, для обеспечения эффективности гидрорыхления, как способа предотвращения внезапных выбросов угля и газа, параметры его должны определяться с учетом напряженно-деформированного состояния пласта в забое каждой проводимой горной выработки.

Выводы по разделу:

1. Проблема борьбы с внезапными выбросами угля и газа, представляющими угрозу травматизма работающих и повреждения горных выработок и оборудования, существующая более полутора веков и имеющая важное социально-экономическое значение для обеспечения безопасности освоения недр, нигде в мире окончательно не решена, несмотря на предпри-

нимаемые усилия науки и производства во всех угледобывающих странах, является весьма актуальной для угольной промышленности Украины в силу того, что в Донбассе – основном источнике природных топливно-энергетических ресурсов страны свыше 50% разрабатываемых пластов подвержены газодинамическим явлениям, в общей численности которых преобладают внезапные выбросы угля и газа.

2. Внезапные выбросы угля и газа могут происходить при всех способах технологического воздействия на угольный пласт, но наиболее часто при сотрясательном взрывании и механизированной выемке угля без применения мероприятий по предотвращению этих явлений, а количество их возрастает прямо пропорционально количеству забоев на выбросоопасных пластах, хотя удельное количество выбросов на один забой за анализируемый 20-летний период остается практически постоянным, что указывает на отсутствие снижения выбросоопасности без применения противовыбросных мероприятий.

3. Исходя из теоретических положений и современных представлений о природе и механизме внезапных выбросов угля и газа, физический смысл способов предотвращения этих явлений заключается в снижении потенциальной энергии горного массива путем предварительной разгрузки и дегазации участка угольного пласта, в пределах которого остаточной энергии массива становится недостаточно для развязывания внезапных выбросов при выемке угля.

4. Наиболее распространенным и обеспеченным техническими средствами способом предотвращения внезапных выбросов является гидрорыхление угольных пластов, эффективность которого подтверждается почти 30-летним опытом применения и зависит от степени соответствия его параметров конкретным горно-геологическим и горнотехническим условиям ведения горных работ.

5. Действующими нормативными документами определены параметры гидрорыхления, оптимальных для условий его применения, не регламентируются, вследствие чего субъективно принимаемые параметры часто оказываются не эффективными для предотвращения внезапных выбросов и вызывают необходимость проведения исследований по разработке научно-технических решений, направленных на повышение надежности этого способа предотвращения внезапных выбросов.

6. Перспективным направлением исследований является установление зависимости параметров гидрорыхления и пространственно-временных факторов его протекания от напряженно-деформированного состояния призабойной части пласта.

РАЗДЕЛ 2

МЕХАНИЗМ ГИДРОРЫХЛЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА

2.1. Влияние увлажнения угля на изменение его свойств

С возрастанием влажности закономерно изменяются в более благоприятную сторону также и такие характеристики угля, как коэффициент сцепления, угол внутреннего трения, объемная прочность угля при боковом давлении. А в результате изучения степени и скорости изменения напряженно-деформированного состояния и газодиффузионных свойств угольного массива при взаимодействии его с водой установлена длительность всех протекающих процессов в системе «уголь – газ – вода». При увлажнении угольного пласта его свойства проявляются по-разному. Если одни из них (напряжения в пласте, давление газа) имеют колебания лишь в начальной стадии нагнетания воды, связанной с работой насоса, а в последующем остаются неизменными, то другие (влажность и газовыделение) изменяются на втором этапе увлажнения.

При увлажнении угольного пласта и породы степень их деформируемости во времени (без возрастания напряжений), вызываемой объемными силами, изменяется, т.е. изменяется ползучесть угля и породы. Если скорость проявления деформаций ползучести сухого (неувлажненного) угля примерно постоянна, то после увлажнения она повышается (до 30%) и в течение первых 5 ч достигает наибольших значений, после чего постепенно затухает, приближаясь к скорости ползучести сухого угля.

Рассмотрим эксперимент, проведенный по методике [76]. В металлическую колбу помещался образец угля высотой 42 мм и диаметром 42 мм. Колба устанавливалась на механический пресс и в угле создавалась нагрузка, составляющая 60-80% от разгружающей. С помощью индикаторов измерялись деформации в осевом направлении. Через 2-3 мин после установления нагрузки на образец в колбу заливали воду и снимали отсчеты перемещений и нагрузок. В дальнейших экспериментах заливка образцов водой производилась через некоторое время, от одного до нескольких часов, когда деформации ползучести сухого (неувлажненного) угля уже успевали получить некоторое развитие (рис. 2.1).

Результаты экспериментов установили, что заливка образцов водой приводит к снижению скорости ползучести и ее резкому спаду. По абсолютной величине отрицательные деформации ползучести превосходят первоначально накопленные деформации сухого угля. Полученные данные позволили авторам сделать вывод о значительном влиянии на силы капиллярного самодвижения воды приложенной нагрузки.

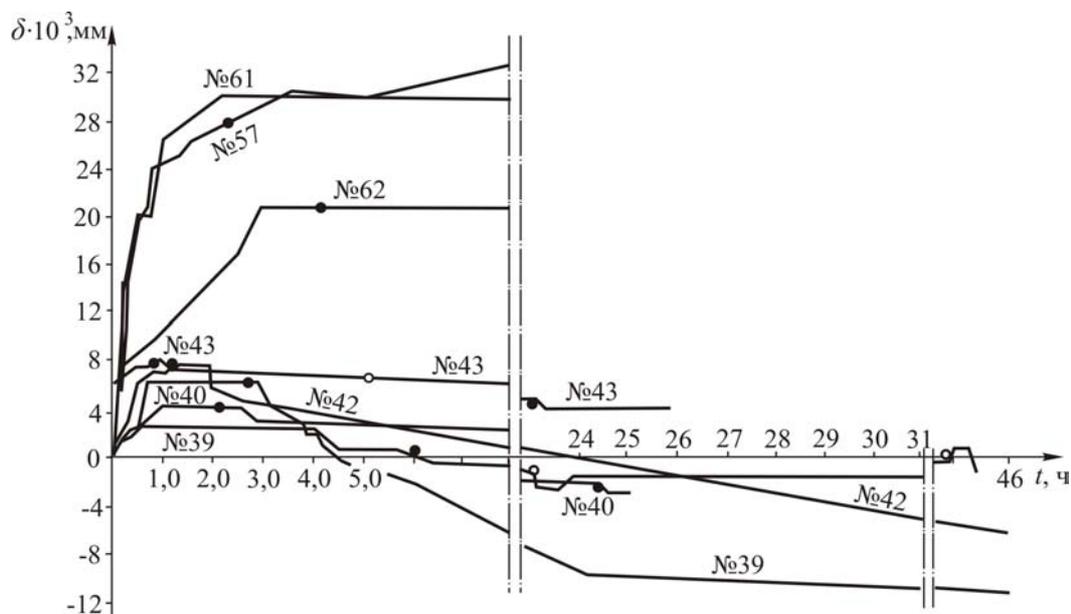


Рис. 2.1. Закономерности деформирования и ползучести угля в процессе заливки и выпуска воды: образцы № 39, 40, 42, 43 – уголь дегазированный; образцы № 57, 61, 62 – уголь, насыщенный метаном (№ 57 – время насыщения $t = 20$ ч при давлении газа $P = 3,0$ МПа; № 61 – $t = 72$ ч при $P = 2,1$ МПа; № 62 – $t = 120$ ч при $P = 2,1$ МПа)

Авторы эксперимента считают, что для эффективного использования сил самодвижения жидкости необходимо предварительное дренирование газа из угольного пласта до определенного значения газоносности. Учитывая, что принудительное нагнетание воды в пласт связано с раскрытием водой крупных трещин и пор, процесс изменения прочностных свойств массива в целом должен опережать процесс набухания угля, связанный с длительным периодом контактирования воды с углем [76].

Достаточно интересные результаты экспериментов по исследованию влияния продолжительности нагнетания раствора ДБ в угольный пласт были проведены авторами работы [79] на шахтах «Юный Коммунар», «Коммунист» и им. Калинина. Так, на шахте «Юный Коммунар» по пласту m_2 «Тонкий» (участок №46) горизонта 716 м были пробурены три скважины с откаточного штрека с интервалом 10 м. В нечетные скважины было подано $24,1 \text{ м}^3$ раствора ДБ в течение 108 ч. Газовоздушные съемки проводились на увлажненном и увлажненном участках. Замеры содержания метана и скорость движения воздуха производились на откаточном и вентиляционном штреках на расстоянии 10-15 м от лавы. Газовыделение в лаве при работе в увлажненной зоне снизилось на 41 %.

По пласту g_2 шахты «Коммунист» в скважину, пробуренную вне зоны влияния очистных работ, за 360 ч было подано 34 м^3 раствора ДБ. Нагнетание было прекращено, когда лава от скважины находилась в 10 м. Для определения эффективности увлажнения на газовыделение были проведены шестисуточные газовые съемки. Набор проб рудничного воздуха с одновременным замером скорости его движения производился через 30

мин на входящей и исходящей струях лавы. Кроме того, процентное содержание метана в исходящей из лавы струе воздуха непрерывно фиксировалось в течение шести суток самопишущим метанометром ИГТМ НАН Украины. Газовыделение на расстоянии 9,6 м от скважины было такое же, как газовыделение в неувлажненной зоне. По мере приближения лавы к увлажнительной скважине газовыделение уменьшалось. Снижение газовыделения особенно было заметно, когда лава подошла к скважине на расстояние 1,8 м и прошла скважину на 4,8 м.

Газовыделение в увлажненной зоне характеризовалось большой неравномерностью, причем максимальное снижение газовыделения относится к участку за скважиной. Это объясняется тем, что время нагнетания было меньше необходимого и в скважину было подано небольшое количество водного раствора ДБ, а также влиянием сил опорного давления, явившегося причиной уменьшения водопроницаемости пласта перед скважиной в период нагнетания. Однако, несмотря на это, среднее газовыделение, считая от 4,2 м от скважины и до 6 м за скважиной, было в 1,9 раза меньше, чем газовыделение в неувлажненной зоне.

Определение влияния увлажнения угля на газовыделение в непосредственной близости у работающего комбайна БК-52 в 17-й северной лаве в увлажненной и неувлажненной зонах были проведены наблюдения за содержанием метана у выемочного органа комбайна, его двигателя и на расстоянии 1-10 м от комбайна по направлению вентиляционной струи.

На рис. 2.2 представлены графики процентного содержания метана у режущего органа комбайна при работе в увлажненной и неувлажненной зонах. Графики отчетливо показывают, что содержание метана при разрушении увлажненного угля значительно меньше.

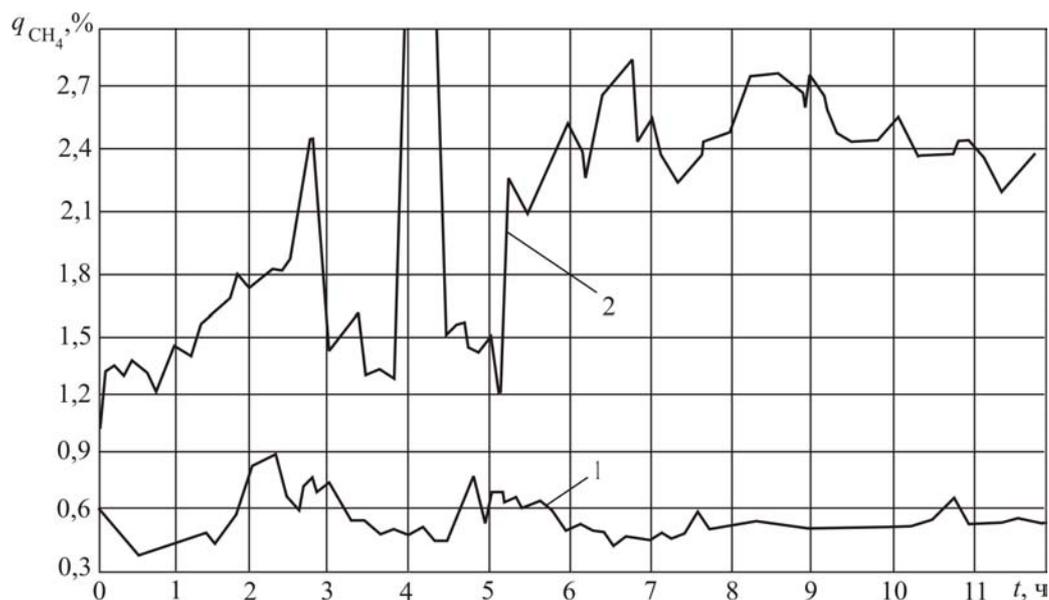


Рис. 2.2. Метановыделение у режущего органа комбайна при работе в увлажненной (1) и неувлажненной (2) зонах

Для выяснения влияния времени, протекающего с момента окончания обработки угольного пласта водным раствором ДБ с концентрацией 0,01% до выемки угля, нагнетание в скважины было прекращено за 3-3,5 месяца до подхода лавы. В зоне размещения скважин произведена 3-суточная газовая съемка. Результаты выполненных замеров показали, что газовыделение в среднем составляло 2,71 м³/мин за весь период наблюдения и было примерно в два раза меньше абсолютного газовыделения в неувлажненной зоне. В других опытах эта разница составляла 1,8-2 раза.

Авторы работы [77] исследовали динамику метановыделения в забое 3-го западного транспортного штрека на шахте «Ясиновская» ПО «Макеевуголь» на пласте *l*₆ «Марьевский» при проведении выработки с применением взрывных работ в предварительно увлажненных и неувлажненных зонах. Результаты экспериментов приведены на рисунке 2.3. В период проведения штрека в сухих и увлажненных зонах непрерывно измерялась концентрация метана и количество воздуха, поступающего в забой. Наблюдения показали, что до производства взрывных работ газовыделение в неувлажненной зоне достигало 1,6 м³/мин, резко возрастая при взрывании по углю, достигая 5,4 м³/мин (рис. 2.3, кривая 1). Для увлажнения угольного пласта по оси конвейерного штрека была пробурена скважина длиной 135 м с глубиной герметизации цементным раствором порядка 15 м. В течение 6 суток в нее подали порядка 100 м³ водного раствора ПАВ под давлением 8-10 МПа.

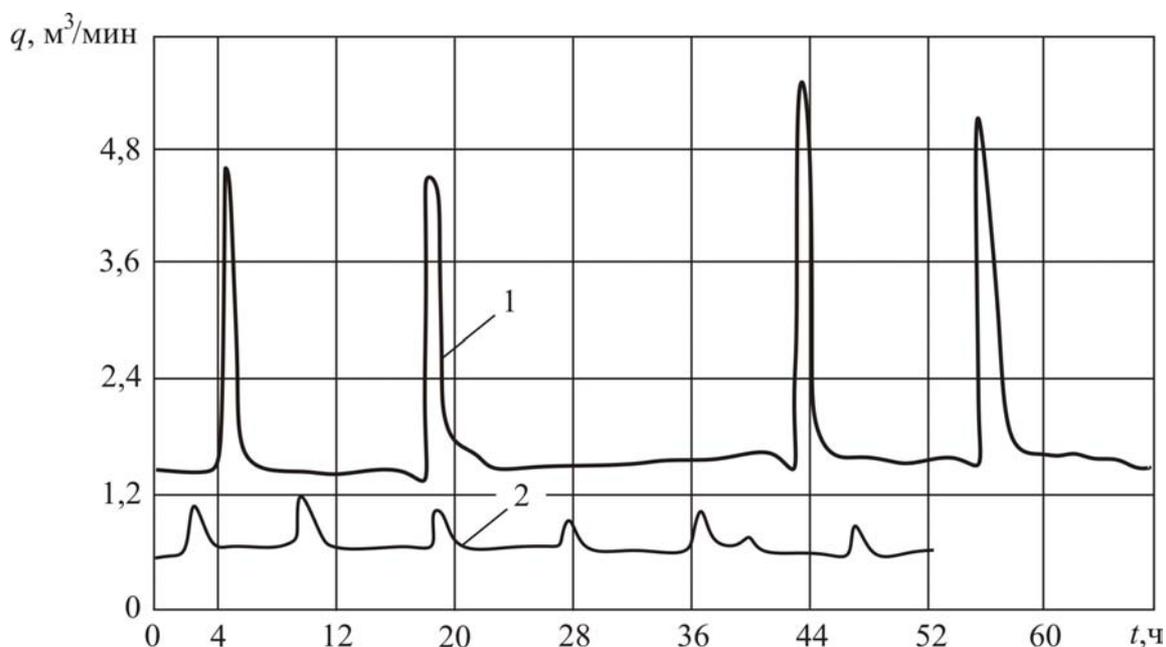


Рис. 2.3. Динамика метановыделения в забое при проведении 3-го западного транспортного штрека на шахте «Ясиновская»: 1 – неувлажненная зона; 2 – увлажненная зона

Непрерывное наблюдение показало, что газовыделение в увлажненной зоне до производства взрывных работ не превышало $0,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ (кривая 2). В момент взрывания шпуров по углю газовыделение изменялось в пределах $0,9-1,2 \text{ м}^3/\text{мин}$. Таким образом, в увлажненной зоне пласта l_6 «Марьевский» газовыделение в период разрушения угля после взрыва ВВ уменьшилось в семь раз по сравнению с газовыделением в неувлажненных зонах.

О. И. Черновым было определено влияние влажности угля W на изменение его прочностных характеристик при различном режиме нагружения боковым давлением [75]. Полученные данные приведены на рис. 2.4 и 2.5.

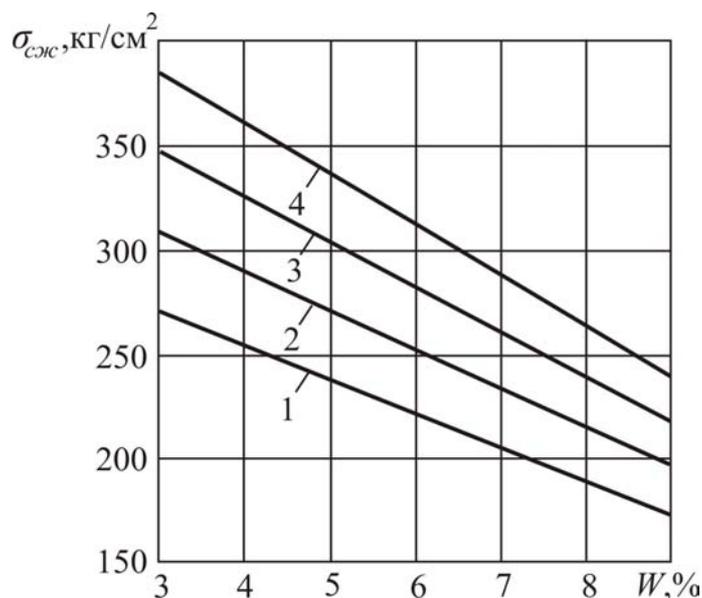


Рис. 2.4. Влияние влажности угля W на изменение его прочности $\sigma_{сжк}$ при различном боковом давлении σ_3 : 1 – при $\sigma_3 = 0$; 2 – при $\sigma_3 = 2$ МПа; 3 – при $\sigma_3 = 4$ МПа; 4 – при $\sigma_3 = 6$ МПа

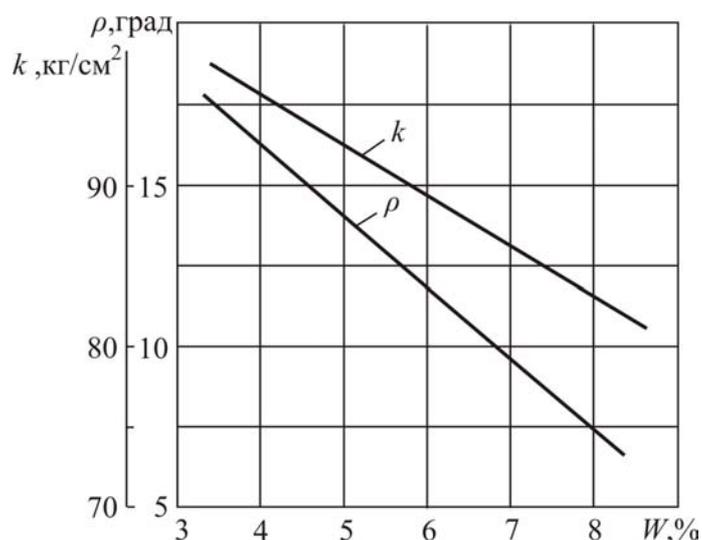


Рис. 2.5. Изменение коэффициента сцепления K и угла внутреннего трения с увеличением влажности угля пласта Волковский шахты Северная

Из рис. 2.4 видно, что при одинаковой влажности угля с увеличением бокового давления предел прочности на сжатие возрастает, а с увеличением влажности он падает. С увеличением влажности угля уменьшаются также коэффициент сцепления и угол внутреннего трения угля (рис. 2.5).

В работе [78] приведены результаты определения физико-механических свойств угля с различной влажностью, выполненные для пласта Волковский шахты Северная (табл. 2.1).

Таблица 2.1. – Изменение основных физико-механических свойств угля при различной влажности [78]

| Влаж-ность, % | Предел прочности на сжатие, $\sigma_{сж.}$, МПа | Кoeffициент сцепления, K , кГ/см ² | Угол внутреннего трения, ρ | Модуль деформаций E_d , 10 ⁻³ , кГ/см ² | Остаточная деформация 10 ³ | Удельная упругая потенциальная энергия U_0 , кГм/дм ³ |
|---------------|--|---|---------------------------------|---|---------------------------------------|--|
| 1,5 | 18,1 | 53,0 | 31°05' | 7,20 | 1,20 | 14,40 |
| 2,0 | 17,2 | 51,2 | 30°25' | 7,05 | 1,60 | 12,40 |
| 2,5 | 16,7 | 49,5 | 29°55' | 6,90 | 2,00 | 12,15 |
| 3,0 | 16,0 | 47,9 | 29°25' | 6,80 | 2,40 | 11,06 |
| 3,5 | 15,8 | 46,3 | 28°55' | 6,70 | 2,80 | 10,07 |
| 4,0 | 15,4 | 45,0 | 28°30' | 6,50 | 3,05 | 9,23 |
| 5,0 | 14,5 | 42,6 | 28°55' | 6,25 | 3,50 | 7,83 |
| 6,0 | 13,6 | 40,2 | 27°05' | 6,00 | 3,80 | 6,70 |
| 7,0 | 12,6 | 38,0 | 26°35' | 5,75 | 4,08 | 6,05 |
| 8,0 | 11,8 | 35,9 | 26°05' | 5,50 | 4,24 | 5,40 |

Результаты исследований, приведенные в табл. 2.1 показывают, что механические свойства и упругая энергия угля существенно зависят от его влажности.

2.2. Физическая сущность гидрорыхления и его влияние на выбороопасность призабойной части пласта

Исходя из общепризнанной концепции [2] о совокупном влиянии сил горного давления, заключенного в угольных пластах газа, физико-механических свойств угля и вмещающих пород на возникновение и развитие внезапных выбросов угля и газа следует, что способы предотвращения этих явлений должны быть направлены на устранение или снижение действия силовых факторов в формировании выбороопасной ситуации.

Поэтому механизм гидрорыхления следует рассматривать с позиций закономерностей перераспределения напряжений под воздействием его движущегося впереди забоя и деформирования пласта.

Ведение горных работ нарушает, как известно, естественное поле напряжений в окрестности горных выработок, вследствие чего впереди забоя образуются зоны разгрузки, опорного давления и нетронутого массива [1]. Полагают, что в нетронутом массиве напряжения равнокомпонентны и

численно равны гравитационным ($\sigma_z = \sigma_y = \sigma_x = \gamma H$), обусловленным давлением вышележащих пород. В зоне опорного давления величина вертикальной составляющей нормальных напряжений σ_z может в несколько раз превышать гравитационные, а в зоне разгрузки призабойной части пласта эти напряжения не равнокомпонентны и ниже гравитационных [42, 43]. Образование зоны разгрузки обусловлено отсутствием горизонтальной составляющей напряжений, действующей на забой со стороны выработанного пространства, а со стороны массива такие напряжения действуют, вследствие чего в призабойной его части возникают деформации растяжения, вызывающие смещение (отжим) угля в выработку. Непосредственно у забоя деформации практически исчерпаны и напряжения здесь минимальны, а по мере удаления от забоя в глубину массива они возрастают.

При проведении выработки в результате происходящей разгрузки первоначальный эллипсоид напряжений, согласно [44] перестраивается таким образом, что максимальные векторы напряжений будут располагаться в плоскости, параллельной поверхности забоя.

Наиболее важным последствием перераспределения напряжений в процессе ведения горных работ является нарушение сплошности угля за счет трещинообразования при разгрузке. Поскольку прочность его на разрыв на порядок меньше, чем на сжатие [45], считают, что трещины образуются от деформаций растяжения и зарождаются в зоне наибольшего градиента напряжений и давления газа впереди движущегося забоя [46, 47, 48]. При этом плоскость трещин ориентируется, как и плоскость максимальных векторов напряжений, параллельно поверхности забоя. Под действием деформаций происходит образование новых и развитие существующих трещин. Это приводит, в свою очередь, к снижению напряжений.

Рассмотрим влияние роста трещин на разгрузку пласта, исходя из решения задачи Гриффитса о квазихрупком разрушении твердого тела согласно [47]. Уподобим часть пологого пласта впереди забоя выработки тонкой пластине, подвергаемой растяжению напряжениями p в плоскости пласта по нормали к линии забоя. В пластине имеется начальная трещина длиной ℓ , ориентированная перпендикулярно к направлению растяжения. Длина трещины значительно меньше размеров пластины ($a \gg \ell$, $b \gg \ell$). При достижении некоторой величины растягивающих напряжений p происходит рост трещины, т.е. возрастает свободная поверхность, на образование которой затрачивается упругая потенциальная энергия.

В свою очередь, образование или рост трещины сопровождается высвобождением упругой энергии. Обозначим величину энергии пластины без трещины U_0 и с трещиной U . Тогда изменение потенциальной энергии вследствие роста трещины запишем в виде:

$$\Delta U = U_0 - U \quad (2.1)$$

Согласно принципу Гриффитса, существующая трещина станет лавинообразно расти, если скорость высвобождения потенциальной энергии упругих деформаций ΔU на единицу длины трещины превзойдет прирост поверхностной энергии трещины

$$\frac{\partial \Delta U}{\partial \ell} > 4\gamma, \quad (2.2)$$

где γ – поверхностная энергия, затрачиваемая на образование единицы свободной поверхности трещины.

В свою очередь

$$\Delta U = \bar{S} \cdot \bar{\rho}, \quad (2.3)$$

где \bar{S} – средняя площадь области концентрации напряжений у трещины, пропорциональная ℓ^2 ;

$\bar{\rho}$ – средняя величина плотности упругого потенциала, пропорциональная p^2 / E ;

E – модуль Юнга.

Заменяя \bar{S} и $\bar{\rho}$ соответствующими значениями, запишем (2.3) в виде

$$\Delta U = \lambda \ell^2 p^2 / E, \quad (2.4)$$

где λ – множитель, зависящий от коэффициента Пуассона и для тонкой пластины равный $\lambda = 2\pi$.

С учетом (2.2) и (2.4) для критического состояния пластины с трещиной при растяжении, т.е. когда возникают условия для начала роста трещины, получим

$$4\gamma E = \lambda p^2 \ell, \quad (2.5)$$

откуда находим

$$p = \sqrt{\frac{2\gamma E}{\pi \ell}} = \lambda \sqrt{\frac{\gamma E}{\ell}}, \quad (2.6)$$

где λ – для плоского напряженного состояния по [47] равно $\lambda = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \approx 1$.

Если принять, что

$$\sqrt{2\gamma E} = K_{1c}, \quad (2.7)$$

где K_{1c} – коэффициент интенсивности напряжений, характеризующий свойства материала и определяющий вязкость разрушения, т.е. со-

противление материала продвижению в нем трещины [47, 49], который имеет размерность силы (F), деленной на длину (L) в степени три вторых ($K_{1c} = F \cdot L^{-3/2}$), то выражение (2.6) принимает вид

$$p = \frac{K_{1c}}{\sqrt{\pi\ell}} \quad (2.8)$$

Как следует из равнозначных выражений (2.6) и (2.8), чем меньше начальная длина трещин, тем большими должны быть напряжения, при которых может происходить рост этих трещин или (что то же самое) с ростом напряжений может происходить рост более коротких трещин. С увеличением длины трещин увеличивается свободная поверхность, при образовании которой увеличивается и высвобождение поверхностной энергии, а, следовательно снижаются напряжения, предохраняющие запасы потенциальной энергии массива.

Зависимость (2.6) показывает, что процесс протекает следующим образом. При увеличении напряжений начальная трещина длиной ℓ_0 стоит до тех пор, пока не будет достигнуто критическое значение p , после чего происходит быстрый рост трещины. Процесс протекает неустойчиво: может приостанавливаться и возобновляться в зависимости от меняющегося уровня напряжений и размеров трещин. Рассматривая эту зависимость с точки зрения ее связи с проявлением выбороопасности угольных пластов, можно сделать два практически важных вывода. Во-первых, о том, что по мере приближения забоя выработки к выбороопасной зоне степень развития трещинообразования должна уменьшаться вследствие изменения, например, физико-механических свойств угля или вмещающих пород, структуры пласта, размеров первичной трещиноватости и других факторов, приводящих в конечном счете к тому, что сил горного давления становится недостаточно для сохранения прежней деформируемости пласта и формирования стабильной величины зоны разгрузки, т.е. происходит задержка деформаций и напряжения вблизи движущегося забоя возрастают. Если при этом они достигнут критической величины, то вышеописанный процесс роста трещин может перейти в лавинообразное разрушение и способствовать реализации газодинамического явления. Во-вторых, задержки деформаций пласта и уменьшение вследствие этого зоны разгрузки впереди забоя выработки могут быть устранены за счет принудительного изменения деформационно-прочностных свойств угля таким образом, чтобы под действием тех же по величине сил горного давления происходило образование безопасной зоны разгрузки. Это может быть достигнуто, например, путем высоконапорного нагнетания воды в пласт, получившего название «гидрорыхление». Достижимое при этом развитие трещин и заполнение их водой не только разупрочняет угольный пласт, но, как показано в работах [21, 50], повышает пла-

стичность угля, уменьшает сцепление пласта с боковыми породами, вытесняет газ из пор и трещин, т.е. делает призабойную часть пласта более деформационно способной, что вызывает плавный ее отжим в сторону выработки и смещение зоны опорного давления вглубь массива, устраняя тем самым опасность возникновения внезапных выбросов угля и газа.

2.3. Влияние нагнетания воды в пласт на развитие трещин

Образующиеся под действием сил горного давления трещины в призабойной части пласта ориентируются, как указано в 2.2, главным образом, параллельно забою выработки и при пересечении их скважиной, буримой для нагнетания воды в пласт, являются первоначальными водопродводящими каналами. Влияние высоконапорного нагнетания воды на дальнейшее развитие трещин аналогично вышеупомянутой в (2.7) задаче Гриффитса с позиций механики разрушения [47] под действием некоторой нагрузки P , приложенной к берегам единичной трещины в упругой пластине симметрично относительно оси X , как показано на рисунке 2.6а. Внешним нагрузкам пластина не подвергается. Упругие деформации в пластине обусловлены лишь давлением P в трещине и распространяются вокруг нее в некоторой области S .

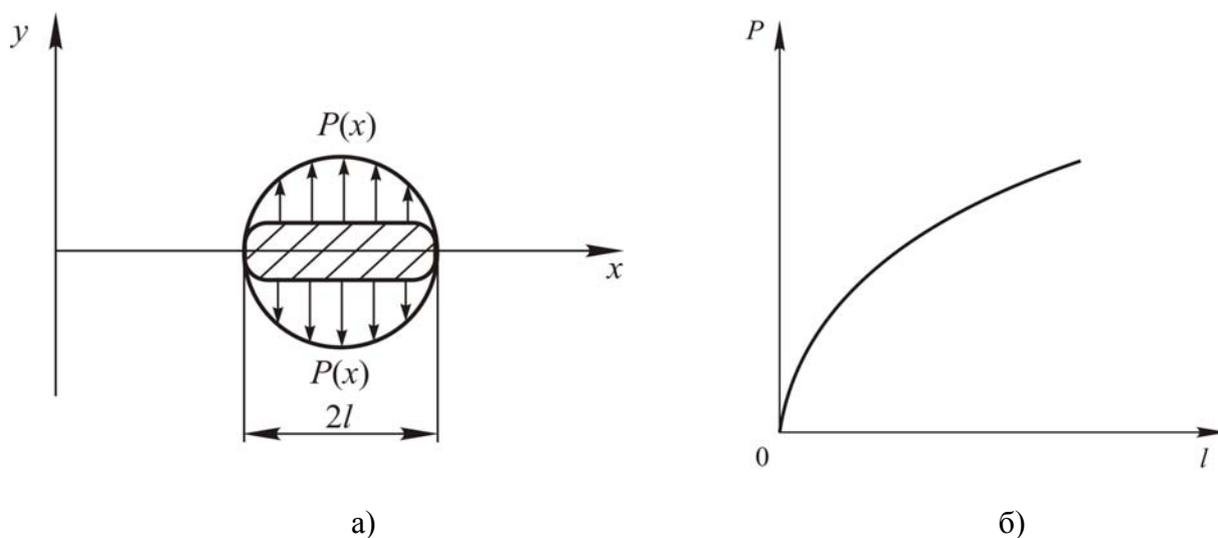


Рис. 2.6. Схема к определению влияния давления P в трещине на ее длину l (а) и график этой зависимости (б)

Обозначим упругий потенциал пластины в этой области при первоначальном давлении P_0 и длине трещины $2\ell_0$ через U_0 , а при некотором давлении $P_i > P_0$ и $2\ell_i > 2\ell_0$ через U_i . Тогда изменение упругого потенциала пластины ΔU вследствие роста давления в трещине равно

$$\Delta U = U_i - U_0 \quad (2.9)$$

Поскольку согласно [47] величина упругого потенциала (U), отнесенная к длине трещины (2ℓ), пропорциональна плотности упругого потенциала (ρ), равного

$$\rho = \frac{P^2}{E}, \quad (2.10)$$

то соответственно принятым обозначениям можно записать

$$\Delta U = \frac{\Delta P^2}{E} 2\Delta\ell \quad (2.11)$$

Согласно принципу Гриффитса [47] трещина начнет расти, если скорость высвобождения энергии (U) в области ее концентрации (S) превзойдет прирост поверхностной энергии трещины (γ)

$$\frac{\partial \Delta U}{\partial S} > 4\gamma \quad (2.12)$$

Поскольку область концентрации напряжений вокруг трещины в пределе стремится к окружности с радиусом ℓ , то согласно (2.11) и (2.12) для критического состояния трещины при некотором значении ΔU запишем:

$$4\gamma\pi\ell^2 = \frac{P^2}{E} 2\ell, \quad (2.13)$$

откуда получим

$$P = \sqrt{2E\gamma\pi\ell} \quad (2.14)$$

Заменяя произведение постоянных сомножителей под корнем через коэффициент интенсивности напряжений K_{1c} согласно (2.7), окончательно получим

$$P = K_{1c} \sqrt{\pi\ell} \quad (2.15)$$

Как видно из приведенного на рисунке 2.6б графика этой зависимости, с увеличением силы P увеличивается и длина трещины ℓ , что свидетельствует об устойчивом квазистатическом развитии трещин под действием давления, создаваемом при высоконапорном нагнетании воды в пласт.

2.4. Совместное влияние горного давления и нагнетаемой в пласт воды на процесс трещинообразования

Из рассмотренных схем (рис. 2.6) следует, что в реальных условиях на рост трещин оказывает совместное действие растягивающих напряжений от сил горного давления и внутреннего давления на стенки трещин нагнетаемой воды. Поскольку направление действия тех и других сил совпадает, то суммарное их действие определяется простым сложением выражений (2.8) и (2.15)

$$p + P = \frac{K_{1c}}{\sqrt{\pi\ell}} + K_{1c} \sqrt{\pi\ell} \quad (2.16)$$

Как видно из (2.16), при $K_{1c} = const$ второе слагаемое в правой части этого тождества, соответствующее давлению P в трещине, по абсолютной величине больше первого, то есть

$$\left| K_{1c} \sqrt{\pi\ell} \right| > \left| \frac{K_{1c}}{\sqrt{\pi\ell}} \right| \quad (2.17)$$

Из этого следует, что для роста трещины на какую-то величину под действием только внутренней нагрузки на ее берега P величина этой нагрузки должна быть больше, чем внешняя растягивающая нагрузка p , под действием которой может происходить рост трещины на такую же величину. Тогда по закону сохранения энергии внутренняя нагрузка P должна затрачиваться на развитие трещины и на преодоление еще каких-то сил. Согласно схеме распределения напряжений в призабойной части пласта такой силой является сжимающие напряжения σ_z и σ_y , влияющие на забой со стороны массива, которые при рассмотрении действия нагрузки p не учитывались.

В реальных условиях совместное воздействие внешних нагрузок на пласт и внутреннего давления в трещине на ее рост можно представить на эквивалентных схемах, согласно которым действие внутреннего давления P в трещине равнозначно приложению дополнительных растягивающих усилий величиной $P - |\sigma_y|$. Критерий роста трещин, находящихся под действием сжимающих нагрузок σ_z , σ_y и внутреннего давления P , согласно [6] имеет вид

$$\frac{P - |\sigma_y|}{\sigma_p} + \frac{|\sigma_z|}{\sigma_c} = 1, \quad (2.18)$$

где σ_p и σ_c – предел прочности на растяжение и одноосное сжатие соответственно.

Из (2.18) условие прорастания трещин можно записать

$$m_T (P - |\sigma_y|) \geq \sigma_p, \quad (2.19)$$

где $m_T = (1 - |\sigma_z|/\sigma_c)^{-1}$

Как следует из (2.19), это условие сохраняется, и рост трещин под действием внешних и внутренних сил может происходить лишь при условии, что

$$P - |\sigma_y| > 0 \quad (2.20)$$

Если же

$$P - |\sigma_y| \leq 0, \quad (2.21)$$

то тело находится в состоянии всестороннего сжатия и рост трещин происходит лишь за счет внешних сжимающих нагрузок без существенного влияния при этом внутреннего давления.

Таким образом, сжимающие нагрузки оказывают существенное влияние на роль внутреннего давления в развитии трещин, что зависит и от местоположения их относительно поверхности забоя выработки. Поскольку напряжения вглубь массива возрастают, то для роста трещин, например, вблизи забоя давление нагнетания P , согласно условию (2.19), может быть меньше, чем это необходимо для роста трещин в глубине массива. Иными словами, сжимающие напряжения заметно снижают величину давления нагнетания, необходимую для роста трещин, по сравнению с давлением нагнетания при отсутствии внешнего сжатия. Учитывая, что из-за природной изменчивости структуры угля и строения пласта показатели прочности σ_p и σ_c могут изменяться, выражение (2.19) может служить лишь для иллюстрации общих тенденций в соотношении силовых параметров воздействия на угольный пласт.

Из анализа выражений (2.8), (2.15) и (2.19) с учетом (2.20) и (2.21) следует, что в зависимости от глубины расположения фильтрующей части нагнетательной скважины относительно забоя выработки, а следовательно, от уровня напряжений в месте ее расположения и соотношения с давлением нагнетания, изменяется не только характер роста трещин, но и роль сил, обуславливающих этот рост. Так, в случае нагнетания воды непосредственно в разгруженную призабойную часть пласта, где существует разветвленная система трещин и силы внешнего воздействия (горного давления) меньше давления нагнетания, т.е. выполняется условие (2.19) и (2.20), преобладающее влияние на рост трещин может оказывать давление нагнетания, под действием которого происходит фильтрация воды в сторону забоя выработки. Процесс протекает согласно (2.15) устойчиво в квазистатическом режиме. Но развитие трещин в этой разгруженной части пласта не

вызывает существенных изменений напряженного состояния и поэтому для борьбы с внезапными выбросами, гидрообработка ее нецелесообразна.

В другом случае, когда фильтрующая часть нагнетательной скважины располагается в зоне опорного давления, где сжимающие напряжения от действия сил горного давления значительно превышают давление нагнетания, т.е. создается условие (2.21), проникновение воды в пласт затруднено, образования трещин не происходит или согласно (2.8) происходит неустойчиво и может перейти в лавинообразное разрушение напряженного участка пласта с внезапным выбросом угля и газа. Исходя из этого, оптимизация глубины расположения фильтрующей части нагнетательной скважины является важным условием обеспечения эффективности гидрорыхления и безопасности его выполнения, поскольку всякого рода интенсификация силового воздействия в зоне высоких напряжений чревата неуправляемым разрушением угля и не может рассматриваться как полезное с точки зрения борьбы с внезапными выбросами мероприятие.

Таким образом, процесс гидрорыхления может происходить лишь в том случае, когда зона разгрузки перекрывается средствами герметизации нагнетательной скважины, а фильтрующая часть ее располагается за пределами этой зоны, где напряжения повышены, но не столь велики как в зоне опорного давления, не препятствуют поступлению воды в пласт и в то же время достаточны для поддержания роста трещин.

2.5. Гидродинамические характеристики процесса гидрорыхления

Влияние трещиноватости угольного пласта на характер распространения в нем воды при гидрорыхлении имеет существенное, как показано в [34], значение. Согласно механике разрушения всех без исключения материалов характерной особенностью процесса трещинообразования является скачкообразность развития его во времени [49] вследствие необходимости периодического накопления энергии для продвижения трещины на некоторую величину. Это обуславливает пульсацию давления нагнетания и неравномерность поступления воды в пласт при гидрорыхлении.

Представления о механизме роста трещин под действием высоконапорного нагнетания воды в угольный пласт базируется на физической модели клиновидного водопроводящего канала [31]. Пусть трещина длиной ℓ и сечением S , соединяющаяся с нагнетательной скважиной, заполняется водой со скоростью V_1 при начальном давлении P_1 . После заполнения ее водой движение потока прекратится, конечная скорость его V_2 в тупиковой части трещины снизится до нуля, а давление в этот момент возрастет до P_2 . При этом возникнет импульс действующей силы J_p , равный

$$J_p = mV_2 - mV_1, \quad (2.22)$$

где m – масса воды.

Учитывая, что при остановке потока $V_2 = 0$, а масса воды равна

$$m = \rho S \ell, \quad (2.23)$$

где ρ – плотность воды, выражение (2.22) принимает вид

$$J_p = (P_1 - P_2)St = \Delta P St, \quad (2.24)$$

где t – время остановки потока в тупиковой части трещины. В момент остановки потока в тупиковой части трещины возникает импульс давления в виде микрогидравлического удара, оказывающего динамическое воздействие на берега трещины и вызывающего скачкообразное увеличение ее длины. Поскольку t зависит от длины трещины и скорости распространения ударной волны c

$$t = \ell / c, \quad (2.25)$$

то с учетом (2.25) окончательно получим

$$\Delta P = \rho c V_1 \quad (2.26)$$

Согласно расчету по (2.26) при $c = 1500$ м/с в воде и $V_1 = 1$ м/с прирост давления в трещине составит 1,5 МПа. Это довольно значительный импульс давления, играющий существенную роль инициатора прорастания трещин, если учесть, что согласно [49] начавшееся движение их может продолжаться под действием напряжений, значительно меньше первоначальных.

По мере развития трещин в процессе гидрорыхления и соединения их с существовавшими в разгруженной призабойной части пласта, давление нагнетания снижается, возрастает количество поступающей в пласт воды и она начинает выходить на забой выработки. Этому предшествует, как установлено практикой, снижение давления нагнетания не менее чем на 30% от максимального, достигнутого в процессе нагнетания, что принято в качестве нормативного согласно [10] критерия (признака) завершения процесса гидрорыхления и нецелесообразности продолжения нагнетания.

Количество воды, закачиваемой в скважину для гидрорыхления, зависит от водопроницаемости пласта и предопределяется объемом трещин, существовавших и вновь образовавшихся при гидрорыхлении, в радиусе распространения ее вокруг нагнетательной скважины (радиус эффективного нагнетания $R_{эф}$). Последний достаточно надежно определяется согласно [10] в зависимости от глубины герметизации скважины ℓ_2 по формуле $R_{эф} = 0,8\ell_2$. Поскольку гидрорыхление может происходить после заполнения водой существовавших до этого трещин, объем которых зависит от множества факторов и определить его в реальном массиве не представляется возможным, то на практике вычисляют суммарное количество воды Q , которое должно подаваться в скважину, исходя из минимально необходимого удельного расхода ее q на 1 т угля в зоне гидрообработки его вокруг скважины, прини-

маемого во всех случаях равным $q = 20$ л/т. Но на практике фактическое количество поданной в скважину воды к моменту завершения процесса гидрорыхления, установленному по вышеуказанному критерию снижения давления нагнетания не менее чем на 30%, как правило, не соответствует расчетному, что приводит либо к излишнему водонасыщению пласта и обводнению призабойного пространства выработки, либо к недостаточной подаче воды для достижения должного эффекта гидрорыхления.

Таким образом, давление нагнетания и количество подаваемой в пласт воды являются в сущности зависящими от природных и геомеханических факторов, но управляемыми параметрами гидрорыхления и должны определяться опытным путем в конкретных условиях ведения горных работ.

Выводы по разделу:

1. Наиболее важным последствием перераспределения напряжений впереди движущегося забоя выработки является образование и развитие трещин от деформаций растяжения, зарождающихся в зоне максимального градиента напряжений, плоскости которых, как и векторы напряжений, ориентируются параллельно поверхности забоя.

2. Чем меньше начальная длина трещин, тем больше должны быть напряжения, при которых может происходить рост этих трещин, или, что тоже самое, с увеличением длины трещин уменьшаются напряжения, необходимые для поддержания роста трещин. Процесс развития трещин в угольном массиве под действием внешних нагрузок протекает неустойчиво и может замедляться или ускоряться в зависимости от величины нагрузки, длины трещин и прочности материала.

3. Действие внутреннего давления в трещине, создаваемого нагнетанием жидкости, эквивалентно действию дополнительных растягивающих усилий, приложенных к берегам трещины и вызывающих увеличение ее длины пропорционально величине этого давления.

4. Сжимающие нагрузки на пласт от действия сил горного давления существенно снижают роль внутреннего давления жидкости в развитии трещин, поэтому для обеспечения совместного действия тех и других сил глубина герметизации нагнетательных скважин должна приниматься с учетом величины зоны разгрузки призабойной части пласта, с тем, чтобы в пределах длины фильтрующей части этих скважин напряжения были не столь велики, чтобы препятствовать проникновению воды в пласт, и в то же время достаточны для поддержания роста трещин.

5. Глубина герметизации нагнетательных скважин, давление нагнетания и количество закачиваемой в пласт жидкости являются основными и управляемыми параметрами гидрорыхления, сопряженными с природными и геомеханическими факторами, и должны определяться экспериментально для конкретных условий ведения горных работ.

РАЗДЕЛ 3

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА НА ПАРАМЕТРЫ ГИДРОРЫХЛЕНИЯ

3.1. Методика оценки напряженно-деформированного состояния пласта и определения параметров гидрорыхления

Для изучения влияния напряженно-деформированного состояния пласта на параметры гидрорыхления необходимо определить это состояние в месте расположения нагнетательных скважин. Ведение горных работ сопровождается, как известно, перераспределением напряжения и образованием впереди забоя выработки характерных зон, существенно отличающихся по напряжениям и деформациям: зоны отжима (разгрузки) призабойной части пласта, в которой напряжения и деформации практически исчерпаны и под действием их образовалась система открытых трещин; зоны опорного давления, в которой концентрация напряжений достигает максимума, что исключает возможность существования открытых (газо-, водопроницаемых) трещин. Переход от зоны разгрузки к зоне опорного давления характеризуется нарастанием напряжений и уменьшением трещиноватости пласта. Поскольку образование этих зон является следствием сложных геомеханических процессов и сопряжено с вопросами обеспечения безопасности ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям, широкое применение получили нормативные, согласно [10, 51], способы определения величины зоны разгрузки по динамике начальной скорости газоразделения из контрольных шпуров (скважин) или по параметрам акустического сигнала, а расстояния до максимума опорного давления – по выходу бурового штыба или также по параметрам акустического сигнала.

Согласно методике проведения экспериментальных работ на первом этапе в процессе бурения нагнетательных скважин указанными способами определяется величина зоны разгрузки l_p призабойной части пласта и расстояние от забоя выработки до максимума опорного давления l_{on} . Затем с учетом полученных данных аналитически рассчитываются графики изменения напряжений σ впереди забоя выработки и устанавливается оптимальная для каждого забоя глубина герметизации l_z нагнетательных скважин. Глубина герметизации должна быть больше l_p , но меньше l_{on}

$$l_p < l_z < l_{on} \quad (3.1)$$

с тем, чтобы в пределах длины фильтрующей части этих скважин ℓ_ϕ величины напряжений σ_{ℓ_ϕ} , при которых процесс гидрорыхления может происходить под давлением нагнетания, не превышающим предельно допустимое (32 МПа) по технической характеристике применяемых насосных установок [52], составляли не более γH и не менее $0,75 \gamma H$, то есть

$$0,75 \gamma H \leq \sigma_{\ell_\phi} \leq \gamma H \quad (3.2)$$

Последнее условие, по сути, предопределяет диапазон давления нагнетания P_n соответственно глубине H ведения горных работ $P_n = (0,75 \dots 1,0) \gamma H$.

Исходя из установленной глубины герметизации нагнетательных скважин ℓ_z и длины их фильтрующей части ℓ_ϕ , определяют общую длину скважин путем суммирования $\ell_z + \ell_\phi$, рассчитывая радиус эффективного нагнетания $R_{эф}$ и необходимое для этого количество воды Q на одну скважину по приведенным в [10, 51] формулам:

$$R_{эф} = 0,8 \ell_z, \quad (3.3)$$

$$Q = \frac{2R_{эф} q m \gamma_y}{1000} (\ell_z + \ell_\phi), \quad (3.4)$$

где q – удельный расход воды, л/т;

m – мощность пласта, м;

γ_y – удельный вес угля, т/м³.

На следующем этапе экспериментальных работ проводят опытные нагнетания воды в скважины с установленными параметрами гидрорыхления для проверки соответствия их конкретным условиям ведения горных работ и осуществляют контроль эффективности нормативным способом согласно [10, 51] путем определения величины зоны разгрузки по динамике начальной скорости газовыделения при поинтервальном бурении контрольных шпуров между нагнетательными скважинами. По результатам опытных нагнетаний оценивается сходимость экспериментально установленных и принятых на шахтах параметров гидрорыхления.

Экспериментальные работы выполнялись в очистных и подготовительных выработках, проводимых по выбросоопасным пластам с применением гидрорыхления, на шахтах: им. В. М. Бажанова (пласт m_3), им. А. А. Скочинского (пласт h'_6), им. А.Ф. Засядько (пласт ℓ_1) и «Ясиновская-Глубокая» (пласт m_3).

3.2. Исследования на шахте им. В. М. Бажанова

На шахте им. В. М. Бажанова экспериментальные работы проводились в нижних нишах 7-й восточной и 2-й центральной лав уклонного поля горизонта 1150 м и в конвейерном ходке западного крыла горизонта 1012 м. Выемка угля производилась: в лавах – комбайном с текущим прогнозом выбороопасности по акустической эмиссии массива, в нишах – отбойным молотком после гидрорыхления и контроля его эффективности. Конвейерный ходок проводился комбайном 4ПП-2М с гидрорыхлением пласта. Ширина ниш составляла 4 м, конвейерного ходка 5,8 м. Отработка 7-й восточной лавы производилась по простиранию пласта, а 2-й центральной лавы и конвейерного ходка – по падению.

Пласт m_3 состоит из 2-х (местами более) угольных пачек, разделенных породным прослойком, угол падения $5-7^\circ$, коэффициент крепости угля $f = 1$ по шкале М. М. Протождяконова, предел прочности на сжатие $\sigma_{сж} = 8$ МПа, удельный вес $\gamma_y = 1,32$ т/м³, газоносность пласта 15-20 м³/т с.б.м., марка угля К, выход летучих $V^{daf} = 24-27\%$. Общая мощность пласта m составляет: до 2,18 м в 7-й восточной лаве, во 2-й центральной лаве 1,55 м, в конвейерном ходке 1,7 м.

Согласно [10, 51] в нишах лав и в конвейерном ходке бурили по 2 нагнетательных скважины диаметром 42-43 мм на расстоянии 1 м от углов забоя с разворотом на $5-7^\circ$ в сторону массива.

В процессе бурения этих скважин через каждые 0,5 м измеряли начальную скорость газовыделения, по изменению которой определяли согласно [10, 51] величину зоны разгрузки, и объемный выход штыба с полуметровых интервалов бурения, по максимальной величине которого при соответствующей глубине скважины определяли расстояние до максимума опорного давления.

Результаты измерений приведены в табл. 3.1.

Из таблицы следует, что напряженно-деформированное состояние призабойной части пласта в комбайновых нишах и конвейерном ходке практически не отличается: величина зоны разгрузки колеблется в пределах 2-3 м и в среднем составляет 2,2 м, а максимум опорного давления находится на расстоянии 4-5,5 м от забоя или в среднем 4,7 м. Исходя из установленных величин ℓ_p и ℓ_{on} с учетом округления их до целых чисел, условие (3.1) можно представить в числовом выражении для данного шахтопласта

$$2\text{м} < \ell_z < 5\text{м}$$

Таблица 3.1. – Результаты определения величины зоны разгрузки ℓ_p и расстояния до максимума опорного давления ℓ_{on} на шахте им. В. М. Бажанова

| Расположение скважин | Скорость газовыделения, л/мин Выход штыба, л на интервалах скважин, м | | | | | | | | | | | $\frac{\ell_p^{2M}}{\ell_{оп}, м}$ | |
|----------------------------------|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|-------------------|
| | Нижняя ниша 7-й восточной лавы | | | | | | | | | | | | |
| № 1 левый куток (к массиву) | $\frac{сл}{1,7}$ | $\frac{1,48}{1,1}$ | $\frac{0,84}{1,0}$ | $\frac{1,76}{1,0}$ | $\frac{сл}{1,2}$ | $\frac{сл}{2,3}$ | $\frac{-}{2,3}$ | $\frac{-}{2,5}$ | $\frac{-}{2,0}$ | | | | $\frac{2,0}{4,5}$ |
| № 2 правый куток (к лаве) | $\frac{0,67}{1,4}$ | $\frac{0,84}{0,9}$ | $\frac{1,28}{1,0}$ | $\frac{0,25}{1,5}$ | $\frac{0,51}{1,1}$ | $\frac{0,25}{1,7}$ | $\frac{-}{1,6}$ | $\frac{-}{2,0}$ | $\frac{-}{2,6}$ | $\frac{-}{2,9}$ | $\frac{-}{2,2}$ | | $\frac{2,5}{5,5}$ |
| Нижняя ниша 2-й Центральной лавы | | | | | | | | | | | | | |
| № 1 левый куток (к лаве) | $\frac{сл}{1,5}$ | $\frac{1,66}{1,2}$ | $\frac{сл}{1,7}$ | $\frac{0,49}{1,6}$ | $\frac{1,35}{1,2}$ | $\frac{-}{-}$ | $\frac{-}{2,5}$ | $\frac{-}{2,7}$ | $\frac{-}{2,2}$ | $\frac{-}{2,0}$ | | | $\frac{2,0}{4,5}$ |
| № 2 правый куток (к массиву) | $\frac{0,49}{2,0}$ | $\frac{1,88}{1,6}$ | $\frac{0,67}{1,4}$ | $\frac{0,49}{1,0}$ | $\frac{сл}{1,7}$ | $\frac{-}{1,9}$ | $\frac{-}{2,0}$ | $\frac{-}{2,6}$ | $\frac{-}{2,9}$ | $\frac{-}{1,8}$ | | | $\frac{2,0}{5,0}$ |
| Конвейерный ходок | | | | | | | | | | | | | |
| № 1 левый куток (к массиву) | $\frac{0}{0,9}$ | $\frac{0,56}{0,9}$ | $\frac{1,14}{1,0}$ | $\frac{3,5}{1,2}$ | $\frac{-}{1,3}$ | $\frac{-}{2,3}$ | | | | | | | $\frac{3,0}{4,0}$ |
| № 2 правый куток (к массиву) | $\frac{сл}{-}$ | $\frac{0,28}{0,9}$ | $\frac{8,4}{0,8}$ | $\frac{4,45}{1,0}$ | $\frac{-}{0,9}$ | $\frac{-}{1,1}$ | $\frac{-}{2,1}$ | $\frac{-}{2,8}$ | $\frac{-}{2,2}$ | $\frac{-}{2,5}$ | $\frac{-}{2,1}$ | | $\frac{2,5}{4,5}$ |

Для установления конкретной глубины герметизации нагнетательных скважин по фактору напряжений в пределах длины фильтрующей части этих скважин согласно условию (3.2) произведен расчет эпюры распределения напряжений впереди забоя выработки с учетом экспериментально полученных величин ℓ_p и ℓ_{on} .

Эпюра изменения напряжений от забоя выработки вглубь массива описывается согласно [1, 6] двумя ветвями, пересечение которых соответствует местоположению и величине максимальных напряжений в зоне опорного давления:

восходящей кривой

$$\sigma_1 = K v e^{\varphi \ell} \quad (3.5)$$

и нисходящей

$$\sigma_2 = \gamma H \left(1 + \frac{X_0^2}{\ell^2} \right), \quad (3.6)$$

где K – сопротивление угля сдвигу, МПа;

φ – показатель степени, определяемый по формуле:

$$\varphi = \frac{2\lambda f}{m}; \quad (3.7)$$

ν, λ – константы, зависящие от угла внутреннего трения:

$$\nu = \frac{2\cos\alpha}{1 - \sin\alpha}; \quad \lambda = \frac{1 + \sin\alpha}{1 - \sin\alpha}; \quad (3.8)$$

α – угол внутреннего трения; f – коэффициент трения угля по породам почвы и кровли при сдвиге; m – мощность пласта, м; γ – объемный вес пород, т/м³; H – глубина разработки, м; ℓ – расстояние от забоя, м; X_o – фиктивное расстояние разгружающего влияния выработки, м, равное

$$X_o = \frac{1}{\varphi} \ln \frac{2\gamma H}{K\nu}. \quad (3.9)$$

Угол внутреннего трения определяется на основании известных, согласно [45], соотношений прочностных характеристик угля на сжатие $\sigma_{сж}$ и растяжение σ_p

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sigma_{сж} - \sigma_p}{2\sqrt{\sigma_{сж} \cdot \sigma_p}}; \quad \sigma_p = 0,1\sigma_{сж}. \quad (3.10)$$

Предел прочности на сжатие вычисляется, согласно [53], в зависимости от показателя степени метаморфизма угля V^{daf} по формуле:

$$\sigma_{сж} = 16,3 [1,15 - 5,4 \cdot 10^{-2} V^{daf} + 1,1 \cdot 10^{-3} (V^{daf})^2] \quad (3.11)$$

Для условий пласта m_3 шахты им. В. М. Бажанова при $V^{daf} = 25\%$ $\sigma_{сж}$ согласно (3.11) составляет 8 МПа, а угол внутреннего трения по расчету в соответствии с (3.10) $\alpha = 54^\circ$. Тогда согласно (3.8) $\nu = 6,2$ и $\lambda = 9,5$. При средней мощности пласта 1,8 м, изменяющейся от 1,55 м во 2-й центральной лаве до 1,7 м в конвейерном ходке и 2,18 м в 7-й восточной лаве, показатель степени по (3.7) $\varphi = 10,5 f$. Для расчета напряжений σ_1 по (3.5) неизвестными остаются сопротивление угля сдвигу K и коэффициент трения f , которые вычислялись с учетом величин ν и λ путем совместного решения системы двух уравнений, аналогичных (3.5)

$$\sigma = 6,2 K e^{10,5 f \ell}$$

В одно из них подставлялась величина напряжений в максимуме опорного давления $\sigma_{оп}$, принятая равной $2\gamma H = 54$ МПа исходя из усредненных $\gamma = 2,5$ г/см³ и $H = 1080$ м, при экспериментально установленном

расстоянии $\ell_{on}=4,7$ м, а во второе – напряжения у границы зоны разгрузки σ_p , принятые равными 6 МПа согласно [1] соответственно минимальной газопроницаемости углей под действием таких напряжений, при установленной нами величине $\ell_p = 2,2$ м. После подстановки указанных величин получаем систему уравнений

$$\begin{cases} 54 = 6,2Ke^{49,35f} \\ 6 = 6,2Ke^{23,10f} \end{cases}$$

из решения которой находим $K=0,24$ МПа, $f=0,073$. Подставляя соответствующие значения в (3.7) и (3.9), находим для условий данного шахтопласта $\varphi=0,77$, $x_0=4,7$ м.

На основании установленных экспериментально-аналитическим путем параметров уравнений (3.5) и (3.6) произведен расчет напряжений σ_1 и σ_2 на заданных расстояниях ℓ от забоя выработки и построена эпюра распределения этих напряжений, приведенная на рис. 3.1. Здесь же показаны уровни напряжений, соответствующие величинам γH и $0,75\gamma H$, а также размеры зоны разгрузки ℓ_p и расстояние до максимума опорного давления ℓ_{on} .

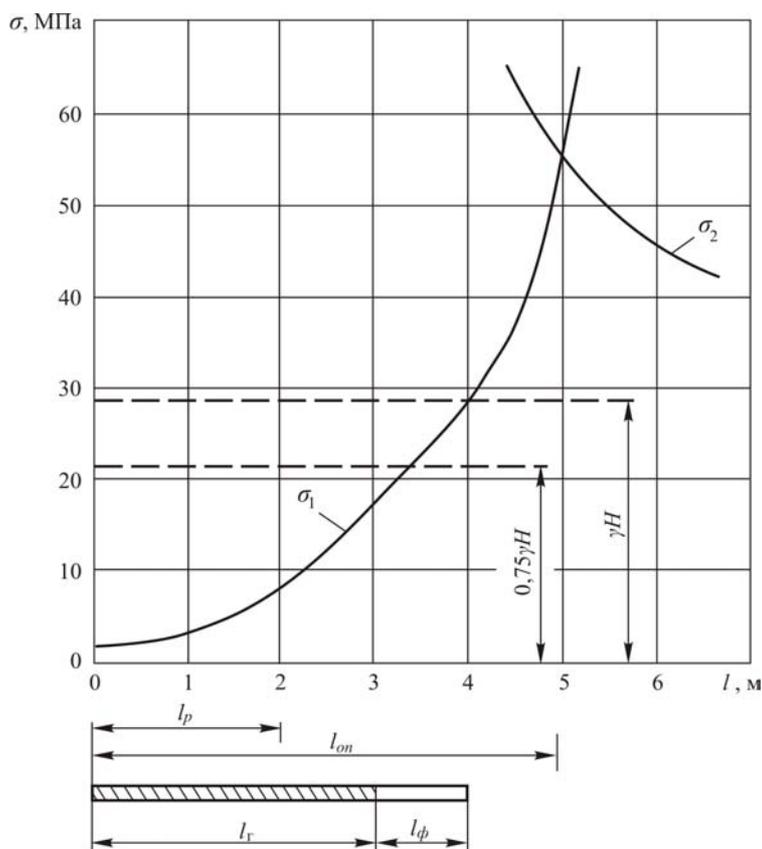


Рис. 3.1. Эпюра распределения напряжений σ от расстояния ℓ впереди забоя комбайновой ниши и подготовительной выработки по пласту m_3 шахты им. В. М. Бажанова

Глубину герметизации нагнетательных скважин, удовлетворяющую условиям (3.1) и (3.2), можно определить из уравнения (3.5) как расстояние ℓ от забоя выработки, на котором напряжения в массиве достигают величины, соответствующей минимально необходимому давлению нагнетания $0,75\gamma H$. После преобразования это уравнение принимает вид

$$\ell_z = \frac{1}{\phi l g e} \lg \left(\frac{0,75\gamma H}{K\nu} \right) \quad (3.12)$$

Согласно расчету по (3.12) с учетом округления до целого числа $\ell_z = 3$ м. Если при этом принять длину фильтрующей части скважины $\ell_\phi = 1$ м, как схематически показано на рис. 3.1, то условия (3.1) и (3.2) выполняются. Если же уменьшать глубину герметизации, то фильтрующая часть скважины приближается к зоне разгрузки пласта с повышенной трещиноватостью и при нагнетании воды может произойти преждевременный прорыв её в забой выработки без гидрорыхления пласта за пределами разгруженной зоны. Увеличение глубины герметизации или длины фильтрующей части скважины приведет к внедрению её в зону повышенных напряжений, что затрудняет, как показывает опыт применения гидрорыхления на шахте [54], бурение скважин, поступление воды в пласт, вызывает повышение давления нагнетания, продолжительность выполнения его и создает опасность повреждения нагнетательного оборудования или возникновения газодинамических явлений в виде внезапных выдавливания и выбросов угля и газа в выработку.

Таким образом, учитывая, что в забоях комбайновых ниш и подготовительных выработок по пласту m_3 на шахте им. В. М. Бажанова величина зоны разгрузки призабойной части пласта, как правило, не превышает 2 м, оптимальная длина скважин для гидрорыхления должна составлять 4 м, глубина их герметизации 3 м, а длина фильтрующей части 1 м. В тех случаях, когда зона разгрузки менее 2 м и фильтрующая часть скважин располагается в зоне повышенных напряжений, превышающих предельно допустимое давление нагнетания, применение гидрорыхления для предотвращения внезапных выбросов может оказаться не эффективным.

3.3. Исследования на шахте им. А. А. Скочинского

Исследования проводились в 1-й западной лаве пласта h_6' уклонного поля центральной панели (УПЦП) шахты. Лава отрабатывается по сплошной системе «лава-штрек» в направлении простирания пласта. Протяженность выемочного участка 2075 м, глубина ведения горных работ 1195-1245 м, длина лавы 220 м, размер ниш: верхней 10 м, нижней 13 м, глубина ниш максимальная 3,6 м, минимальная 1,2 м.

Выемка угля в лаве производится комбайном РКУ-13 с захватом 0,63 м по односторонней схеме снизу вверх по ходу движения свежей струи воздуха. В нишах отбойка угля производится сотрясательным взрыванием с последующей ручной погрузкой его на конвейер.

В пределах выемочного участка пласт h'_6 имеет сложное строение и состоит из двух угольных пачек, разделенных прослоем глинистого сланца мощностью 0,05-0,30 м.

Мощность верхней угольной пачки 0,05-0,25 м, нижней 1,20-1,60 м, коэффициент крепости угля 1,0-1,5, объемный вес 1,27 т/м³, выход летучих $V^{daf} = 31-33\%$, марка угля Ж. Общая мощность пласта (вынимаемая и геологическая) 1,60-1,75 м, метаноносность 15-20 м³/т.г.м, угол падения 14-15°.

Гипсометрия пласта слабоволнистая. Факторами осложнения горно-геологических условий ведения очистных работ являются зоны проявления микротектоники, с которыми связаны локальные утонения и «раздувы» пласта, снижение устойчивости вмещающих пород, разрывные нарушения со смещением пласта, изменением его строения, повышением газодинамической активности при технологическом воздействии на забой. При отработке 1-й западной лавы УПЦП в таких зонах произошло 15 выбросов угля и газа интенсивностью 51-503 т при сотрясательном взрывании в нишах и один внезапный выброс (27.11.01 г.) интенсивностью около 300 т при воздействии ручным инструментом на пласт в нижней нише. Пласт отнесен к категории особо выбросоопасных.

Для предотвращения внезапных выбросов угля и газа в комбайновой части лавы применяется гидрорыхление пласта путем нагнетания в него воды через скважины длиной 8 м при глубине герметизации их 6 м, расположенные через 9,6 м. В нишах нагнетание проводилось в одну скважину в средней части забоя ввиду невозможности бурения их вблизи кутков из-за проявлений газодинамической активности пласта и применялось с целью возможного снижения частоты и силы выбросов при сотрясательном взрывании. На каждый цикл гидрорыхления в лаве бурят 22 нагнетательных скважины.

Как предусмотрено методикой экспериментальных работ, в процессе бурения нагнетательных скважин на различных участках лавы определялась величина зоны разгрузки ℓ_p по динамике начальной скорости газовой выделенной и расстояние до максимума опорного давления ℓ_{on} по выходу штыба, измеряемого с помощью мерной емкости.

На основании приведенных в табл. 3.2 данных можно констатировать, что величина зоны разгрузки призабойной части пласта в лаве изменяется от 3,5 м до 5,5 м и в среднем составляет 4,1 м, а максимум опорного давления находится на расстоянии 7,5-9 м впереди забоя или в среднем 8,2 м.

Таблица 3.2. – Результаты определения величины зоны разгрузки ℓ_p и расстояния до максимума опорного давления ℓ_{on}

| № скв. | Начальная скорость газовыделения, л/мин Выход штыба, л на глубине, м | | | | | | | | | | | | $\frac{\ell_p}{\ell_{on}}$ | | | |
|--------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------|----------|----------------------------|----------|----------|---|
| | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | | 7,0 | 7,5 | 8,0 |
| 4 | 0 2,0 | 0 0,7 | 0 0,8 | сл. 0,8 | 8,40 1,0 | >25 1,8 | 13,33 2,3 | 12,71 3,0 | 14,20 2,8 | - 4,0 | - 2,5 | - 3,0 | - 4,5 | - 5,0 | - 3,0 | $\ell_p = 4 \text{ м}$ $\ell_{on} = 7,5 \text{ м}$ |
| 16 | 0,25 2,0 | 1,31 1,2 | 1,46 1,0 | 1,51 1,0 | 1,63 1,5 | 8,31 3,1 | 4,42 | 7,64 3,0 | - | - 3,0 | - | - 4,5 | - | - 6,0 | - 5,1 | $\ell_p = 4 \text{ м}$ $\ell_{on} = 8,5 \text{ м}$ |
| 17 | 0 1,7 | 0,52 0,7 | 0,52 0,7 | 1,14 1,5 | 1,32 1,5 | 1,63 2,4 | 2,12 2,0 | 3,81 3,2 | 7,98 | 8,30 4,0 | 9,43 | - 6,5 | - | - 7,5 | - 7,5 | $\ell_p > 6 \text{ м}$ $\ell_{on} = 7,5...8 \text{ м}$ |
| 21 | 0,69 1,8 | 0,86 0,8 | 0,86 1,0 | 14,0 1,0 | 15,5 0,8 | 4,8 1,2 | 5,30 2,2 | 2,47 2,0 | - 3,5 | - 2,0 | - 3,5 | - | - 8,0 | - | - 8,5 | $\ell_p = 3,5 \text{ м}$ $\ell_{on} = 9 \text{ м}$ |
| 20 | сл. 2,2 | сл. 1,0 | 0,25 0,7 | 0,37 0,7 | 0,42 1,2 | 6,20 0,8 | 5,30 1,7 | 14,0 2,0 | 20,0 | 17,8 3,8 | 4,8 | - 4,0 | - | - 4,0 | - 6,0 | $\ell_p = 4 \text{ м}$ $\ell_{on} = 8,0 \text{ м}$ |
| 1 | 0 1,5 | 0 0,8 | 0,26 0,8 | 5,3 1,0 | 6,61 1,0 | 6,61 1,2 | 9,72 1,5 | 9,72 1,8 | 0,86 2,0 | 14,0 1,5 | 14,0 | - 1,9 | - | - 3,0 | - 3,5 | $\ell_p = 5 \text{ м}$ $\ell_{on} > 8 \text{ м}$ |
| 3 | 0 1,8 | 0 0,9 | сл. 0,7 | 1,52 0,7 | 5,30 | 7,02 1,5 | 5,76 | - 2,0 | - | - 2,5 | - | - 3,0 | - | - 6,5 | - 6,8 | $\ell_p = 4 \text{ м}$ $\ell_{on} = 8 \text{ м}$ |
| 5 | 0 | 0 | 0,52 | 1,71 | 7,02 | 8,70 | 2,21 | - | - | - | - | - | - | - | - | $\ell_p = 4 \text{ м}$ |
| 1*) | 0 | сл. | 0,86 | 1,15 | 1,86 | 5,20 | 7,10 | - | - | - | - | - | - | - | - | $\ell_p > 4 \text{ м}$ |
| 2*) | 0 | сл. | 0,69 | 1,32 | 3,60 | 1,70 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | $\ell_p = 3,5 \text{ м}$ |
| 4*) | 0 | сл. | 0,78 | 1,52 | 1,44 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | $\ell_p = 3,0 \text{ м}$ |

*) Между нагнетательными скв. № 21...№ 22 в зоне геологического нарушения в верхней части лавы

Для расчета эпюры напряжений по (3.5) и (3.6) с учетом установленных в этой лаве величин l_p и l_{on} , определены исходные данные аналогично расчету в подразделе 3.2. При средних значениях для условий 1-й западной лавы пласта h_6^l УПЦП шахты им. А.А. Скочинского $m = 1,7$ м; $V^{daf} = 32\%$; $H = 1220$ м получены следующие расчетные величины исходных данных: $\alpha = 55^\circ$; $\nu = 6,3$; $\lambda = 10,1$; $f = 0,05$; $\varphi = 0,59$; $K = 0,104$ МПа; $x_o = 7,68$ м.

Согласно расчету σ_1 и σ_2 по (3.5) и (3.6) с учетом этих данных, на рис. 3.2 показана эпюра распределения напряжений впереди очистного забоя. Исходя из условий (3.1), (3.2) и выражения (3.12) глубина герметизации нагнетательных скважин, при которой напряжения в массиве достигают величины $0,75\gamma H$, равной минимально необходимому давлению нагнетания для гидрорыхления пласта, составляет 6 м. Если принять длину фильтрующей части скважин порядка 2 м, то лишь на конечном участке их напряжения могут быть более величины γH .

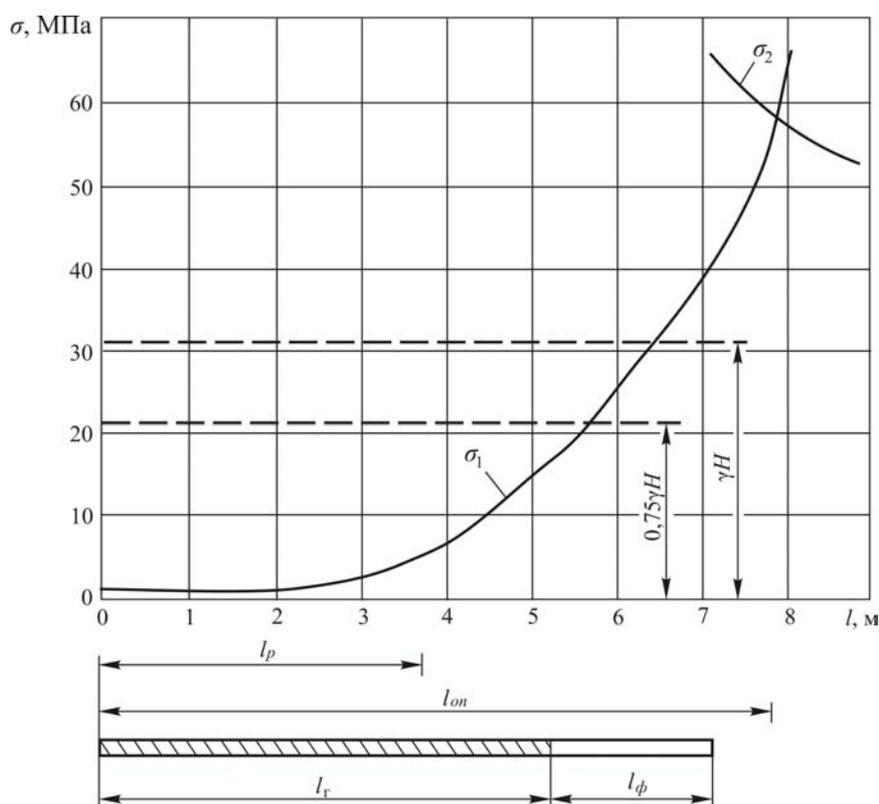


Рис. 3.2. Эпюра распределения напряжений σ от расстояния l впереди очистного забоя по пласту h_6^l на шахте им. А. А. Скочинского

Таким образом, согласно расчетам для условий данного шахтопласта максимальная длина нагнетательных скважин должна быть не более 8 м, а глубина герметизации 6 м, что соответствует принятым на шахте параметрам гидрорыхления.

3.4. Исследования на шахте им. А. Ф. Засядько

Исследования заключались в определении величины зоны разгрузки по параметрам акустического сигнала согласно [51] при бурении скважин для гидрорыхления при проведении 9-го западного конвейерного штрека по выбросоопасному пласту ℓ_1 на глубине 996 м. Штрек шириной 5,4 м проводился по простиранию пласта мощностью 1,75 м комбайновым способом. Скважины бурили на расстоянии 1 м от кутков забоя с разворотом их на $5-7^\circ$ в сторону контура выработки.

В процессе бурения каждого полуметрового интервала скважин регистрировали акустические сигналы, обрабатывали их по специальной программе на компьютере и по расстоянию до интервала бурения, на котором регистрировали максимальный градиент снижения амплитуды высокочастотной составляющей спектра сигнала, определяли величину зоны разгрузки призабойной части пласта. В общей сложности выполнено 537 определений зоны разгрузки на протяжении более 800 м подвигания забоя выработки.

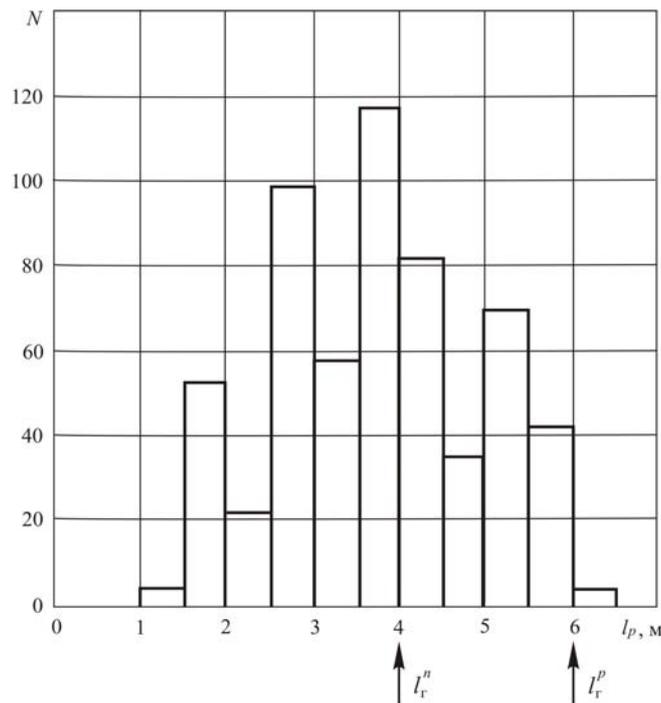


Рис. 3.3. Гистограмма распределения количества определений N зон разгрузки ℓ_p по их величине

Из приведенной на рис. 3.3 гистограммы следует вывод о ее чрезвычайной изменчивости и о том, что наиболее часто средневзвешенная величина разгруженной зоны равна 4 м. Учитывая, что пласт ℓ_1 по мощности, степени метаморфизма угля ($V^{daf} = 31-33\%$), глубине разработки и величине зоны разгрузки подобен пласту h'_6 на шахте им. А. А. Скочинского с

оптимальной глубиной герметизации нагнетательных скважин 6 м и длиной скважин 8 м, такие же параметры приемлемы и для условий данного пласта шахты им. А. Ф. Засядько. Однако до проведения экспериментальных работ на этой шахте была принята глубина герметизации нагнетательных скважин 4 м, обозначенная ℓ_z^n на рис. 3.3. Оказывается, что при этом в 60% циклов нагнетания фильтрующая часть скважин находилась непосредственно в разгруженной зоне или вблизи ее, вследствие чего нагнетание было не только излишним, но и вредным, поскольку дополнительное разупрочнение и гидроразрушение призабойной части пласта неоднократно сопровождалось отжимами и выдавливаниями угля в процессе нагнетания или последующей выемки угля комбайном. Лишь в 40% случаев, когда зона разгрузки не превышала принятую глубину герметизации скважин ℓ_z^n , нагнетание следует считать целесообразным для применения в нормальном режиме гидрорыхления.

Для условий данного шахтопласта при $V^{daf} = 32\%$ согласно расчетам по (3.11), (3.10) и (3.8) $\sigma_{сж} = 8,94$ МПа; $\alpha = 55^\circ$; $\nu = 6,3$; $\lambda = 10,1$. Вычисленные по (3.7) и (3.5) величины φ и K , исходя из мощности пласта $m = 1,75$ м, установленной величины зоны разгрузки $\ell_p = 4$ м, расстояния $\ell_{on} = 8,5$ м и принятых напряжений на этих расстояниях от забоя выработки соответственно $\sigma_{\ell_p} = 6$ МПа и $\sigma_{\ell_{on}} = 2\gamma H = 49,8$ МПа, составляют $\varphi = 0,47$, $K = 0,142$ МПа. Тогда расчетная глубина герметизации скважин согласно (3.12) равна $\ell_z = 6$ м. Если бы эта расчетная глубина герметизации, обозначенная ℓ_z^p на рис. 3.3, была принята для практического применения, то лишь в 8% случаев фильтрующая часть скважин могла оказаться в разгруженной зоне, нагнетание в которой излишне, а в остальных 92% случаев гидрорыхление производилось бы, как и требуется, за зоной разгрузки и не создавало бы опасности возникновения газодинамических явлений. Следовательно, если глубину герметизации скважин принимать исходя из минимальной величины зоны разгрузки, то в большинстве случаев фильтрующая часть скважин оказывается в разгруженной зоне, нагнетание в которой чревато вышеуказанными последствиями. Напротив, если глубину герметизации принимать исходя из максимальной величины зоны разгрузки, встречающейся столь же редко как и минимальная, то в большинстве случаев фильтрующая часть скважин будет располагаться в зоне повышенных напряжений, превышающих практически допустимое давление нагнетания, вследствие чего эффект гидрорыхления, как правило, не достигается. Поэтому глубину герметизации нагнетательных скважин следует определять исходя из средней величины зоны разгрузки, устанавливаемой опытным путем в забое проводимой выработки. Для условий 9-го западного конвей-

ерного штрека пласта ℓ_1 шахты им. А. Ф. Засядько, где экспериментально установленная величина зоны разгрузки составляет в среднем 4 м, оптимальной является глубина герметизации скважин 6 м.

Необходимое количество измерений зоны разгрузки для установления статистически достоверной средней величины можно определить из уравнения зависимости коэффициента Стьюдента t от показателей погрешности измерений и отклонения единичных значений от среднего согласно [55]

$$t = \frac{\sqrt{n} \cdot \delta}{\sigma}, \quad (3.13)$$

где n – количество измерений;
 δ – относительная погрешность измерений;
 σ – среднеквадратическое отклонение измеренных величин от среднего.

Если принять среднюю величину зоны разгрузки для условий проведения 9-го западного конвейерного штрека пласта ℓ_1 шахты им. А. Ф. Засядько равную $\ell_p = 4$ м, а допустимые отклонения единичных значений от среднего не более $\Delta \ell_p = \pm 0,5$ м, что соответствует относительной погрешности $\delta = 0,125$, то задачу можно сформулировать следующим образом: сколько измерений ℓ_p необходимо произвести в забое, чтобы с доверительной вероятностью $P = 0,95$ средние значения не выходили за пределы ($3,5 \text{ м} \leq \ell_p \leq 4,5 \text{ м}$). Поскольку из общей совокупности измерений ($N = 537$) в указанный диапазон величин зоны разгрузки по гистограмме на рис. 3.3 попадает 255 значений, среднеквадратическое отклонение которых составляет $\sigma = 0,37$, а табулированное значение $t(p = 0,95) = 1,96$, то с учетом этих величин согласно (3.13) получим:

$$\sqrt{n} = \frac{1,96 \cdot 0,37}{0,125} = 5,80,$$

откуда $n = 2,4 \approx 2,0$.

Таким образом, для определения глубины герметизации нагнетательных скважин в забое выработки необходимо произвести не менее 2 измерений величин зон разгрузки и по ним определить среднее. С этой целью в подготовительных забоях и в нишах комбайновых лав на пологих пластах должно быть пробурено не менее 2 скважин, располагаемых в кутках, а в прямолинейной части лавы на пологих пластах – по две скважины в нижней, средней и верхней части ее на расстоянии не менее 10 м друг от друга и от ниш. В потолкоуступных лавах на крутых пластах необходимо бурить по 2 скважины в нижнем, среднем и верхнем уступе, одну на расстоянии 1 м от кутка с подъемом $5-7^\circ$ к линии простирания, а другую – в средней части уступа в направлении его подвигания.

3.5. Исследования на шахте «Ясиновская-Глубокая»

Исследования выполнялись при проведении 5-го западного конвейерного штрека по простиранию пласта m_3 на глубине 650 м от поверхности. На участке проведения выработки пласт имеет простое строение. мощность 1,3 м, угол падения 16-18°, газоносность 26 м³/т.с.б.м, выход летучих $V^{daf} = 19,6\%$, марка угля ОС, удельный вес $\gamma_y = 1,55$ т/м³, коэффициент крепости $f = 1,5$ по шкале М. М. Протождяконова. Проектная длина штрека 1600 м. С глубины 450 м пласт отнесен к категории выбросоопасных.

Штрек проходил комбайном 1ГПКС с текущим прогнозом выбросоопасности по начальной скорости газовыделения, а в опасных зонах, установленных прогнозом, с применением гидрорыхления пласта и контролем его эффективности по динамике газовыделения согласно [10,51].

В паспорте проведения и крепления выработки приняты следующие параметры гидрорыхления: диаметр нагнетательных скважин 42-43 мм, длина их 8 м, глубина герметизации 6 м, длина фильтрующей части скважин (неснижаемое опережение) 2 м, минимальное давление нагнетания 12 МПа, количество нагнетаемой воды в одну скважину 3 м³. Схема расположения скважин обычная для подготовительных выработок – по одной на расстоянии не более 1 м от кутков забоя с разворотом их на 5-7° в сторону законтурного массива.

На первом этапе экспериментальных работ в процессе бурения скважин для гидрорыхления определяли величину зоны разгрузки призабойной части пласта по динамике газовыделения. На протяжении 52 м подвигания забоя штрека было произведено 14 определений величины зоны разгрузки, результаты которых приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3. – Результаты определения величины зоны разгрузки ℓ_p в забое 5-го западного конвейерного штрека пласта m_3 на шахте «Ясиновская-Глубокая»

| Дата | № скважин | Начальная скорость газовыделения, л/мин на интервалах бурения скважин, м | | | | | | ℓ_p , м |
|----------|-----------|---|------|------|-------|---------|-------|--------------|
| | | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | |
| 5.11.02 | 1 | сл. | 0,84 | 1,14 | 0,67 | - | - | 2,5 |
| | 2 | 0,49 | 1,88 | 1,48 | - | - | - | 2,0 |
| 19.11.02 | 1 | 0,28 | 1,46 | 2,12 | 3,24 | 1,72 | 1,22 | 3,0 |
| | 2 | 0,40 | 0,76 | 1,54 | 0,88 | - | - | 2,5 |
| 22.11.02 | 1 | сл. | 0,28 | 3,12 | 1,72 | - | - | 2,5 |
| | 2 | 0,34 | 3,50 | 1,40 | - | - | - | 2,0 |
| 25.11.02 | 1 | 0,49 | 0,83 | 4,40 | 1,48 | - | - | 2,5 |
| | 2 | сл. | 0,76 | 2,12 | 11,82 | 7,61 | - | 3,0 |
| 5.12.02 | 1 | 0,28 | 1,34 | 0,96 | - | - | - | 2,0 |
| | 2 | 0,76 | 1,72 | 0,88 | - | - | - | 2,0 |
| 11.12.02 | 1 | 0 | 0,34 | 6,20 | 4,50 | - | - | 2,5 |
| | 2 | сл. | 0,94 | 1,54 | 3,12 | 1,72 | - | 3,0 |
| 19.12.02 | 1 | 0,34 | 1,18 | 1,97 | 4,17 | 2,75 | 10,42 | 3,0 |
| | 2 | сл. | 0,88 | 2,12 | 1,54 | 1,14 | - | 2,5 |
| | | | | | | Среднее | | 2,5 |

Как видно из этой таблицы, величина зоны разгрузки изменяется сравнительно в небольших пределах (2-3 м) и в среднем составляет 2,5 м. Выбор оптимальной для этих условий глубины герметизации нагнетательных скважин производился, как и для предыдущих объектов исследований, исходя из распределения напряжений в призабойной части пласта, определяемых аналитически по приведенным в 3.2 формулам (3.5) – (3.11).

Согласно расчетам по (3.11), (3.10) и (3.8) при $V^{daf} = 19,6\%$ для условий данного шахтопласта $\alpha = 54^\circ$; $\nu = 6,2$; $\lambda = 9,5$. Затем производился расчет напряжений σ на заданных расстояниях ℓ от забоя выработки согласно уравнению (3.5). Учитывая что, аналогично графикам на рисунках 3.1 и 3.2, напряжения в максимуме опорного давления σ_{on} и у границы зоны разгрузки σ_p находятся на одной и той же восходящей ветви эпюры распределения напряжений, описываемой уравнением (3.5), неизвестные для этого шахтопласта параметры уравнения K и φ определялись путем совместного решения системы двух однотипных уравнений, в одно из которых подставлялись численные значения координат максимума опорного давления $\sigma_{on} = 2\gamma H = 32,4$ МПа и $\ell_{on} = 6,5$ м, а в другое – границы зоны разгрузки $\sigma_p = 6$ МПа, $\ell_p = 2,5$ м при глубине ведения горных работ $H = 650$ м, мощности пласта $m = 1,3$ м и соответствующих величинах ν и λ . Согласно расчету $K = 0,247$ МПа и $\varphi = 0,55$. С учетом этих параметров вычислялись напряжения σ_1 на заданных расстояниях ℓ от забоя согласно (3.5), график изменения которых показан на рис. 3.4.

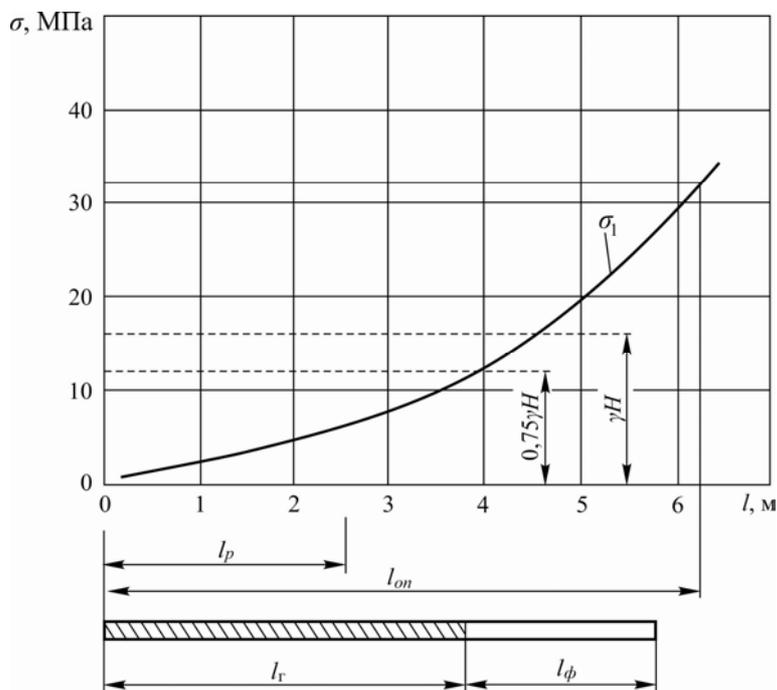


Рис. 3.4. График изменения напряжений σ от расстояния ℓ впереди забоя 5-го западного конвейерного штрека пласта m_3 шахты «Ясиновская-Глубокая»

Исходя из условий (3.1) и (3.2), оптимальная глубина герметизации нагнетательных скважин по фактору напряжений согласно расчету по (3.12) равна 4 м, а длину фильтрующей части их можно принять $\ell_\phi = 2$ м, ограничив тем самым полную длину скважин величиной 6 м. При этом напряжения в области расположения фильтрующей части скважин не будут превышать предельно допустимое давление нагнетания.

3.6. Анализ и обобщение результатов исследований

На основании приведенного в [67] анализа горно-экспериментальных и аналитических исследований определены величины зоны разгрузки ℓ_p призабойной части угольных пластов, оптимальной по фактору напряжений глубины герметизации ℓ_z нагнетательных скважин для гидрорыхления, сопротивления угля сдвигу K , коэффициента трения f угля по породам почвы и кровли и комплексного показателя φ с учетом фактических глубин ведения горных работ H , мощности пластов m и выхода летучих веществ V^{daf} , указанные в сводной таблице 3.4.

Поскольку область перераспределения напряжений и величина их впереди забоев горных выработок (см. рис. 3.1 – 3.4) зависит, как следует из выражений (3.5), (3.6), (3.7), (3.10) и (3.11), от горно-геологических факторов (H, m, V^{daf}) и физико-механических свойств угольных пластов (K, f, φ), а зона разгрузки является частью этой области, ограниченной определенным уровнем напряжений, то научный и практический интерес представляет установление тесноты и формы связи ℓ_p с каждым из указанных в табл. 3.4 показателей методом парной корреляции и получение соответствующих уравнений регрессии согласно [56].

Таблица 3.4. – Сводная таблица результатов исследований

| Шахта | Пласт | Выработка | H , м | m , м | V^{daf} , % | ℓ_p , м | ℓ_z , м | K , МПа | f | φ , м ⁻¹ | $\sigma_{с.ж}$ |
|--------------------|-------|--|------------|------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------|------|--------------------------------|----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| им. В. М. Бажанова | m_3 | Нижние ниши 7-й восточной и 2-й центр. лав, конв. ходок зап. крыла | 1080 | 1,8 | 25,0 | 2,3 | 3,0 | 0,168 | 0,08 | 0,84 | 7,9 |

Продолжение табл. 3.4

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------|---------------------------|------|------|------|-----|-----|-------|------|------|-----|
| им. А. А. Скочинского | h'_6 | 1-я запад. лава УПЦП | 1220 | 1,7 | 32,0 | 4,0 | 6,0 | 0,104 | 0,05 | 0,59 | 8,9 |
| им. А. Ф. Засядько | ℓ_1 | 9-й запад. конв. штрек | 996 | 1,75 | 31,5 | 4,0 | 6,0 | 0,142 | 0,04 | 0,47 | 8,8 |
| «Ясиновская-Глубокая» | m_3 | 5-й запад. конв. штрек | 650 | 1,3 | 19,6 | 2,5 | 4,0 | 0,247 | 0,04 | 0,55 | 8,4 |

Поскольку область перераспределения напряжений и величина их впереди забоев горных выработок (см. рис. 3.1-3.4) зависит, как следует из выражений (3.5), (3.6), (3.7), (3.10) и (3.11), от горно-геологических факторов (H, m, V^{daf}) и физико-механических свойств угольных пластов (K, f, φ), а зона разгрузки является частью этой области, ограниченной определенным уровнем напряжений, то научный и практический интерес представляет установление тесноты и формы связи ℓ_p с каждым из указанных в табл. 3.4 показателей методом парной корреляции и получение соответствующих уравнений регрессии согласно [56].

На рис. 3.5 приведены графики зависимости ℓ_p как функции $H, m, V^{daf}, K, f, \varphi$, удовлетворительно описывающиеся следующими уравнениями регрессии согласно принятым обозначениям:

а)

$$\ell_p(H) = 2956H^{-1,3} \cdot e^{0,0021H} \quad (3.14)$$

при $\eta = 0,58 \pm 0,03$; $HA = 21,3 > 3$;

б)

$$\ell_p(m) = 6.07m^{2.019} \cdot e^{-1,03m} \quad (3.15)$$

при $\eta = 0,80 \pm 0,01$; $HA = 53,3 > 3$;

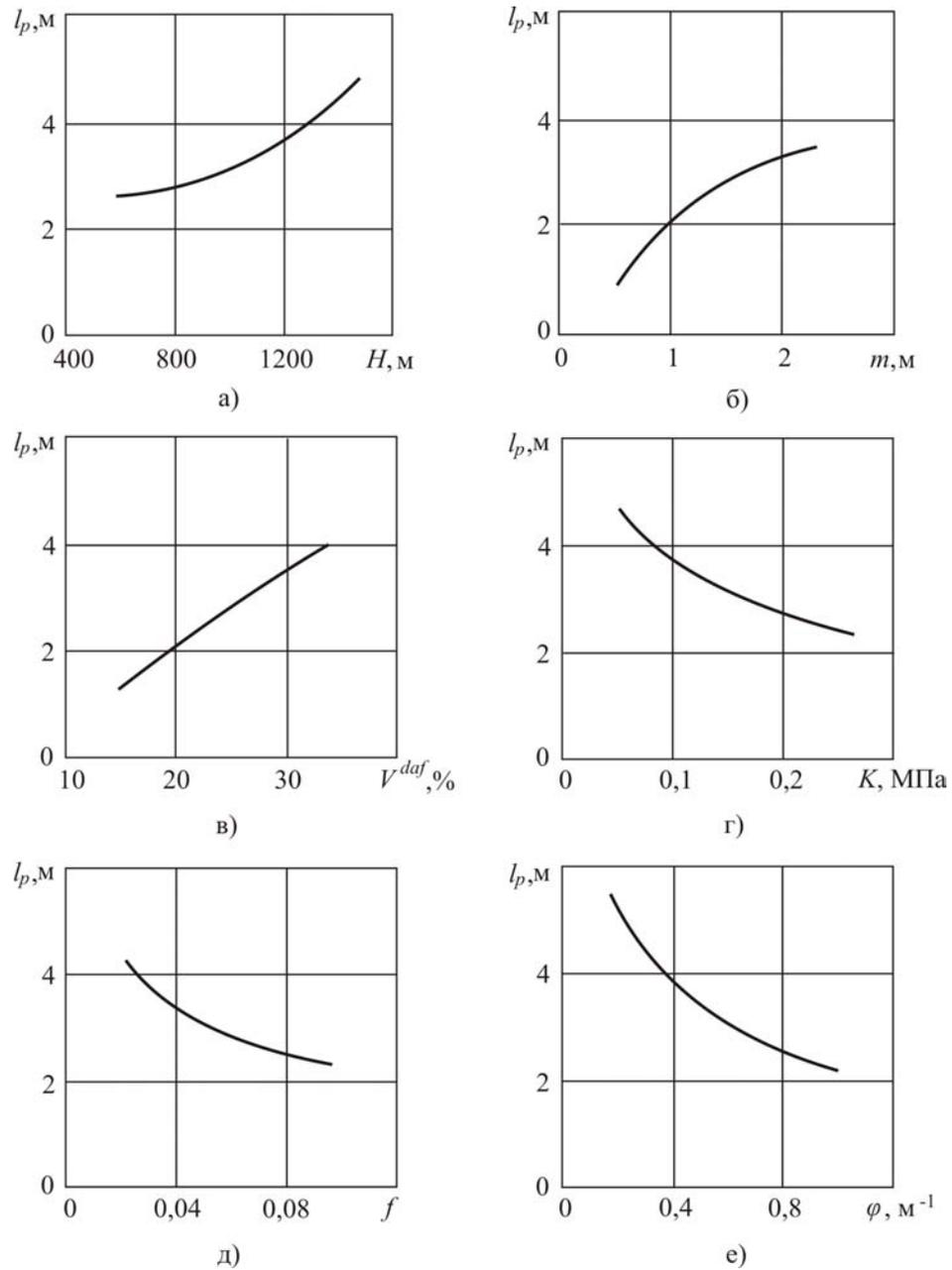


Рис. 3.5. Графики зависимости величины зоны разгрузки l_p от глубины разработки H (а), мощности пласта m (б), выхода летучих V^{daf} (в), сопротивления сдвигу K (г), коэффициента трения f (д) и показателя φ (е)

в)

$$l_p(V^{daf}) = 0,0046(V^{daf})^{2,33} \cdot e^{-0,043V^{daf}} \quad (3.16)$$

при $\eta = 0,96 \pm 0,03$; $HA = 24,7 > 3$;

г)

$$l_p(K) = 2,66K^{-0,22} \cdot e^{-1,78K} \quad (3.17)$$

при $\eta = 0,91 \pm 0,01$; $HA = 126,4 > 3$;

д)

$$\ell_p(f) = 0,767 f^{-0,46} \cdot e^{-0,074 f} \quad (3.18)$$

при $\eta = 0,80 \pm 0,01$; $HA = 52,3 > 3$;

е)

$$\ell_p(\varphi) = 4,27 \varphi^{-0,21} \cdot e^{-0,75 \varphi} \quad (3.19)$$

при $\eta = 0,88 \pm 0,01$; $HA = 92,2 > 3$,

где η – корреляционное отношение;

HA – надежность связи.

Достаточно высокие показатели тесноты и надежности связи (η, HA) между коррелируемыми величинами (при $\eta > 0,5$ и $HA > 3$) свидетельствуют о существенном влиянии горно-геологических факторов и физико-механических свойств угольных пластов на величину зоны разгрузки.

Из приведенных на рис. 3.5 графиков видно, что различные по физической сущности влияющие факторы оказывают противоположное воздействие на изменение величины зоны разгрузки. Так, с возрастанием глубины ведения горных работ и напряжений от действия сил горного давления, увеличивается и зона разгрузки призабойной части пласта.

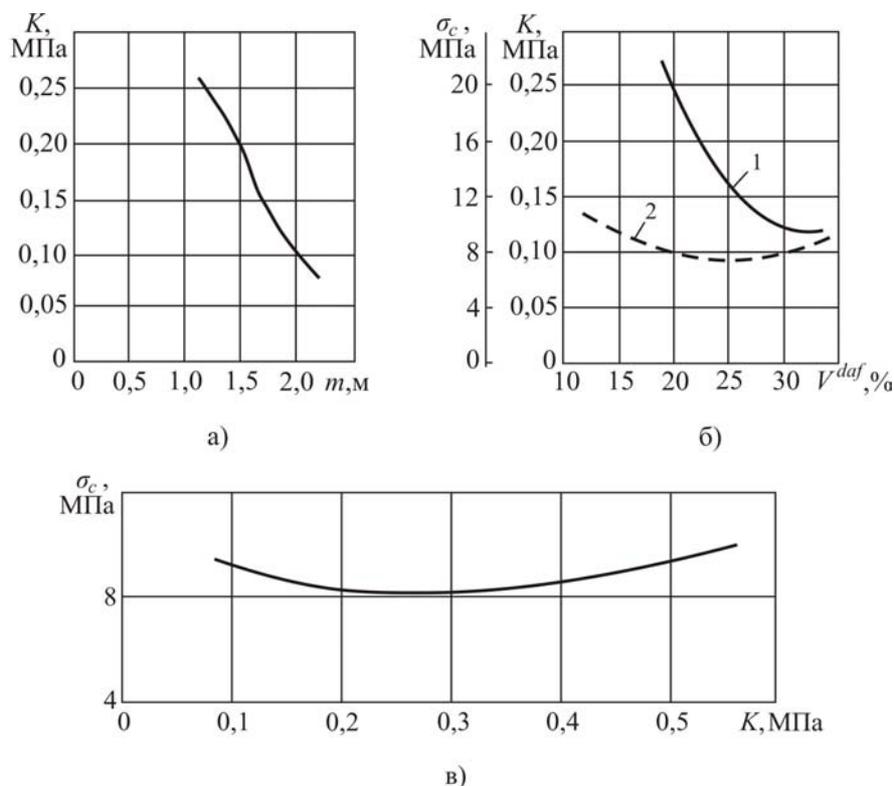


Рис. 3.6. Графики зависимости:

а) сопротивления угля сдвигу K от мощности пласта m б) сопротивления угля сдвигу

K (1) и прочности его на сжатие σ_c (2) от выхода летучих V^{daf} ;

в) прочности угля на сжатие σ_c от сопротивления сдвигу K .

С увеличением мощности пластов величина зоны разгрузки также возрастает, поскольку при этом снижается сопротивление угля сдвигу K , что видно из приведенного на рис. 3.6а графика зависимости K от m , полученной по данным табл. 3.4 и описывающейся уравнением регрессии

$$K(m) = 1,8m^{1,05} \cdot e^{-1,8m} \quad (3.20)$$

при $\eta = 0,96 \pm 0,03$; $HA = 318,3 > 3$.

С повышением V^{daf} зона разгрузки увеличивается вследствие того, что согласно [53] и расчетам по формуле (3.11) с ростом этого показателя степени метаморфизма угля снижается прочность его на сжатие σ_c , а по данным табл. 3.4 и сопротивление угля сдвигу K , как показано на рис. 3.6 б, что способствует возрастанию деформаций смещения (сдвига) в сторону забоя выработки и увеличению зоны разгрузки призабойной части пласта. Связь между величинами K и σ_c показана графиком на рис. 3.6 в и описывается корреляционным уравнением

$$\sigma_c(K) = 3,16K^{-0,39} \cdot e^{1,6K} \quad (3.21)$$

при $\eta = 0,96 \pm 0,03$; $HA = 301,8 > 3$.

Возрастание сопротивления угля сдвигу K , коэффициента трения f и производного показателя φ , напротив, препятствует развитию деформаций смещения в сторону забоя выработки и тем самым уменьшает величину зоны разгрузки призабойной части пласта.

Таким образом, как показали исследования, величина зоны разгрузки весьма существенно зависит от многих факторов, влияющих на протекание геомеханических процессов в районе горных выработок, и является интегральным показателем напряженно-деформированного состояния призабойной части пласта. Поскольку величина этой зоны определяется с достаточной для практики точностью и надежностью нормативными способами, а глубина герметизации нагнетательных скважин для гидрорыхления пластов должна быть согласно условию (3.1) больше разгруженной зоны, то по приведенным в табл. 3.4 данным получена корреляционная зависимость глубины герметизации скважин ℓ_z от величины зоны разгрузки ℓ_p

$$\ell_z = 1,5\ell_p^{1,24} \cdot e^{-0,08\ell_p} \quad (3.22)$$

при $\eta = 0,82 \pm 0,01$; $HA = 60,1 > 3$.

Исходя из того, что отношение вычисленных по (3.22) величин ℓ_z к исходным значениям ℓ_p колеблется в небольших пределах (1,52...1,53), с достаточной для практики точностью глубина герметизации скважин может определяться по упрощенной и более приемлемой для инженерных расчетов формуле

$$\ell_z = 1,5 \ell_p. \quad (3.23)$$

При этом среднеквадратическое отклонение величин ℓ_z от вычисленных по (3.22) не превышает 0,11 м (5%), что вполне допустимо и позволяет рекомендовать выражение (3.23) для практического применения.

Из анализа показанных на рис. 3.1, 3.2 и 3.4 графиков изменения напряжений и величин их в пределах длины фильтрующей части нагнетательных скважин с учетом условия (3.2) оптимального расположения этих участков скважин по фактору напряжений следует, что для выполнения этого условия длина фильтрующей части скважин ℓ_ϕ должна приниматься, исходя из глубины их герметизации. Так, если $\ell_z > 3$ м, то при $\ell_\phi = 2$ м напряжения в пределах длины этого участка скважин будут соответствовать указанному условию и составят $(0,75...1,0)\gamma H$. Если $\ell_z = 3$ м, то это условие выполняется лишь при $\ell_\phi = 1$ м. Если же $\ell_z < 3$ м, то фильтрующая часть скважин длиной даже менее 1 м будет располагаться в области повышенных напряжений, превышающих γH , внедрение в которую при бурении скважин или нагнетание в них воды сопряжено с опасностью возникновения газодинамических явлений, а поэтому применение гидрорыхления в таких условиях не может быть рекомендовано.

Выводы по разделу:

1. Величина зоны разгрузки призабойной части угольного пласта является многофакторной функцией горно-геологических и физико-механических характеристик, прямо пропорциональной глубине ведения горных работ, мощности пласта, выходу летучих веществ и обратно пропорциональной сопротивлению угля сдвигу и коэффициенту трения его по породам почвы и кровли, которая характеризует напряженно-деформированное состояние пласта впереди забоя проводимой выработки и может использоваться в качестве критерия оптимизации параметров нагнетательных скважин для гидрорыхления.

2. На основании установленных экспериментально-аналитическим путем закономерностей изменения напряжений и величин зоны разгрузки

пластов впереди забоев горных выработок и учета давления нагнетания воды, минимально необходимого для осуществления гидрорыхления и предельно допустимого по техническим характеристикам применяемых насосных установок, определены граничные условия оптимизации параметров нагнетательных скважин, согласно которым глубина герметизации этих скважин должна быть больше величины зоны разгрузки, но меньше расстояния до максимума опорного давления с тем, чтобы напряжения в пределах длины фильтрующей части скважин достигали величины $0,75 \mu H$, соответствующей минимально необходимому давлению нагнетания, но не превышали $1 \mu H$.

3. Установлена корреляционная зависимость глубины герметизации нагнетательных скважин от величины зоны разгрузки с достаточно высокими показателями тесноты и надежности связи между ними, приемлемая для расчета глубины герметизации, равной полуторной величине зоны разгрузки, определяемой одним из нормативных способов (по динамике газовыделения или по параметрам акустических сигналов при поинтервальном бурении скважин) как среднее не менее чем по двум замерам ее в забое выработки.

4. Длина фильтрующей части нагнетательных скважин, при которой обеспечивается условие оптимального расположения ее по фактору напряжений, должна быть не более 2 м, если расчетная глубина их герметизации составляет не менее 3 м, но не более 1 м, если глубина герметизации не превышает 3 м, а если глубина герметизации менее 3 м, то применение гидрорыхления не рекомендуется, поскольку фильтрующая часть скважин будет располагаться в зоне повышенных напряжений и поэтому в процессе бурения или нагнетания воды могут происходить газодинамические явления.

РАЗДЕЛ 4

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОРЫХЛЕНИЯ

4.1. Определение граничных значений давления нагнетания

Своеобразие процесса гидорыхления состоит в том, что он может происходить лишь на ограниченном участке пласта впереди забоя выработки между зоной разгрузки и опорного давления, где напряжения не более чем в «нетронутом» массиве (γH) и не превышают предельно допустимое давление нагнетания воды, создаваемое насосной установкой. Согласно [10] давление нагнетания при гидорыхлении должно приниматься в зависимости от глубины ведения горных работ H и удельного веса вышележащей породной толщи γ , численно равным $P_n = (0,75...2,0)\gamma H$.

Проанализируем возможность создания давления нагнетания в этом диапазоне величин в зависимости от глубины ведения горных работ. На рис. 4.1 приведены графики изменения давления нагнетания P_n от H при $\gamma = 2,5 \text{ г/см}^3$ в соответствии с величинами $0,75\gamma H$, $1,0\gamma H$ и $2,0\gamma H$. Здесь же показан предельно допустимый уровень давления 32 МПа, создаваемого современными насосными установками типа УНГ, СНТ 32 и др., применяемыми для нагнетания воды в угольные пласты согласно [52].

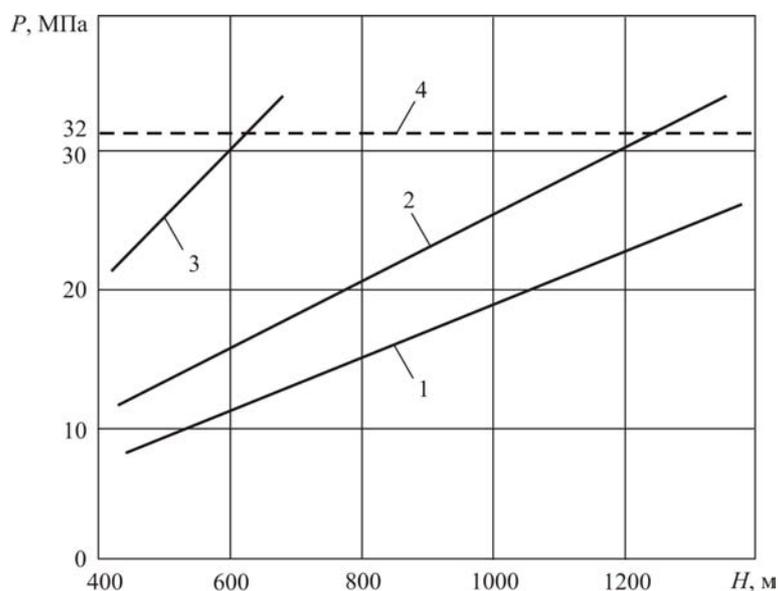


Рис. 4.1. Графики изменения необходимого для гидорыхления пластов давления нагнетания воды P_n в зависимости от глубины их разработки H :

$$1 - P_n = 0,75\gamma H ; 2 - P_n = \gamma H ; 3 - P_n = 2\gamma H ; 4 - P_n = 32 \text{ МПа}$$

(предельно допустимое по технической характеристике насосной установки)

Как видно из этого рисунка, минимально необходимое давление нагнетания для гидрорыхления пластов, равное $0,75 \gamma H$, на достигнутых глубинах разработки 1200 м остается меньше максимально допустимого по техническим характеристикам насосных установок и, следовательно, может обеспечиваться на глубинах до 1700 м. Возможность же создания давления, равного $1,0 \gamma H$, ограничивается глубиной разработки около 1300 м, а равного $2 \gamma H$ – практически исчерпана уже на глубинах свыше 600 м.

Таким образом, диапазон реально достигаемых величин давления нагнетания, при которых может происходить процесс гидрорыхления на современных и ожидаемых в ближайшем будущем глубинах разработки выбороопасных пластов, составляет

$$P_n = (0,75 \dots 1,0) \gamma H \quad (4.1)$$

и рекомендуется для практических расчетов [67]. Применение насосных установок с более высоким напором, типа ЕНРЗК зарубежного производства (фирма «ХАУХИНКО», Германия), развивающих давление до 45 МПа и производительность до 170 л/мин, не следует рассматривать как перспективу возможности выполнения гидрорыхления в зонах повышенных (более γH) напряжений, поскольку, как показывает опыт работы на шахте им. А. Ф. Засядько, при расположении фильтрующей части нагнетательных скважин вблизи таких зон неоднократно происходили внезапные выдавливания угля в забое выработки, создающие опасность травматизма работающих. Поэтому для осуществления гидрорыхления без газодинамических давлений должны соблюдаться условия выбора оптимальной глубины герметизации нагнетательных скважин по фактору напряжений в пределах длины фильтрующей части их и соответствующей этим условиям насосной установки, обеспечивающей поступление воды в пласт в рекомендуемом диапазоне давления нагнетания.

Согласно существующей технологии гидрорыхления нагнетание воды в скважины начинают плавным повышением в течение 2...3 мин. давления до величины $0,75 \gamma H$ с помощью запорно-регулирующего устройства (вентиль), установленного на высоконапорной стороне насосной установки. Динамика изменения давления нагнетания P_n и количества поступающей в пласт воды Q во времени t схематически показана на рис. 4.2. В течение времени t_1 происходит заполнение водой высоконапорной магистрали, фильтрующей части скважины и существующей вокруг нее системы трещин в пласте. За это время давление нагнетания повышается до величины $0,75 \gamma H$ при количестве закачанной в скважину воды Q_1 .

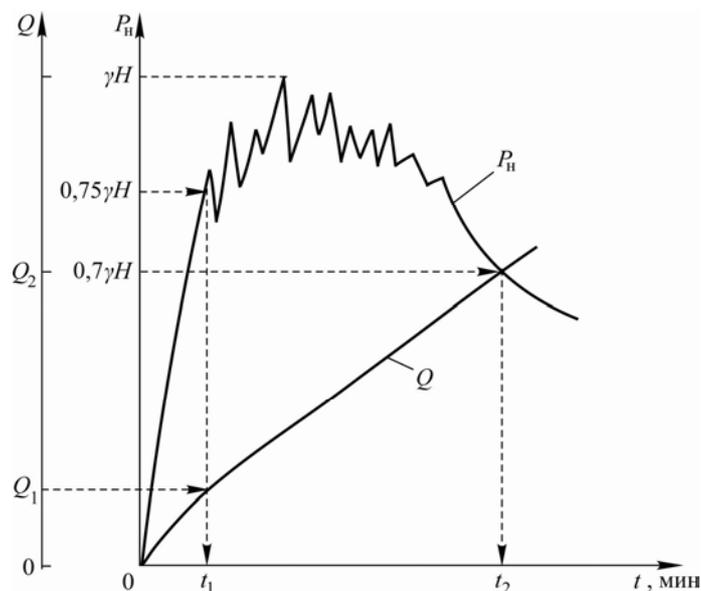


Рис. 4.2. Динамика изменения давления нагнетания P_n и количества воды Q во времени t при гидрорыхлении

С момента времени t_1 начинается активный процесс гидрорыхления, сопровождающийся образованием и прорастанием трещин под действием нагнетаемой воды. В силу скачкообразного характера увеличения объема трещин давление нагнетания также изменяется скачкообразно и временно может превышать величину $0,75\gamma H$, а количество поступающей в пласт воды монотонно возрастает. По мере развития образующихся трещин и соединения их с существующей системой трещин в разгруженной призабойной части пласта давление нагнетания начинает снижаться и ко времени t_2 уменьшается на 30% от максимального, достигнутого в процессе нагнетания, что является нормативным согласно [10, 51] признаком завершения активного процесса гидрорыхления, а количество поступившей к этому времени в пласт воды Q_2 – оптимальным для завершения этого процесса. Как показывает практика и приведенный в [57] анализ, продолжение нагнетания после этого становится нецелесообразным, поскольку вода начинает просачиваться в забой выработки по трещинам в пласте не производя работу гидрорыхления.

Таким образом, необходимое для завершения процесса гидрорыхления количество закачиваемой в пласт воды должно быть сбалансировано по времени с падением давления нагнетания не менее чем на 30% от максимального при осуществлении этого процесса.

Как следует из анализа динамики изменения характеристик процесса гидрорыхления на рис. 4.2, необходимое количество воды предопределяется водопроницаемостью пласта, зависящей от объемов его трещиноватости, существовавшей до гидрорыхления и образовавшейся в результате

гидрорыхления, определить которые в реальных условиях не представляется возможным. На практике необходимое количество воды для нагнетания в одну скважину определяют по формуле (3.4), в которой существенно влияющим параметром при прочих равных условиях является удельный расход воды q на 1 т угля в радиусе эффективного действия гидрорыхления, характеризующий водопроницаемость пласта, но принимаемый во всех случаях согласно [10, 51] не менее 20 л/т. Поэтому, как отмечено в [57], расчетное по (3.4) количество воды зачастую оказывается избыточным либо недостаточным для гидрорыхления и лишь в редких случаях сбалансированным по времени с вышеуказанным падением давления нагнетания. При низком давлении процесс гидрорыхления считается завершенным и нагнетание можно прекратить. В этой связи реально возможным остается лишь эмпирический способ определения фактического в конкретных условиях удельного расхода воды путем проведения опытных нагнетаний с регистрацией количества закачанной в пласт воды к моменту завершения процесса гидрорыхления.

Опытные нагнетания должны проводиться в скважины после установления оптимальной глубины герметизации, число и схемы расположения которых аналогичны указанным в подразделе 3.4. В процессе нагнетания через каждые 3...5 мин регистрируют показания, установленных на насосе манометра и счетчика-расходомера воды, потом определяют количество закачанной в скважину воды к моменту снижения давления не менее чем на 30% от максимального. По суммарному количеству воды, поступившей в пласт через все скважины в забое, вычисляют среднее количество ее на одну скважину \bar{Q} и рассчитывают удельный расход q по формуле:

$$q = \frac{625\bar{Q}}{\ell_z \cdot \ell_c \cdot m \cdot \gamma_y}, \quad (4.2)$$

преобразованной из выражения (3.4), где ℓ_c – длина скважины.

Опытные нагнетания по определению удельного расхода и необходимого количества воды на одну скважину проводились в 1-й западной лаве УПЦП пласта h_6' на шахте им. А. А. Скочинского [64]. При средней по лаве глубине разработки $H = 1220$ м расчетное минимально необходимое давление нагнетания, равное согласно (4.1) $0,75 \gamma H$, составляет 22,9 МПа, а максимальное достигало иногда 32 МПа. В отдельных случаях давление было меньше $0,75 \gamma H$ и не превышало 17...18 МПа, что не является нарушением параметров нагнетания и обусловлено локальным увеличением естественной зоны разгрузки призабойной части пласта в месте расположения нагнетательной скважины. На таких участках лавы количество поступившей в пласт воды к моменту падения давления нагнетания на 30% и более от мак-

симального было заметно больше вследствие повышенной трещиноватости пласта и его водопроницаемости. При мощности пласта $m = 1,65$ м, длине скважин $\ell_c = 8$ м и глубине их герметизации $\ell_z = 6$ м количество поступившей в пласт воды к моменту падения давления на указанную величину колебалось от $0,89 \text{ м}^3$ до $2,1 \text{ м}^3$ на одну скважину, а в среднем составляло $1,55 \text{ м}^3$. Тогда согласно расчету по (4.2) удельный расход воды $q = 10$ л/т, что в 2 раза меньше принимаемого с избытком для этих условий согласно [10].

Исходя из установленного таким образом фактического удельного расхода воды, необходимое количество ее для нагнетания в каждую скважину является оптимальным и сбалансированным по времени с падением давления нагнетания, свидетельствующим о завершении процесса гидрорыхления. Результаты исследований по разработке и совершенствованию параметров гидрорыхления опубликованы в научных трудах, а способ определения этих параметров защищен патентом Украины [63].

Установленные параметры гидрорыхления в выработке конкретного шахтопласта могут применяться в других выработках этого шахтопласта, если горно-геологические и горнотехнические условия ведения горных работ в них аналогичны, за исключением удельного расхода воды, который зависит от многих недетерминированных факторов и должен определяться опытным нагнетанием индивидуально для каждой выработки.

4.2. Влияние глубины герметизации скважин на продолжительность процесса гидрорыхления

Продолжительность активного процесса гидрорыхления определяется периодом времени от начала нагнетания воды в скважину до момента регистрации показателей, свидетельствующих о завершении этого процесса. Согласно [10] гидрорыхление считается законченным, если в скважину подано расчетное количество воды и давление нагнетания снизилось не менее, чем на 30% от максимального в процессе нагнетания. Падение давления нагнетания, как правило, предшествует началу водоистечения из пласта, которое хотя и не является однозначным признаком завершения процесса гидрорыхления, но во всех случаях свидетельствует о нецелесообразности продолжения нагнетания. Тем не менее, на шахтах во избежание нарушений нормативного требования нагнетание продолжают до подачи в скважину расчетного количества воды, даже если это излишне, а, следовательно, фактическая продолжительность нагнетания не всегда соответствует реальной длительности процесса гидрорыхления.

Более надежно продолжительность этого процесса определяется по реакции массива на гидровоздействие, контролируемой согласно [51] по параметрам акустических сигналов, возбуждаемых нагнетанием воды для гидрорыхления угольного пласта. Активный процесс гидрорыхления счи-

тается завершенным, если после достижения максимальной величины амплитуды низкочастотной составляющей спектра акустического сигнала происходит снижение ее и частота, соответствующая максимальной амплитуде спектра, не превышает 120 Гц или коэффициент ее вариации составляет более 15%. Определяя таким способом продолжительность активного процесса гидрорыхления t при различных соотношениях глубины герметизации нагнетательных скважин l_{Γ} и величины зоны разгрузки l_p , можно установить зависимость продолжительности этого процесса от указанного соотношения, характеризующего местоположение фильтрующей части скважин относительно границы зоны разгрузки:

$$t = f\left(\frac{l_{\Gamma}}{l_p}\right) \quad (4.3)$$

Исследования по установлению такой зависимости проводились при проведении 9-го западного конвейерного штрека по выбросоопасному пласту l_1 на шахте им. А. Ф. Засядько [65].

В процессе бурения нагнетательных скважин определяли величину зоны разгрузки, а при нагнетании воды непрерывно контролировали процесс гидрорыхления по параметрам акустических сигналов, определяемых с помощью компьютера, и фиксировали продолжительность этого процесса во времени t до его завершения. В общей сложности выполнено 549 циклов таких наблюдений на протяжении 820 м подвигания забоя выработки. Поскольку глубина герметизации скважин была постоянной и составляла $l_{\Gamma} = 4$ м, а величина зоны разгрузки l_p изменялась от 1 до 7 м, то соотношение l_{Γ}/l_p принимало значения соответственно от 4,0 до 0,6. Совершенно очевидно, что в тех случаях, когда l_{Γ}/l_p не превышает 1, то есть при ($0,6 < l_{\Gamma}/l_p \leq 1,0$), фильтрующая часть скважин оказывалась в разгруженной зоне, а при ($1,0 < l_{\Gamma}/l_p \leq 4,0$) – за ее пределами. В табл. 4.1 приведены величины зоны разгрузки, кратные 0,5 м, количество значений n каждой из них, величины соотношений l_{Γ}/l_p и средней продолжительности t процесса гидрорыхления.

Таблица 4.1. – Результаты наблюдений за продолжительностью процесса гидрорыхления t при различных соотношениях l_{Γ}/l_p

| | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|-----|-----|-----|------|-----|------|------|------|---------|---------|
| $l_p, \text{ м}$ | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5-6,0 | 6,5-7,0 |
| n | 9 | 3 | 49 | 13 | 97 | 51 | 111 | 78 | 31 | 70 | 41 |
| l_{Γ}/l_p | 4,0 | 2,7 | 2,0 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 |
| $t, \text{ мин}$ | 17,5 | 8,0 | 9,6 | 6,3 | 11,0 | 8,3 | 19,3 | 12,6 | 19,3 | 16,8 | 29,2 |

На основании корреляционного анализа зависимости (4.3) при численных значениях входящих в нее величин, приведенных в табл. 4.1, по различным видам связи между ними согласно [15] получено уравнение регрессии, наилучшим образом описывающее эту зависимость

$$t = 1,63(\ell_r / \ell_p)^{-3,45} e^{1,86(\ell_r / \ell_p)} \quad (4.4)$$

при $\eta = 0,94 \pm 0,005$; $HA = 189,9 \gg 3$.

График этой зависимости приведен на рис. 4.3, из которого следует, что продолжительность гидрорыхления минимальная при отмеченном стрелкой соотношении $\ell_r / \ell_p = 1,5$, аналогичном выражению (3.23) для определения оптимальной глубины герметизации нагнетательных скважин. С увеличением этого соотношения ($\ell_r / \ell_p > 1,5$), а, следовательно, входом фильтрующей части скважины в область более высоких напряжений, затрудняющих поступление воды в пласт, продолжительность нагнетания t до завершения процесса гидрорыхления возрастает. Еще больше возрастает это время с уменьшением соотношения ($\ell_r / \ell_p < 1,5$), свидетельствующего о расположении фильтрующей части скважины в зоне разгрузки призабойной части пласта. Действие нагнетаемой в эту зону воды, изливающейся затем в выработку, сводится, по сути, к гидровывыванию угля, равнозначному выемке. При этом также происходит перераспределение напряжений, но результат достигается в течение более длительного времени.

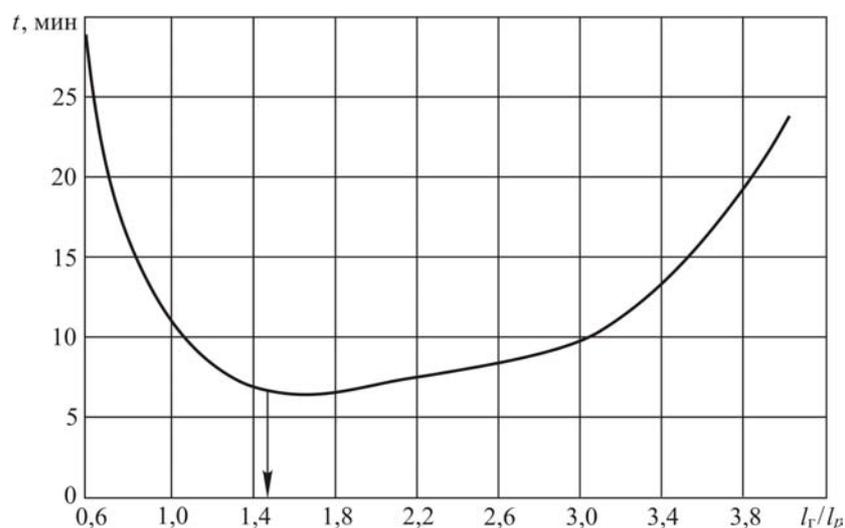


Рис. 4.3. Изменение продолжительности t нагнетания воды до завершения процесса гидрорыхления в зависимости от соотношения ℓ_r / ℓ_p

Таким образом, определяемая по (3.23) глубина герметизации скважин является оптимальной для достижения эффекта гидрорыхления по факторам напряжений в месте расположения фильтрующей части скважины, давления нагнетания и продолжительности его выполнения.

4.3. Влияние поверхностно-активных веществ (ПАВ) на процесс гидрорыхления

Исследования влияния растворов ПАВ на процесс гидрорыхления угольного пласта проводились в том же 9-м западном конвейерном штреке пласта ℓ_1 шахты им. А. Ф. Засядько на протяжении 110 м подвигания забоя. В качестве добавки ПАВ к воде применялся 0,2% раствор сульфоната НП-3. Изменение содержания влаги в пласте оценивалось по пробам угля, отбираемым при бурении скважин до и после гидрорыхления с чистой водой и с добавками ПАВ. Наряду с этим регистрировалось давление нагнетания, продолжительность процесса гидрорыхления до его завершения и количество поданной к этому времени воды или раствора в скважину. В общей сложности выполнено 10 определений естественной влажности угля до гидрообработки пласта, 26 после гидрорыхления чистой водой и 24 с применением ПАВ.

Установлено, что при естественной влажности угля 0,8% после гидрорыхления чистой водой влажность составляла 0,97-1,07%, а с добавкой ПАВ 1,52-1,55%, т.е. увеличилась почти в 1,5 раза. Максимальное давление нагнетания с добавками ПАВ было меньше в среднем на 10-15%, чем при нагнетании чистой воды, что обусловлено, по-видимому, проникновением раствора в более мелкие поры и трещины. Во столько же раз увеличивалось и количество воды с добавками ПАВ, подаваемой в скважины к моменту завершения гидрорыхления, но существенных изменений продолжительности этого процесса не наблюдалось, хотя в отдельных случаях он завершался на 20-30% раньше, чем при нагнетании чистой воды.

Исследования по оценке влияния увлажнения с поверхностно-активными веществами (ПАВ) на изменение физико-механических свойств угля были проведены в лаборатории ИГТМ НАН Украины. Лабораторные исследования по определению оптимальных концентраций растворов ПАВ на изменение физико-механических свойств угля при его увлажнении проводились с учетом требований общих методических положений горной геомеханики [2, 3, 6]. Для проведения на данном этапе исследований лабораторных экспериментов изготавливались угольные образцы в виде кубиков 30×30×30 мм и «балочек» – 30×30×140 мм. Количество изготавливаемых угольных образцов для каждого вида испытаний определялось с учетом необходимых показателей надежности, коэффициента вариаций и относительной погрешности, согласно методике, изложенной в работе [56].

Увлажнение угольных образцов при проведении экспериментов осуществлялось растворами поверхностно-активных веществ, изготовленных на шахтной воде. Эффективность увлажнения устанавливается

для следующих растворов ПАВ: полиакриламида (ПАА); полиэтиленгликолевого эфира дитретбутилфенола (ДБ); смеси ПАА и ДБ. При экспериментах производилось изменение концентрации растворов ПАВ. Давление и время пропитки составляли, соответственно – 11 МПа и 40 мин.

Влагонасыщение образцов определялось путем их гидростатического взвешивания до и после увлажнения с точностью 0,001 г. Сущность методики взвешивания сводилась к следующему. На аналитических весах определялся вес сухого образца. Затем образец подвешивался к коромыслу весов, под которым устанавливался сосуд с исследуемым раствором. Образец опускался в раствор и определялся его вес в жидкости. После пропитки угольного образца в исследуемом режиме снова определялся его вес в жидкости. Вес впитанной жидкости ΔP определяется как разность между конечным и начальным весом образца в жидкости, т.е.:

$$\Delta P = P_K - P_H, \quad (4.5)$$

где P_H – начальный вес образца в жидкости; P_K – конечный вес образца в жидкости.

Тогда влагонасыщение образца может быть определено по следующей зависимости:

$$B = \frac{\Delta P}{P_C} \cdot 100 \%, \quad (4.6)$$

где P_C – вес сухого образца.

Естественно, авторы монографии понимая простоту такой методики, в которой сделан ряд допущений, в частности не учитывается вес газа в угле, плотность испытуемых водных растворов принимается равной плотности воды, не учитывается набухание углей и другие показатели. Тем не менее, увлажнение угольных образцов при экспериментах проводилось по указанной методике. Исследования проводились на образцах угля, отобранных в забое 46-го западного откаточного штрека, гор. 970, бывшей шахты «Кочегарка» ПО «Артемуголь» на выбросоопасном угольном пласте m_2 – «Тонкий». Результаты исследований по влиянию различных концентраций растворов ПАВ на влагонасыщение выбросоопасного угля приведены в виде усредненных значений в таблице 4.2.

Как видно из таблицы 4.2, степень влагонасыщения угля существенно зависит от состава и свойств ПАВ. Экспериментальные данные показывают, что для исследуемого угля добавка полиакриламида к воде способствует увеличению проникающей способности последней и, наоборот – добавка смачивателя ДБ препятствует проникновению жидкости в уголь.

Таблица 4.2. – Влияние растворов ПАВ на влагонасыщение угля

| Наименование раствора | Концентрация, % | Давление пропитки, МПа | Время пропитки, мин | Прирост влажности, ΔW , % | $\frac{\Delta W_{ПАВ}}{\Delta W_{вода}}$ |
|-----------------------|-----------------|------------------------|---------------------|-----------------------------------|--|
| Вода | - | 11 | 40 | 2,87 | - |
| ПАА | 0,25 | 11 | 40 | 2,94 | 1,024 |
| ПАА | 0,1 | 11 | 40 | 3,33 | 1,160 |
| ПАА | 0,075 | 11 | 40 | 3,68 | 1,282 |
| ПАА | 0,05 | 11 | 40 | 2,60 | 0,906 |
| ДБ | 1 | 11 | 40 | 0,96 | 0,334 |
| ДБ | 0,5 | 11 | 40 | 1,3 | 0,453 |
| ДБ | 0,1 | 11 | 40 | 0,85 | 0,296 |
| ДБ | 0,075 | 11 | 40 | 1,41 | 0,491 |
| ДБ | 0,05 | 11 | 40 | 1,64 | 0,571 |
| ПАА+ДБ | 0,075+0,075 | 11 | 40 | 2,56 | 0,892 |

В рамках данного цикла экспериментов были проведены исследования по изучению воздействия смеси растворов различных концентраций полиакриламида и смачивателя ДБ на влагонасыщение угольных образцов в виде кубиков со стороной 30 мм. Перед пропиткой угольные образцы подвергались шлифованию на абразивном круге. В таблице 4.3 представлены усредненные результаты исследований по оценке влияния различных концентраций растворов ДБ и ПАА на влагонасыщение угольных образцов.

Таблица 4.3. – Влияние смеси растворов ПАВ (ПАА+ДБ) на влагопоглощение угля

| Наименование раствора | Концентрация, % | Давление пропитки, МПа | Время пропитки, мин | Прирост влажности, ΔW , % | $\frac{\Delta W_{ПАВ}}{\Delta W_{вода}}$ |
|-----------------------|-----------------|------------------------|---------------------|-----------------------------------|--|
| Вода | - | 11 | 40 | 0,76 | - |
| ПАА+ДБ | 0,2+0,5 | 11 | 40 | 0,944 | 1,242 |
| ПАА+ДБ | 0,1+0,1 | 11 | 40 | 0,83 | 1,092 |
| ПАА+ДБ | 0,01+0,01 | 11 | 40 | 0,864 | 1,237 |
| ПАА+ДБ | 0,05+0,05 | 11 | 40 | 0,668 | 0,879 |
| ПАА+ДБ | 0,05+0,5 | 11 | 40 | 0,552 | 0,726 |
| ПАА+ДБ | 0,3+0,5 | 11 | 40 | 0,429 | 0,564 |

Результаты опытных данных, приведенные в таблице 4.3, показывают, что шлифование угольных образцов существенно уменьшает их смачиваемость, что, по-видимому, поясняется закупоркой трещин и пор угольной мелочью, и, соответственно, происходит уменьшение водопроницаемости. Например при таких концентрациях растворов: 0,2% ПАА+0,5% ДБ, 0,1% ПАА+0,1% ДБ, 0,01% ПАА+0,01% ДБ происходит увеличение прироста влажности угля на 10-25 % больше, чем при увлажнении шахтной водой.

Аналогичные исследования проводились на образцах угля, изготовленных в виде «балочек» с размерами 30×30×140 мм. При увлажнении «балочек» из угля были использованы те же растворы, которые использовались выше. Полученные данные в виде их осредненных значений приводятся в таблице 4.4.

Таблица 4.4. – Воздействие растворов ПАВ на влагонасыщение выбросоопасного угля

| Наименование раствора | Концентрация, % | Давление пропитки, МПа | Время пропитки, мин. | Прирост влажности, ΔW , % | $\frac{\Delta W_{ПАВ}}{\Delta W_{вода}}$ |
|-----------------------|-----------------|------------------------|----------------------|-----------------------------------|--|
| Вода | - | 11 | 40 | 2,81 | - |
| ПАА | 0,075 | 11 | 40 | 3,11 | 1,107 |
| ПАА+ДБ | 0,2+0,5 | 11 | 40 | 3,15 | 1,121 |
| ПАА+ДБ | 0,1+0,1 | 11 | 40 | 2,97 | 1,057 |
| ПАА+ДБ | 0,01+0,01 | 11 | 40 | 2,92 | 1,039 |

Сравнивая результаты экспериментальных исследований, видим, что поверхностно-активные вещества незначительно способствуют увеличению влагопоглощения угля. Из всех исследуемых концентраций растворов – лучшей оказалась смесь 0,2% ПАА+0,5% ДБ.

При проведении экспериментов кроме оценки по влажности проводилась оценка влияния действия растворов ПАВ на прочностные и деформационные характеристики угольных образцов угля. Физико-механические свойства определялись для обработанных образцов угля растворами ПАВ или водой и для сухих, с последующим сравнением полученных результатов. Испытания проводились согласно методике, изложенной в работах [44, 56]. Анализ результатов исследований показывает, что увлажнение угля приводит к значительному снижению упругих и увеличению неупругих характеристик выбросоопасного угля. При этом эффект применения растворов ПАВ на исследуемые свойства угля более существенный по сравнению с увлажнением таких же образцов водой. Так, после увлажнения угольных образцов модуль упругости снижается более, чем в два раза, а предел прочности на изгиб – в 1,5-2 раза. По сравнению с шахтной водой, наибольший эффект уменьшения модуля упругости и предела прочности на изгиб оказывает смесь 0,1% ПАА + 0,1% ДБ, соответственно на 83 и 32 %.

Поскольку коэффициент неупругого сопротивления (γ) является важнейшей характеристикой неупругих свойств материала, то, естественно, при исследовании увлажняемого угля он также исследовался при проведении экспериментов. Так, общепринятой мерой неупругих свойств, определяемых из энергетических соображений, является коэффициент поглощения энергии, который выражается зависимостью:

$$\Psi = \frac{\Delta W}{W}, \quad (4.7)$$

где ΔW – часть энергии деформации необратимого поглощения (рассеяния) телом за один цикл пружинных колебаний; W – потенциальная энергия тела, отвечающая амплитуде деформации за тот же цикл.

Тогда, в свою очередь, коэффициент поглощения энергии Ψ можно выразить через логарифмический декремент затухания δ и коэффициент неупругого сопротивления γ следующей зависимостью:

$$\Psi = 2\delta = 2\pi\gamma \quad (4.8)$$

Выражение (4.8) связывает γ , δ , Ψ для напряженных состояний любого вида: сжатия, растяжения, изгиба, сдвига, кручения.

Как показывают результаты исследований, приведенные в работе [44], коэффициент неупругого сопротивления (γ) увлажненных образцов в 1,5-2 раза больше, чем у сухих образцов. Значение этого коэффициента при увлажнении растворами ПАВ увеличивается по сравнению с водой в среднем на 10-15%.

Результаты экспериментов по исследованию реологических свойств угольных образцов (сухих и увлажненных водой и различными растворами ПАВ) были усреднены и приведены в таблице 6. Данные, приведенные в таблице 6, показывают, что в результате пропитки угля водой и растворами ПАВ комплексный реологический показатель χ/β , характеризующий неупругие свойства среды, возрастает в 1,7-2,2 раза. Причем наибольший рост реологических параметров по этому показателю (25 %) установлен при пропитке угля раствором 0,1% ППА+0,1% ДБ, по сравнению с увлажнением водой. По полученным результатам экспериментальных исследований построены графики, наиболее характерные из которых представлены на рисунке 4.4.

Анализ графиков, приведенных на рис. 4.4, показывает, что величина рассеянной энергии (площадь петли гистерезиса) при деформировании угольных образцов, обработанных водой меньше, чем обработанных растворами ПАВ. Величина необратимых деформаций углей, пропитанных растворами ПАВ на 30-60 % больше по сравнению с образцами, увлажненными водой.

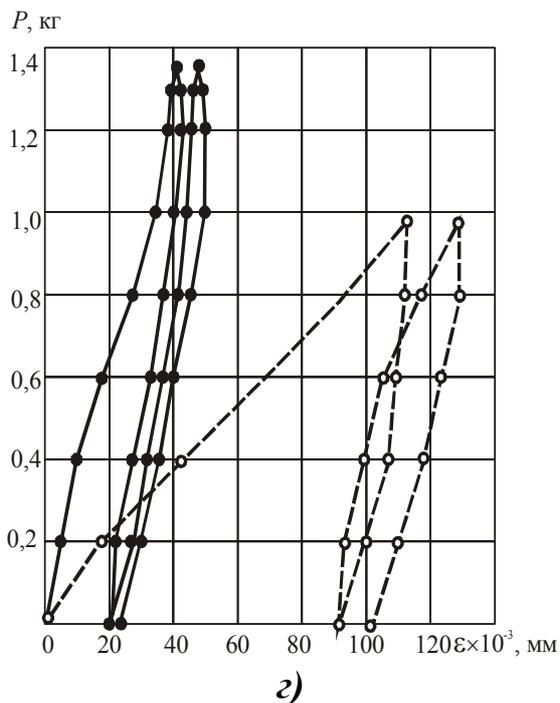
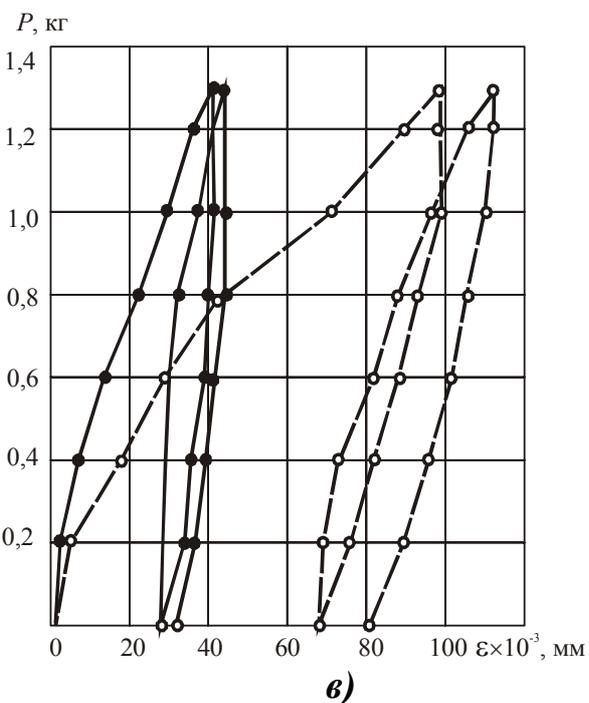
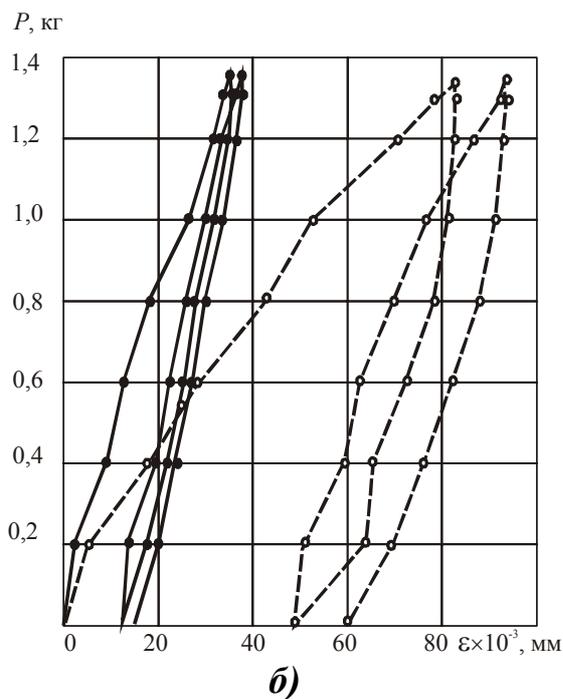
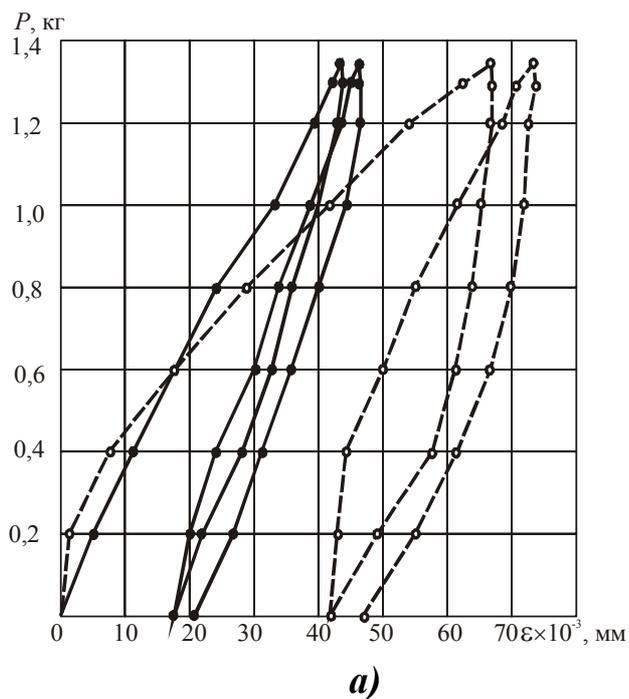


Рис. 4.4. Зависимости деформирования выбросоопасного угля:
1 – сплошная линия – сухого; 2 – пунктирная линия – увлажненного;
а – увлажненного водой; б – увлажненного раствором 0,2% ПАА + 0,5% ДБ;
в – увлажненного раствором 0,01% ПАА+ 0,01% ДБ;
г – увлажненного раствором 0,1% ПАА+0,2% ДБ

Результаты проведенных исследований по оценке влияния увлажнения на ползучесть образцов выбросоопасного угля пласта m_2 водой и растворами ПАВ различной концентрации и состава, приведены на рисунке 4.5.

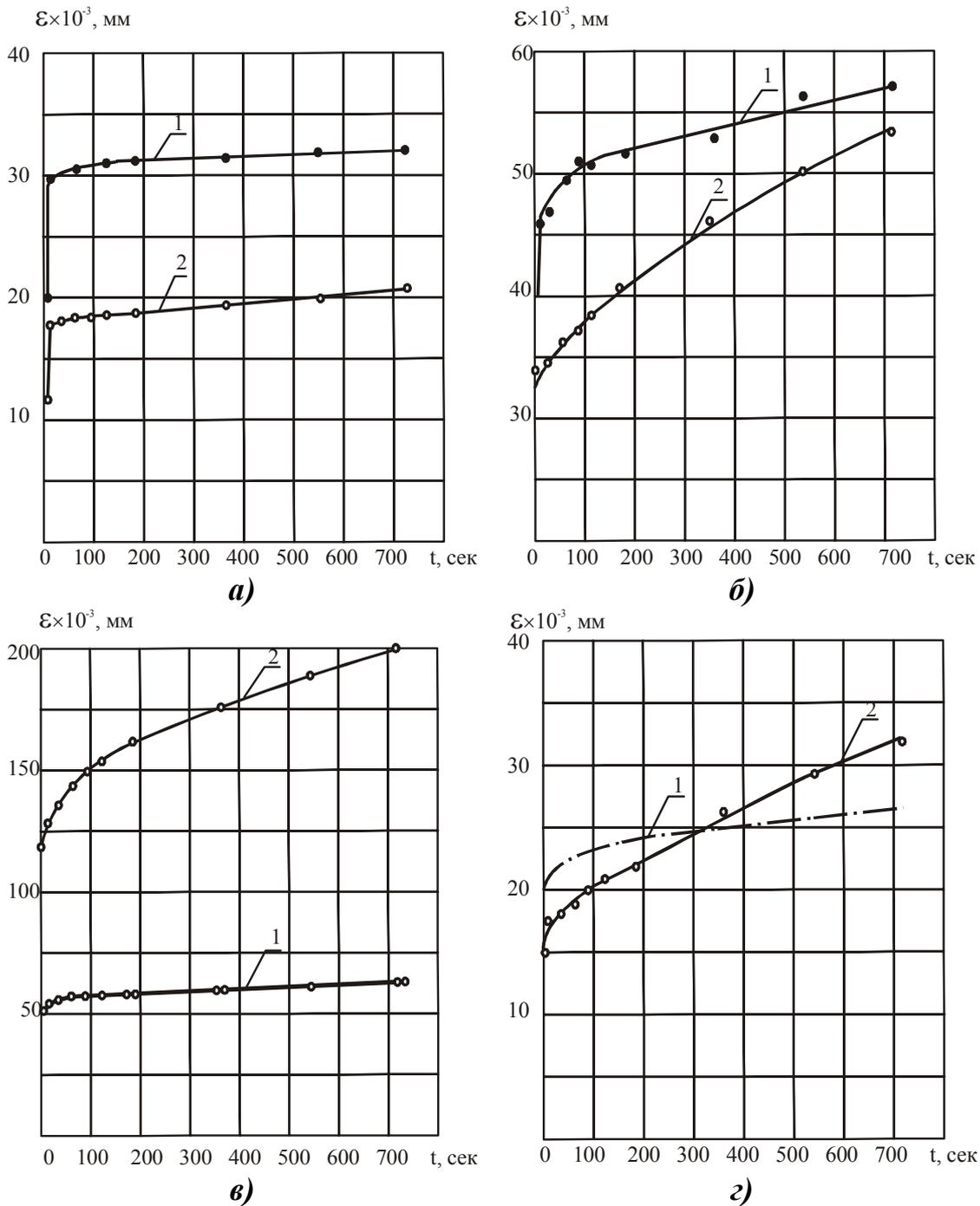


Рис. 4.5. Кривые ползучести выбросоопасного угля:

1 - сухого; 2 - увлажненного; а – увлажненного водой; б – увлажненного раствором 0,1% ПАА + 0,1% ДБ; в – увлажненного раствором 0,2% ПАА+ 0,5% ДБ; г – увлажненного раствором 0,2% ПАА+0,5% ДБ

Анализ закономерностей, представленных на рис. 4.5, показывает, что под действием растворов ПАВ значительно возрастает ползучесть выбросоопасного угля по сравнению с образцами, увлажненными только водой. Это подтверждает известный факт возможного и существенного снижения выбросоопасности массива за счет увеличения неупругих свойств угля при его увлажнении.

Для уточнения возможности применения высокочастотного волнового воздействия на угольный массив и повышения эффективности его увлажнения был проведен дополнительный эксперимент ИГТМНАН Украины [44]. Изучение совместного действия ультразвука и растворов ПАВ было проведено в лабораторных исследованиях на выбросоопасных углях бывших шахты «Кочегарка», комбината «Артемуголь» и шахты «Кировская» комбината «Донецкуголь». Пробы угля для проведения экспериментов отбирались в забоях откаточных выработок, проводимых, соответственно по выбросоопасным угольным пластам m_2 – «Тонкий», горизонта 970 м (марка угля – Ж) и k_7 – «Смоляниновский», горизонта 1080 м (марка угля – К). Сущность экспериментов сводилась к следующему.

По выбросоопасному угольному пласту m_2 . Источником ультразвуковых колебаний для воздействия на уголь служил прибор УЗДН-1. Воздействие осуществлялась при частоте 35 кГц и токе 0,7 а. Угольные образцы для эксперимента изготавливались из проб угля размером 30x30x30 мм. В качестве реагентов для пропитки образцов использовались вода и смесь растворов 0,2% ПАА+0,5% ДБ. Время пропитки составляло 5 мин. Ультразвуковое воздействие передавалось непосредственно исследуемой жидкости с помощью излучателя. Образцы взвешивались на аналитических весах. В таблице 4.5 приведены результаты экспериментов с угольным образцом из выбросоопасного пласта m_2 шахты «Кочегарка».

Таблица 4.5. – Влияние ультразвука на пропитку угольного образца пласта m_2 водой

| Раствор | № образцов | Условия пропитки | Вес образца, г | | | Вес впитанной жидкости, г | Прирост влажности, ΔW , % | $\frac{\Delta W_{ПЛАВ}}{\Delta W_{ВОДА}}$ |
|------------------|------------|------------------|----------------|-------------|----------------|---------------------------|-----------------------------------|---|
| | | | сухого | до пропитки | после пропитки | | | |
| Вода шахтная | 1 | с УЗВ | 55,82 | 15,76 | 17,10 | 1,34 | 2,36 | 3,26 |
| | | без УЗВ | 55,38 | 19,29 | 19,70 | 0,41 | 0,73 | |
| | 2 | с УЗВ | 37,48 | 8,91 | 8,91 | 1,14 | 3,04 | 2,49 |
| | | без УЗВ. | 37,50 | 8,41 | 8,41 | 0,46 | 1,22 | |
| 3 | с УЗВ | 38,80 | 9,12 | 9,12 | 1,18 | 3,03 | 3,60 | |
| | без УЗВ | 41,71 | 9,87 | 9,87 | 0,35 | 0,84 | | |
| 4 | с УЗВ | 27,74 | 6,59 | 6,59 | 0,83 | 2,98 | 4,73 | |
| | без УЗВ | 28,94 | 5,96 | 5,96 | 0,19 | 0,63 | | |
| Среднее значение | | | | | | | | 3,34 |

По выбросоопасному угольному пласту h_7 . При проведении эксперимента с этим углем образцы размером 50x50x50 мм помещались на стенд в виде гидравлической шахтной стойки ГС-3, которая заполнялась водой или раствором ПАВ. Увлажнение образца осуществлялось под давлением 1,8 МПа в течение 20 минут. Ультразвуковое воздействие передавалось на жидкость и образец через стенку стойки. Для пропитки образца

использовалась вода, а также 0,5% растворы КМЦ и ПАА. Частота ультразвукового воздействия при эксперименте составляла 22 кГц при токе – 0,6 а. Результаты исследований, полученные в данном цикле эксперимента, представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6. – Влияние ПАВ и ультразвука на пропитку угля

| Наименование раствора | Условия пропитки | Вес образца до пропитки, г | Вес образца после пропитки, г | Вес впитанной жидкости, г | Прирост влажности, % | $\frac{\Delta W_{ПАВ}}{\Delta W_{вода}}$ |
|-----------------------|------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|--|
| Вода шахтная | УЗВ | 162,70 | 164,46 | 1,76 | 1,07 | 1,30 |
| | | 163,69 | 166,02 | 2,33 | 1,4 | |
| | | 164,41 | 166,09 | 2,28 | 1,37 | |
| КМЦ | УЗВ | 159,13 | 161,02 | 1,89 | 1,17 | 1,23 |
| | | 173,77 | 173,26 | 2,49 | 1,44 | |
| ПАА | УЗВ | 163,41 | 165,44 | 2,03 | 1,23 | 1,69 |
| | | 169,39 | 174,01 | 3,62 | 2,08 | |

Анализ данных, приведенных в таблицах 4.5 и 4.6, показывает, что водопроницаемость угля, отобранного в двух разных местах по простиранию пласта, не является постоянной величиной. В зависимости от изменения свойств угля изменяется эффективность действия ультразвукового воздействия на процесс пропитки образцов. Однако важным является тот факт, что действие ультразвука всегда оказывает положительное и существенное влияние на влагопоглощение углей. Влажность угольных образцов под влиянием ультразвукового воздействия значительно возрастает. Так, при применении воды влажность угля увеличилась в 1,9 раза в одном случае, и 3,34 раза в другом случае.

В результате изучения совместного воздействия ПАВ и ультразвука, установлен положительный эффект их влияния. Анализируя полученные данные, можно заметить, что во всех случаях ультразвук способствует влагопоглощению угля. При применении воды влагопоглощение образца увеличилось на 30%, КМЦ на 23%, ПАА на 69%. То есть проведенные исследования показали, что под действием ультразвукового поля интенсивность увлажнения значительно увеличивается.

В шахтных условиях исследования влияния растворов поверхностно-активных веществ ПАВ на процесс гидрорыхления угольного пласта проводились в 9-м западном конвейерном штреке пласта ℓ_1 шахты им. А. Ф. Засядько на протяжении 110 м подвигания забоя. В качестве добавки ПАВ к воде применялся 0,2% раствор сульфоната НП-3. Изменение содержания влаги в пласте оценивалось по пробам угля, отбираемых при бурении скважин до и после гидрорыхления с чистой водой и с добавками ПАВ. Наряду с этим регистрировалось давление нагнетания, продолжительность процесса гидрорыхления до его завершения и количество подан-

ной к этому времени воды или раствора в скважину. В общей сложности выполнено 10 определений естественной влажности угля до гидрообработки пласта, 26 после гидрорыхления чистой водой без ПАВ и 24 – с применением ПАВ. При этом было установлено, что при естественной влажности угля 0,8% после гидрорыхления чистой водой влажность составляла 0,97-1,07%, а с добавкой ПАВ 1,52-1,55%, т.е. увеличилась почти в 1,5 раза.

Максимальное давление нагнетания с добавками ПАВ было меньше в среднем на 10-15% чем при нагнетании чистой воды, что обусловлено, по-видимому, проникновением раствора в более мелкие поры и трещины. Во столько же раз увеличивалось и количество воды с добавками ПАВ, подаваемой в скважины к моменту завершения гидрорыхления, но существенных изменений продолжительности этого процесса не наблюдалось, хотя в отдельных случаях он завершался на 20-30% раньше, чем при нагнетании чистой воды. Таким образом, для улучшения поступления воды в пласт и интенсификации процесса гидрорыхления нагнетание воды может производиться с добавками ПАВ, тип и концентрация которых выбирается в зависимости от марки угля согласно [51].

4.4. Опытно-промышленная проверка методики определения параметров гидрорыхления

Основные положения методики определения параметров гидрорыхления базируются на использовании выявленных закономерностей изменения их от физико-механических свойств и напряженно-деформированного состояния призабойной части угольных пластов. Методика заключается в экспериментальном установлении для конкретных условий ведения горных работ глубины герметизации нагнетательных скважин, длины фильтрующей части их и удельного расхода воды, на основании которых вычисляются остальные параметры: эффективный радиус нагнетания, длина скважин, расстояние между ними и необходимое количество воды на одну скважину. В качестве интегральной характеристики свойств и состояния пласта при определении параметров гидрорыхления принята величина зоны разгрузки, определяемая нормативными способами (по динамике газовыделения или по параметрам акустических сигналов при поинтервальном бурении шпуров) согласно [51].

Для практической реализации результатов выполненных исследований разработан проект нормативного документа «Положение по определению параметров гидрорыхления угольных пластов для предотвращения внезапных выбросов угля и газа», опытнo-промышленная проверка которого проводилась в действующих забоях на выбросоопасных пластах с целью оценки эффективности экспериментально определяемых параметров по сравнению с принятыми на шахтах согласно действовавшей тогда «Инст-

рукции...» [10]. Опытнo-промышленнaя проверка осуществлялась при проведении подготовительных выработок и ведении очистных работ на шахтах им. А. Ф. Засядько, «Ясиновская-Глубокая», им. А. А. Скочинского и им. В. М. Бажанова.

4.4.1. На шахте им. А. Ф. Засядько проверка параметров гидрорыхления проводилась в 12-м восточном конвейерном штреке пласта ℓ_1 при следующих условиях: глубина расположения штрека $H=1000$ м; мощность пласта $m=1,7$ м; удельный вес угля $\gamma_y=1,35$ т/м³; количество нагнетательных скважин в забое 2. Принятые на шахте параметры гидрорыхления: глубина герметизации скважин 4 м, длина их 6 м, неснижаемое опережение 4 м, давление нагнетания не менее 19 МПа, удельный расход воды $q=20$ л/т.

Согласно методике испытаний при бурении каждой нагнетательной скважины определяли величину зоны разгрузки пласта ℓ_p , вычисляли среднюю ее величину и определяли глубину герметизации скважин по формуле $\ell_r=1,5\ell_p$, а длину фильтрующей части принимали равной $\ell_\phi=2$ м. Затем скважины добуривали до глубины $(\ell_r+\ell_\phi)$, производили их герметизацию и опытное нагнетание воды до падения давления не менее чем на 30% от максимального. В процессе нагнетания регистрировали давление воды максимальное P_{max} и конечное P_k , а также поданное количество ее Q в скважину к моменту завершения процесса гидрорыхления и продолжительность t этого процесса. Результаты определения указанных показателей приведены согласно принятым обозначениям в табл. 4.7.

Таблица 4.7. – Исходные данные

| №№ скв. | ℓ_p , м | P_n , МПа | | t , мин | Q , м ³ |
|---------|--------------|-------------|-------|-----------|----------------------|
| | | P_{max} | P_k | | |
| 1 | 4,0 | 30 | 21 | 26,0 | 3,3 |
| 2 | 4,5 | 24 | 17 | 20,0 | 2,5 |
| Среднее | 4,2 | 27 | 19 | 23,0 | 2,9 |

По этим данным определены следующие оптимальные параметры гидрорыхления: $\ell_r=6$ м; $\ell_\phi=2$ м; $\ell_c=8$ м; $q=16$ л/т.

При принятых на шахте величинах $\ell_r=4$ м и $\ell_c=6$ м фактический удельный расход воды составляет $q=32$ л/т, что в 2 раза больше, чем при установленных оптимальных для этих условий параметрах скважин, и в 1,6 раза превышает рекомендованный в «Инструкции...» [10], а, следовательно во столько же раз больше – избыточное количество подаваемой в пласт воды и время ее нагнетания. Таким образом, результаты проверки показывают, что определяемые по предлагаемой методике параметры

гидрорыхления обеспечивают сокращение до 50% продолжительности выполнения гидрорыхления и расхода воды без снижения эффективности его для предотвращения внезапных выбросов угля и газа.

4.4.2. На шахте «Ясиновская-Глубокая» опытно-промышленная проверка методики определения параметров гидрорыхления осуществлялась при проведении 5-го западного транспортного штрека пласта m_3 . Глубина разработки $H = 650$ м, мощность пласта $m = 1,3$ м, удельный вес угля $\gamma_y = 1,55$ т/м³. Принятые первоначально на шахте параметры гидрорыхления: $\ell_r = 6$ м, $\ell_c = 8$ м, $q = 20$ л/т, минимально необходимое давление нагнетания $P_n = 12,2$ МПа, схема расположения скважин согласно п. 6.1.5 «Инструкции...» [10].

Методика определения параметров гидрорыхления в условиях данной выработки аналогична изложенной выше для шахты им. А. Ф. Засядько.

Результаты определения исходных данных приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8. – Исходные данные

| №№ скв. | ℓ_p , м | P_n , МПа | | t , мин | Q , м ³ |
|---------|--------------|-------------|-------|-----------|----------------------|
| | | P_{max} | P_k | | |
| 1 | 2,5 | 15 | 10 | 17,0 | 1,5 |
| 2 | 2,5 | 12 | 8 | 13,0 | 1,2 |
| Среднее | 2,5 | 13,5 | 9 | 15,0 | 1,35 |

Согласно расчету по этим данным $\ell_r = 4,0$ м, $\ell_c = 6$ м; $q = 17$ л/т.

Дальнейшее проведение 5-го транспортного штрека производилось с применением установленных параметров гидрорыхления. Если бы применялись первоначально принятые параметры ($\ell_r = 6$ м, $\ell_c = 8$ м, $q = 20$ л/т), то необходимое количество воды на одну скважину составляло бы $Q = 3,1$ м³, а время нагнетания ее $t = 34$ мин, что почти в 2 раза превысило бы установленные величины этих показателей и привело бы к излишним трудозатратам на выполнение гидрорыхления.

Таким образом, предлагаемая методика определения параметров гидрорыхления, соответствующих реальным условиям ведения горных работ, обеспечивает стабильное достижение эффекта гидрорыхления, сокращение почти на 50% продолжительности и трудоемкости его выполнения.

4.4.3. На шахте им. А. А. Скочинского проверка параметров гидрорыхления проводилось в 8-й восточной «бис» лаве центральной панели (ЦП) и 2-й восточной лаве западной панели (ЗП) пласта h_6' . Глубина ведения очистных работ в 8-й восточной «бис» лаве ЦП $H = 1175...1200$ м, длина лавы $L = 165$ м, мощность пласта $m = 1,75$ м. Во 2-й восточной лаве ЗП $H = 1030...1075$ м, $L = 180$ м, $m = 1,45$ м. Параметры гидрорыхления,

применявшиеся в той и другой лаве, идентичны: $\ell_r = 6$ м, $\ell_c = 8$ м, радиус эффективного нагнетания в одну скважину $R_{эф} = 4,8$ м, а расстояние между скважинами $r = 2R_{эф} = 9,6$ м.

Методика определения параметров гидрорыхления в очистных выработках аналогична изложенной в 4.4.1 и 4.4.2 для подготовительных выработок и отличается лишь тем, что в лавах бурят по 2 скважины в нижней, средней и верхней части ее на расстоянии не менее 10 м друг от друга и от комбайновых ниш на концевых участках лавы.

Исходные данные по определению параметров гидрорыхления в упомянутых лавах приведены в табл. 4.9.

Таблица 4.9. – Исходные данные

| №№ скв. | ℓ_p , м | P_n , МПа | | t , мин | Q , м ³ |
|------------------------------------|--------------|-------------|-------|-----------|----------------------|
| | | P_{max} | P_k | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 8-я восточная «бис» лава ЦП | | | | | |
| 1 | 3,5 | 30 | 21 | 19 | 1,7 |
| 2 | 4,0 | 28 | 19 | 18 | 1,6 |
| 9 | 4,5 | 24 | 14 | 20 | 1,8 |
| 10 | 4,0 | 18 | 12 | 18 | 1,5 |
| 16 | 3,5 | 23,5 | 16,5 | 22 | 1,9 |
| 17 | 4,0 | 23 | 14 | 17 | 1,6 |
| Среднее | 3,9 | 24,4 | 16,1 | 19 | 1,68 |
| 2-я восточная лава ЗП | | | | | |
| 2 | 4,0 | 22 | 11 | 19 | 1,5 |
| 3 | 4,5 | 20 | 14 | 21 | 1,9 |
| 8 | 4,5 | 21 | 10 | 18 | 1,6 |
| 9 | 4,0 | 20 | 12 | 16 | 1,8 |
| 16 | 3,5 | 21 | 10 | 21 | 1,9 |
| 17 | 4,0 | 19,5 | 13 | 19 | 1,5 |
| Среднее | 4,1 | 20,6 | 11,7 | 19 | 1,7 |

Согласно средним значениям величины зоны разгрузки пласта в 8-й восточной «бис» лаве ЦП и 2-й восточной лаве ЗП, равных 3,9 м и 4,1 м соответственно, глубина герметизации скважин для той и другой лавы составляет $\ell_r = 6$ м, а длина скважин $\ell_c = 8$ м, что соответствует применявшимся в этих лавах. Вследствие того, что мощность пласта в той и другой лаве несколько отличается, то удельный расход воды для 8-й восточной «бис» лавы составляет $q = 10$ л/т, а для 2-й восточной лавы $q = 12$ л/т, что фактически на 50% и 40% меньше минимально необходимого согласно требованию п. 6.1.4 «Инструкции...» [10]. Уточненные величины удельного расхода воды внесены в паспорта на ведение очистных работ в упомянутых лавах, а положительные результаты опытно-промышленной проверки методики определения параметров гидрорыхления.

4.4.4. На шахте им. В. М. Бажанова проверка параметров гидрорыхления проводилась в нижних нишах 7-й восточной и 2-й центральной лавы и в конвейерном ходке западного крыла гор. 1012 м пласта m_3 , в которых и ранее применялось гидрорыхление при схемах расположения нагнетательных скважин согласно п. 6.1.5 «Инструкции...» [10]. Условия ведения горных работ следующие:

- в нише 7-й восточной лавы $H = 1150$ м, $m = 2,1$ м, $\gamma_y = 1,32$ т/м³;
- в нише 2-й центральной лавы $H = 1150$ м, $m = 1,63$ м, $\gamma_y = 1,32$ т/м³;
- в конвейерном ходке $H = 1012$ м, $m = 1,7$ м, $\gamma_y = 1,32$ т/м³.

Параметры гидрорыхления во всех забоях равнозначны: $\ell_r = 3$ м, $\ell_c = 4$ м, $q = 20$ л/т. Исходные данные опытного определения параметров гидрорыхления приведены в табл. 4.10.

Таблица 4.10 – Данные опытного определения параметров гидрорыхления

| №№ скв. | ℓ_p , м | P_n , МПа | | t , мин | Q , м ³ |
|---------------------------|--------------|-------------|-------|-----------|----------------------|
| | | P_{max} | P_k | | |
| Ниша 7-й восточной лавы | | | | | |
| 1 | 2,0 | 21,5 | 14 | 16,0 | 1,0 |
| 2 | 2,5 | 19,5 | 13 | 14,0 | 1,2 |
| Среднее | 2,2 | 20,5 | 13,5 | 15,0 | 1,1 |
| Ниша 2-й центральной лавы | | | | | |
| 1 | 2,0 | 20 | 13 | 11,0 | 1,0 |
| 2 | 2,0 | 21 | 12 | 9,0 | 0,8 |
| Среднее | 2,0 | 20,5 | 12,5 | 10,0 | 0,9 |
| Конвейерный ходок | | | | | |
| 1 | 2,5 | 19 | 12,5 | 11,0 | 0,95 |
| 2 | 2,0 | 21 | 13 | 11,0 | 1,0 |
| Среднее | 2,2 | 20 | 12,7 | 11,0 | 0,97 |

Поскольку величина зоны разгрузки в забоях указанных выработок практически одинаковая, как видно из таблицы, то и глубина герметизации скважин в каждом из них составляет $\ell_r = 3$ м, а $\ell_c = 4$ м, что соответствует принятым на шахте. Исходя из средних значений количества воды, подаваемой в скважину, и мощности пласта в каждом забое, расчетная величина фактического удельного расхода воды в нишах 7-й восточной и 2-й центральной лавы составляет $q = 21$ л/т, а в конвейерном ходке $q = 22$ л/т, что во всех случаях практически совпадает с принятым на шахте и требуемым согласно «Инструкции...» [10].

Величины ℓ_r и ℓ_c согласно упомянутой «Инструкции...» могли быть приняты не менее 4 м и 6 м соответственно, поэтому при том же $q = 20$ л/т количество воды, необходимое для подачи в каждую скважину, и продолжительность ее нагнетания были бы почти в 2 раза больше, чем при установленных для этих условий оптимальных параметрах. Следовательно, предлагаемая методика их определения позволяет сократить почти на 50% количества подаваемой в пласт воды и продолжительность процесса нагнетания без снижения эффективности гидрорыхления для предотвращения внезапных выбросов угля и газа.

На основании результатов выполненных исследований и опытно-промышленной проверки разработанных научно-технических решений по определению параметров гидрорыхления скорректирована окончательная редакция руководящего документа «Положение по определению параметров гидрорыхления угольных пластов для предотвращения внезапных выбросов угля и газа» Этот документ внедрен на ряде шахт Донбасса, разрабатывающих выбросоопасные пласты с применением гидрорыхления для предотвращения внезапных выбросов угля и газа в очистных и подготовительных выработках.

Выводы по разделу:

1. В условиях глубоких шахт нагнетание воды в скважины для гидрорыхления пласта достигается при давлении $P = (0,75...1) \mu H$, достаточном для гидроразрушения угля и не превышающем предельно допустимое по техническим характеристикам нагнетательного оборудования, если глубина герметизации этих скважин принимается равной полуторной величине зоны разгрузки призабойной части пласта.

2. При глубине герметизации скважин менее 3 м нагнетание воды происходит в режиме гидроотжима пласта и применение гидрорыхления в таких случаях не допускается. При глубине герметизации скважин, равной 3 м, длину фильтрующей части их следует принимать равной 1 м, а при глубине герметизации более 3 м длина фильтрующей части должна быть 2 м.

3. Удельный расход воды, при котором процесс гидрорыхления эффективен и происходит без излишних временных затрат на его выполнение, должен определяться опытным нагнетанием по фактическому количеству поданной в скважину воды к моменту падения давления не менее, чем на 30% от максимального с учетом мощности пласта, глубины герметизации и длины нагнетательных скважин. Установленный индивидуально в каждом забое удельный расход воды используется для расчета необходимого количества нагнетаемой в скважину воды в последующих циклах гидрорыхления.

4. С целью снижения потерь напора воды в скважине за счет гидросопротивления нагнетательной магистрали насосная установка должна располагаться на расстоянии не более 100 м от забоя выработки.

5. Количество скважин для определения параметров гидрорыхления, включая измерения величины зоны разгрузки и проведение опытных нагнетаний, должно быть не менее двух в подготовительных забоях и в нишах, а в очистных забоях – по две скважины в нижней, средней и верхней части лавы.

6. Для улучшения поступления воды в пласт и ускорения процесса гидрорыхления допускается нагнетание воды с добавками ПАВ, тип и концентрация которых выбираются в зависимости от марки угля.

7. Опытно-промышленная проверка параметров гидрорыхления, определяемых согласно разработанным рекомендациям по определению параметров гидрорыхления угольных пластов для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, подтверждает научную обоснованность методики определения этих параметров и эффективность их для осуществления процесса гидрорыхления, сокращения продолжительности его выполнения и расхода воды, а также повышения безопасности и улучшения условий труда на выбросоопасных пластах.

РАЗДЕЛ 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ВЫРАБОТКУ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПРИЗАБОЙНУЮ ЧАСТЬ ПЛАСТА

5.1. Оценка газоносности угольного пласта

Газоносность (метаноносность) разрабатываемых угольных пластов является одним из основных параметров, определяющих газообильность (метанообильность) горных выработок шахт и выбросоопасность пластов. Ее величина необходима для прогнозирования газообильности очистных и подготовительных забоев, выбора метода управления метановыделением, прогноза выбросоопасности шахтопластов, ведении взрывных работ по углю и т.д. Для действующих шахт в ряде случаев данными о газоносности геологоразведочные и научно-исследовательские организации в полной мере не располагают.

Исследования, проведенные в последние годы ОАО «Донбассгеология» и другими институтами показали, что газоносность угольных пластов в условиях действующих шахт может быть определена по удельному газовыделению из разрабатываемого пласта и остаточной газоносности. Установленная таким методом величина газоносности может быть использована для оценки данных, полученных при разведке (доразведке) шахтных полей и совершенствования прямых методов определения газоносности пластов при ведении геологоразведочных работ. В последнее время существует ряд методик по определению газоносности угольных пластов: по газовым съемкам на выемочном участке и в подготовительной выработке; по газовыделению при бурении скважины; по изотерме метаноёмкости угля и с помощью расчетного метода. Разработана методология каждого метода, включающая в себя подход к выбору объектов для определения газоносности пластов, область их применения, порядок проведения наблюдений за газовыделением, необходимый объем экспериментальных наблюдений и порядок обработки полученных результатов [9, 44, 81, 82]. С помощью этих методик вполне можно произвести определение газоносности угольных и антрацитовых пластов тонкой и средней мощности в любых горно-геологических условиях действующих шахт с точностью, вполне приемлемой при решении инженерных задач, связанных с процессами газовыделения в горные выработки при ведении горных работ. Кратко рассмотрим эти методики.

5.1.1. Методика определения природной газоносности пласта по газовой съемке на выемочном участке

Сущность метода заключается в определении газовыделения из разрабатываемого пласта по замерам дебита воздуха и процентного содержания метана в исходящей и поступающей струе очистной выработки и выемочного участка (под выемочным участком понимается очистной забой с примыкающими к нему подготовительными выработками), массы вынутаго угля и остаточного содержания газа в угле при выдаче его за пределы пункта наблюдений. Газоносность разрабатываемых угольных пластов определяют как сумму удельного метановыделения из разрабатываемого пласта q_{nl} м³/т б.м. и величины остаточной газоносности угля \bar{x}'_0 м³/т б.м, т. е.

$$x = q_{nl} + \bar{x}'_0 \quad (5.1)$$

Величину q_{nl} определяют по результатам газовой съемки, проводимой на выемочном участке, а \bar{x}'_0 – по пробам угля, набранного в колбы-мельницы.

Этим методом можно определять природную газоносность разрабатываемых угольных пластов тонких и средней мощности при отработке их сплошной и комбинированной (парные штреки, прямой ход) системой разработки на полную мощность, а также газоносность пластов после их подработки, надработки или применения других снижающих газоносность мероприятий в любых горно-геологических условиях.

Для определения удельного метановыделения из разрабатываемого пласта в пределах очистной выработки на отобранном выемочной участке намечают следующие пункты наблюдений (пункты замера):

- в начале выработки, по которой воздух поступает на выемочный участок;
- в выработке со свежей струей воздуха перед поступлением его в очистной забой;
- вблизи очистного забоя, в опережающей его выработке (в тупиковой выработке, проводимой по угольному пласту впереди очистного забоя);
- в призабойном пространстве очистного забоя (в этом пункте производятся поперечные газовые съемки), вблизи сопряжения его с выработкой, в которую поступает струя воздуха;
- вблизи очистного забоя, в выработке с исходящей струей воздуха.

Замерные пункты должны находиться в 15-20 м разветвлений (соединений) вентиляционных струй и от очистного забоя. Результаты замеров в других замерных пунктах при производстве поперечной газовой съемки записывают в специальный журнал.

Одновременно в период проведения наблюдений за газовыделением на откаточном (транспортном) штреке набирают пробы угля для опре-

деления остаточной газоносности его за пределами пункта наблюдений. Пробы угля набирают в колбы. Уголь в колбы набирают различной крупности (штыб, кусочки размером $10 \times 10 \times 10$ мм, $20 \times 20 \times 20$ мм). Сразу же после набора угля в колбу, последнюю герметически закрывают. Масса угля в каждой колбе не должна превышать 100 – 150 г. Всего за период наблюдений набирают девять колб. Причем три первые колбы набирают, когда комбайн находится в нижней части лавы, вторые три – когда комбайн находится на середине лавы, и третьи – когда он находится в верхней части лавы. Остаточную газоносность угля определяют в лаборатории. Время хранения угля в колбах с момента набора его до откачки не должно превышать трех суток. Одновременно с проведением съемки в замерном пункте, расположенном на исходящей струе воздуха вблизи очистной выработки, ведут хронометраж выполняемых работ в лаве.

Обработка результатов наблюдений осуществляется следующим образом. Количество воздуха, прошедшего в пункте наблюдения, определяется по формуле:

$$Q_i = 60 \cdot S_i \cdot v_{ci}, \quad (5.2)$$

где S_i – площадь поперечного сечения выработки в свету в i -том пункте, м^2 ;

v_{ci} – средняя скорость движения воздуха в выработке в i -том пункте, м/с .

Площадь поперечного сечения выработки в замерном пункте при трапециевидном сечении определяется по формуле:

$$S = 0,5H_B(a + b), \quad (5.3)$$

где H_B – высота выработки, м ;

a и b – ширина выработки соответственно у кровли и почвы, м .

Для подсчета скорости движения воздуха при каждом замере определяют скорость вращения крыльчатки анемометра по формуле:

$$n = \frac{n_{kc} - n_{nc}}{T_3}, \quad (5.4)$$

где n_{nc} и n_{kc} , – соответственно начальные и конечные показания счетчика скорости вращения анемометра;

T_3 – продолжительность замера, с .

По значению n , пользуясь тарировочными графиками анемометра, находят скорость движения воздуха при каждом замере v_i .

Количество (дебит) метана, проходящего при каждом замере через поперечное сечение выработки, определяют по формуле:

$$I_i = 0,01 \cdot Q_i \cdot C_i, \quad (5.5)$$

где C_i – средняя концентрация метана в воздухе при каждом замере (%) определяется по результатам лабораторного анализа проб воздуха или по результатам замеров интерферометром в точках.

При замере содержания метана интерферометром, средняя концентрация его в сечении выработки и в каждом месте замера при производстве поперечной газовой съемки определяется по формуле:

$$\bar{C}_i = \frac{\sum(C_i K_u)}{n_u}, \quad (5.6)$$

где C_i – концентрация метана в каждой точке замера, %;

K_u – поправочный коэффициент, устанавливаемый при тарировке интерферометра;

n_u – число точек, в которых производился замер метана интерферометром.

При производстве каждой поперечной газовой съемки в лаве средняя концентрация метана в призабойном пространстве в пункте съемки определяется по формуле:

$$\bar{C}_n = \frac{\sum \bar{C}_i}{n_n}, \quad (5.7)$$

где n_n – число точек замера в пункте производства поперечной газовой съемки.

Средний дебит метана I_i в течение всего периода наблюдений в каждом замерном пункте определяют по формуле:

$$\bar{I}_i = \frac{\sum I_i}{n_c}, \quad (5.8)$$

где n_c – число замеров за весь период наблюдения в замерном пункте.

Среднее метановыделение в период производства всех поперечных газовых съемок в лаве определяют по формуле:

$$I_{n.c} = \frac{\sum(\bar{C}_n \cdot \sum Q_i)}{100n'_n}, \quad (5.9)$$

где n'_n – число поперечных газовых съемок, произведенных в лаве;

$\sum Q_i$ – количество воздуха, проходившего в лаве, м³/мин.

Строят график распределения концентрации метана по ширине призабойного пространства (рис. 5.1). На оси ординат откладывают процентное содержание метана C_i , а на оси абсцисс – расстояние от забоя до каждого места замера.

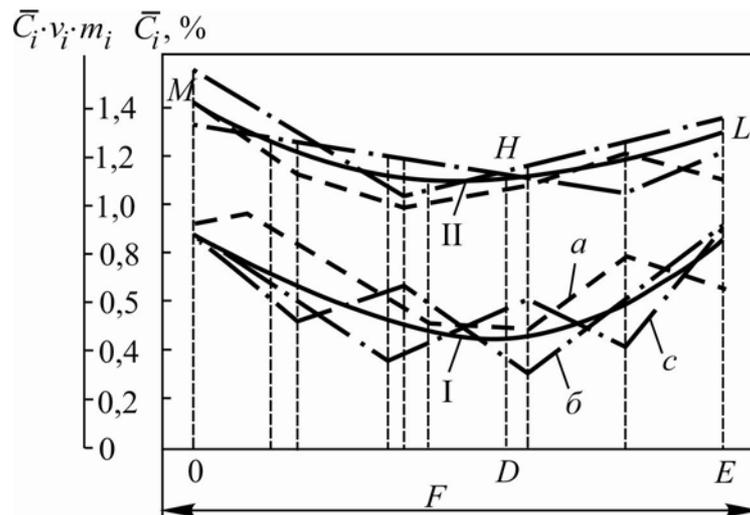


Рис. 5.1. График распределения концентрации метана (C_i) и произведения ($\bar{C}_i \cdot v_i \cdot m_i$) по ширине призабойного пространства очистного забоя:

I – кривая распределения концентрации метана (C_i);

II – кривая распределения произведения ($\bar{C}_i \cdot v_i \cdot m_i$)

Ширину призабойного пространства F , независимо от абсолютного значения ее, при производстве каждой поперечной газовой съемки, на графике принимают за 100 %, а расстояние от забоя до каждого места замера определяют как отношение $100b'/F$, %. Вначале для каждой поперечной газовой съемки отдельно на график наносят точки, ординаты которых соответствуют значениям \bar{C}_i в местах замеров, и проводят через них пунктирные линии (обозначенные на графике буквами а, б, с). Затем на график наносят точку каждого места замера, ордината которой равна среднеарифметическому значению ординат точек пересечения всех пунктирных линий с перпендикуляром, восстановленным от оси абсцисс, представляющим на графике положение места замера. Через полученные таким образом точки для всех замеров проводится сплошная линия I.

Если сплошная линия I получилась ниспадающей в сторону выработанного пространства, коэффициент $K_{n.B}$ принимают равным единице. Если кривая I на графике получилась вогнутой, то на том же графике (рис. 5.1) проводят вторую ось ординат, по которой откладывают произведение ($\bar{C}_i \cdot v_i \cdot m_i$).

Аналогично построению линии I строится линия II, характеризующая распределение дебита метана в пункте производства поперечной газовой съемки по ширине призабойного пространства.

После нанесения на график линии II от оси абсцисс, через точку минимума на кривой I восстанавливают перпендикуляр до линии II, и тогда значение коэффициента $K_{n.B}$ определяется как отношение площади фи-

гуры ОМНД и площади фигуры ОМНLED, выраженное в долях единицы (рис. 5.1).

Среднее метановыделение в выработке, по которой воздух, поступающий на выемочный участок, направляется к лаве \bar{I}'_0 , определяют по формуле:

$$\bar{I}'_0 = \bar{I}_2 - \bar{I}_1 + \bar{I}_{yT}, \quad (5.10)$$

где \bar{I}_2 – средний дебит метана, проходившего в замерном пункте, расположенном вблизи очистного забоя (пункт 2), в выработке, по которой воздух поступает к лаве, м³/мин;

\bar{I}_1 – средний дебит метана, поступающего с вентиляционной струей на выемочный участок (пункт 1), м³/мин;

\bar{I}_{yT} – средний дебит метана, уносившегося утечками из выработки, по которой поступивший на участок воздух движется к лаве, м³/мин.

Значение \bar{I}_{yT} может быть определено по формуле:

$$\bar{I}_{yT} = \frac{(\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2)(\bar{C}_2 - \bar{C}_1)}{200}, \quad (5.11)$$

где \bar{Q}_1, \bar{Q}_2 – средний дебит воздуха, проходившего в период наблюдений за газовыделением соответственно в замерных пунктах 1 и 2, расположенных в начале выработки и вблизи очистного забоя, по которой воздух поступает на выемочный участок, м³/мин;

\bar{C}_1, \bar{C}_2 – средняя концентрация метана за весь период наблюдений в пунктах 1 и 2, расположенных соответственно вблизи очистного забоя и в начале выработки, %.

Среднюю концентрацию метана в каждом замерном пункте за весь период наблюдений определяют по формуле:

$$\bar{C}_i = \frac{\sum C_i}{m_c}, \quad (5.12)$$

а средний дебит воздуха в каждом замерном пункте определяют по формуле:

$$\bar{Q}_i = \frac{\sum Q_i}{m_c}, \quad (5.13)$$

Среднее метановыделение в тупиковую часть подготовительной выработки, опережающую лаву, \bar{I}''_0 определяют по формуле (5.8). При этом, определяя I''_0 по формуле (5.5), значение \bar{C}_i берут как разность между содержанием метана в воздухе, исходящем из тупиковой части выработки, и со-

держанием метана в пункте, расположенном вблизи очистного забоя на поступающей струе. Средний дебит метана, приносимого в призабойное пространство очистного забоя поступившим в него воздухом $\bar{I}_л$, определяют:

- при отсутствии тупиковой выработки, проветриваемой последовательно с лавой по формуле:

$$\bar{I}_л = \bar{I}_к, \quad (5.14)$$

- при наличии тупиковой выработки, проводимой впереди лавы, по формуле:

$$\bar{I}_л = \bar{I}_к + \bar{I}_0'', \quad (5.15)$$

где $\bar{I}_к$ – дебит метана, проходившего в замерном пункте вблизи очистного забоя, в выработке, по которой воздух поступает к лаве, м³/мин.

Среднее метановыделение из разрабатываемого пласта в рабочее пространство лавы при производстве поперечных газовых съёмок определяют:

- если кривая I (рис. 5.1) вогнутая, по формуле:

$$\bar{I}_{o.з} = \frac{(\bar{I}_{н.с} - \bar{I}'_л) \cdot K_{н.в} l_{оч}}{l_{оч} - l'}; \quad (5.16)$$

- если кривая I (рис. 5.1) ниспадает от кромки очистного забоя в сторону выработанного пространства, по формуле:

$$\bar{I}_{o.з} = \frac{(\bar{I}_{н.с} - \bar{I}'_л) \cdot l_{оч}}{l_o - l'}, \quad (5.17)$$

где $\bar{I}'_л$ – средний дебит метана, поступающего в лаву в период производства поперечных газовых съёмок, м³/мин.

Значение $\bar{I}'_л$ определяют так же, как и значение $\bar{I}_л$.

Среднее метановыделение из разрабатываемого пласта в призабойное пространство лавы за весь период наблюдений определяют:

- при наличии тупиковой подготовительной выработки опережающей лаву для сплошной системы разработки и примыкании исходящей вентиляционной струи к выработанному пространству и целику угля по формуле:

$$\bar{I}_{нл} = \bar{I}'_{o.з} \frac{\bar{I}_c}{\bar{I}'_c} + \bar{I}'_o + \bar{I}_o'' + \bar{I}_{yT}, \quad (5.18)$$

- при отсутствии тупиковой подготовительной выработки, опережающей лаву

$$\bar{I}_{нл} = \bar{I}'_{o.з} \frac{\bar{I}_c}{\bar{I}'_c} + \bar{I}'_o + \bar{I}_{yT}, \quad (5.19)$$

- при наличии тупиковой подготовительной выработки, опережающей лаву, для коренной лавы и комбинированной системы разработки (парные штреки прямой ход) по формуле:

$$\bar{I}_{nl} = \bar{I}'_{o.3} \frac{\bar{I}_c}{\bar{I}'_c} + 0,5\bar{I}''_o, \quad (5.20)$$

- при отсутствии тупиковой подготовительной выработки, опережающей лаву,

$$\bar{I}_{nl} = \bar{I}_{o.3} \frac{\bar{I}_c}{\bar{I}'_c}, \quad (5.21)$$

где \bar{I}_c , \bar{I}'_c – средний дебит метана, выделившегося из очистной выработки, соответственно при наблюдении за газовыделением, когда в лаве производились работы, и при выполнении поперечных газовых съемок, м³/мин.

Значения \bar{I}_c и \bar{I}'_c определяют по формуле (5.8) при схемах проветривания выемочных участков без подсвеживания, а при схемах проветривания с подсвеживанием

$$\bar{I}_c = \bar{I}_6 - \bar{I}_5, \quad (5.22)$$

где \bar{I}_6 , \bar{I}_5 – средний дебит метана, проходившего в пунктах, расположенных вблизи очистного забоя на исходящей и подсвежающей струе, м³/мин.

Удельное газовыделение из разрабатываемого пласта за период наблюдений определяют по формуле:

$$q_{nl} = \frac{1440 \cdot I_{nl}}{A} \frac{100}{100 - A^c}, \quad (5.23)$$

где A – добыча из очистной выработки, т/сут;

A^c – природная зольность угля, %.

Величину остаточной газоносности угля, выдаваемого за пределы пункта наблюдений за газовыделением на поступающей струе воздуха, определяют по формуле:

$$\bar{X}'_o = \frac{\sum X_{oi}}{n_o}, \quad (5.24)$$

где X_{oi} – остаточная газоносность отбитого угля в i -й пробе, м³/т б.м.;

n_o – число проб угля, наработанных для определения остаточной газоносности за весь период наблюдений.

5.1.2. Методика определения природной газоносности пласта по газовой съемке в подготовительной выработке

Методика определения природной газоносности пласта по газовой съемке в подготовительной выработке включает в себя определение определения удельного метановыделения из отбитого угля и движущегося забоя. Сущность метода заключается в определении объема газа, выделившегося из отбитого угля и движущегося забоя при прохождении подготовительной нарезной выработки по угольному пласту, по замерам дебита воздуха и содержанию метана в исходящей вентиляционной струе, объеме вынутаго угля за время наблюдений и содержания газа в угле при выдаче его за пределы пункта наблюдений. Газоносность разрабатываемых угольных пластов определяют как сумму удельного метановыделения из отбитого угля и движущегося забоя $q_{o,y}$ и величины остаточной газоносности угля $\bar{X}_{o.umt}$, т.е.

$$X = q_{o,y} + \bar{X}_{o.umt}, \quad (5.25)$$

Величину $q_{o,y}$ определяют по результатам газовой съемки, проводимой в подготовительной выработке, а $\bar{X}_{o.umt}$ – по пробам угля, набранного в колбы.

Для определения удельного метановыделения из отбитого угля и движущегося забоя в прямой незагроможденной части выработки оборудуют пункт наблюдений. При прохождении выработки комбайном пункт наблюдений устанавливают не ближе 30 м и не далее 70 м от забоя. Измеряют среднюю скорость движения воздуха в пункте наблюдений. Скоростное давление замеряют в 10 точках, расположенных по диаметру вентиляционной трубы. Расстояние от стенки трубы до каждой точки замера h_{ck} берут равным $D_{mp}K_{mp}$, где D_{mp} – внутренний диаметр вентиляционной трубы; K_{mp} – коэффициент связи.

Количество отдельных измерений скорости движения воздуха должно быть не менее четырех. Замер скорости движения воздуха в пункте наблюдений должен осуществляться перед каждым технологическим циклом наблюдений. Длительность технологического цикла определяется временем, прошедшим от начала одной из основных операций (выемка угля, крепление, выемка породы) до повторения ее после завершения всех других операций в забое выработки. В течение трех смен и не менее чем в трех технологических циклах набирают пробы воздуха «мокрым» способом для лабораторного определения в нем содержания метана.

При прохождении выработки комбайном пробы воздуха отбирают следующим образом. За час до начала работы по выемке угля пробы набирают через каждые 15 мин; во время выемки угля, транспортировки его от забоя до пункта наблюдений и время движения воздуха от забоя до

пункта наблюдений (T_B) – через каждые 3 мин; при выемке породы – через 10 мин; в остальное время (крепление, настилка пути и др.) – через каждые 20 мин. Отбирают 2 – 3 пробы воздуха в каждую смену перед вентилятором местного проветривания. Пробы воздуха набирают в начале смены и в ее конце.

Время движения воздуха от забоя до пункта наблюдений определяют по формуле:

$$T_B = \frac{l_n}{60v_B}, \quad (5.26)$$

где l_n – расстояние от забоя до пункта наблюдений, м;

v_B – замеренная средняя скорость движения воздуха в пункте, м/с.

Наряду с набором проб воздуха в пункте наблюдений необходимо за каждый технологический цикл набрать не менее трех проб угля для определения остаточной газоносности. Одновременно с проведением съемки в замерном пункте после каждого технологического цикла измеряют проходжение выработки за цикл, повторяют измерения и ведут хронометраж выполняемых работ в забое с фиксацией времени работы комбайна по выемке угля, породы, крепления выработки и других операций. Обработка результатов наблюдений производится по следующей методике.

Количество воздуха, проходившего в пункте наблюдения, определяют по формуле:

$$Q_B = 60Sv_B, \quad (5.27)$$

где S – площадь поперечного сечения выработки (трубопровода) в свету, м²;

v_B – средняя скорость движения воздуха в выработке, м/с;

$$v_B = \frac{\sum_{i=1}^{n_m} v_{B_i}}{n_m} K_n, \quad (5.28)$$

n_m – число замеров скорости движения воздуха в выработке;

v_{B_i} – скорость движения воздуха в выработке при i -том замере, м/с;

Средняя скорость движения воздуха в трубопроводе определяют по формуле:

$$v_B = \frac{1}{m} \sqrt{\frac{0,2g \sum h_{ck}}{\gamma}}, \quad (5.29)$$

где g – ускорение силы тяжести, м/с²;

h_{ck} – скоростное давление в каждой точке замера, кг/с/м²;

γ – плотность воздуха, кг/м³.

Плотность воздуха определяют по формуле:

$$\gamma = 0,46 \frac{P}{273 + t_B}, \quad (5.30)$$

где P – барометрическое давление в горной выработке в месте замера h_{ck} в вентиляционной трубе, мм рт.ст.;

t_B – температура воздуха в том же месте, град.

Количество газа, проходившего в пункте наблюдений при каждом i -том наборе проб

$$I_i = 0,01 Q_B C_i, \quad (5.31)$$

где C_i – концентрация газа в пробе воздуха при каждом i -том наборе (%), которую определяют по результатам лабораторного анализа проб воздуха.

Среднее количество газа, поступившее в выработку со свежей струей воздуха

$$\bar{I}_\Pi = \frac{\sum I_{\Pi i}}{n_\Pi}, \quad (5.32)$$

где $I_{\Pi i}$ – количество газа, поступившее со свежей струей воздуха в выработку при каждом i -том наборе пробы, м³/мин;

n_Π – количество проб воздуха, набранных в течение наблюдений.

Среднее фоновое количество газа, проходившее в замерном пункте в каждом технологическом цикле, перед началом работ по выемке угля

$$I_{cp} = \frac{0,5 \sum [(I_{cp_i} + I_{cp_{i+1}})(T_{cp_{i+1}} - T_{cp_i})]}{\sum (T_{cp_{i+1}} - T_{cp_i})}, \quad (5.33)$$

где I_{cp_i} , $I_{cp_{i+1}}$ – количество газа, проходившего в замерном пункте во время i -того и последующего замеров при отсутствии работ по прохождению выработки и отбитого угля в ней, м³/мин;

T_{cp_i} , $T_{cp_{i+1}}$ – время, отвечающее соответственно i -тому и последующему замерам, ч, мин;

$T_{cp_{i+1}} - T_{cp_i}$ – интервал времени между наборами i -й и последующей проб, мин.

Среднее количество газа, выделявшегося с обнаженных поверхностей пласта в выработку при отсутствии работ по выемке угля

$$\bar{I}_{o.\Pi} = \bar{I}_{cp} - \bar{I}_\Pi, \quad (5.34)$$

Среднее количество газа, выделявшегося с обнаженной поверхности движущегося забоя

$$\bar{I}'_{o.п} = \frac{\bar{I}_{o.п} B_g}{2l_{п} + B_g}, \quad (5.35)$$

где B_g – ширина забоя выработки по углю, м;

$l_{п}$ – расстояние от забоя до замерного пункта, м.

Количество газа, вынесенное исходящей вентиляционной струей воздуха из выработки за каждый цикл наблюдений

$$V_c = \sum_{i=1}^{n_c} \frac{I_i + I_{i+1}}{2} (T_{i+1} - T_i), \quad (5.36)$$

где I_i, I_{i+1} – количество газа, прошедшее через пункт наблюдений соответственно при i -том и следующим за ним $i+1$ наборе проб воздуха, м³/мин;

T_i, T_{i+1} – время i -того и следующего набора проб воздуха, ч, мин;

n_c – количество проб воздуха, набранных в течение цикла наблюдений.

Количество газа, выделившегося из отбитого угля и движущегося забоя $V_{o.ц.у}$ (м³) за время технологического цикла

$$V_{o.ц.у} = V_{ц} - \bar{I}_{ср} T_{ц} - V_{оп} + \bar{I}'_{o.п} T_{ц}, \quad (5.37)$$

где $V_{o.п}$ м – количество газа, выделившегося с боковых вновь обнаженных поверхностей пласта (со стенок приращенной за данный цикл части выработки), м³;

$$V_{o.п} = \frac{2V'_{o.п} l_o}{2l_o + b_g}, \quad (5.38)$$

$T_{ц}$ – время от начала до окончания технологического цикла (продолжительность цикла), мин;

l_o – глубина заходки по углю (прохождение выработки за данный цикл наблюдений), м;

$V'_{o.п}$ – общее количество газа, выделившегося за технологический цикл с вновь обнаженной поверхности пласта (со стенок в приращенной части выработки и обновленного забоя), м³;

b_g – ширина выработки по углю, м.

Для определения $V'_{o.п}$ строят график изменения газовыделения во времени (рис. 5.2). При этом на оси абсцисс отмечают время начала и

окончания выемки угля $T_{н.в.у}$, $T_{о.в.у}$; окончания выдачи угля из выработки до пункта наблюдений $T_{о.т.у}$; начала и окончания выемки породы $T_{н.в.п}$, $T_{о.в.п}$; окончания выдачи породы $T_{о.п}$.

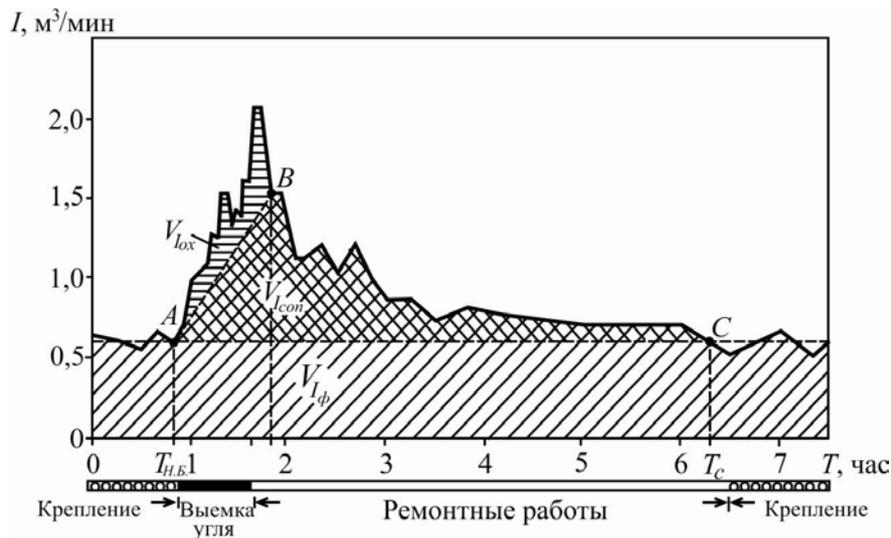


Рис. 5.2. График изменения газовой выработки во времени при прохождении комбайном 4-го южного ходка по пл. q_2''

На графике из точки A , отвечающей дебиту газа вначале работы комбайна по выемке угля, проводят прямую до точки B , отвечающей дебиту газа после прекращения выемки угля и выдаче его за пункт наблюдений. Площадь, ограниченная у основания линией AB и графиком изменения I_i в интервале времени от начала до окончания работы комбайна по выемке угля и выдаче его из выработки, составляет в масштабе количество газа, выделившегося из отбитого угля; площадь, ограниченная у основания линией фонового газовой выработки, а сверху – линией AB и графиком I_i от точки B до слияния с линией фона (C), составляет количество газа, выделившееся с боковых вновь обнаженных поверхностей пласта и обновленного забоя. Это количество газа определим по формуле:

$$V'_{о.п} = \frac{I_A + I_B}{2} (T_c - T_A) + \sum_{i=B}^C \frac{I_i + I_{i+1}}{2} (T_{i+1} - T_i) - \bar{I}_{cp} (T_c - T_A), \quad (5.39)$$

где I_A , I_B – количество газа, отвечающее точкам A и B , м³/мин;
 T_A , T_B , T_C – время, отвечающее точкам A , B , C , ч, мин;
 I_i , I_{i+1} – количество газа в момент отбора каждой i -й и последующей за ней $i+1$ пробы в интервалах времени от T_B до T_C включительно, м³/мин;
 T_i , T_{i+1} – время отбора i -той и последующей за ней $i+1$ пробы, ч, мин.

Среднее за период наблюдений удельное газовыделение из тонны вынутаго угля и движущегося забоя

$$q_{o.y} = \frac{1}{n_y} \sum_1^{n_y} \frac{V_{o.y.y}}{mb_g l_o \gamma} \cdot \frac{100}{100 - A^c}, \quad (5.40)$$

где n_y – количество технологических циклов, охваченных наблюдениями;

m – полная полезная мощность пласта, м;

γ – плотность угля, т/м³;

A^c – природная зольность угля, %.

Природную газоносность разрабатываемого пласта определяют по формуле (5.25), а величину остаточной газоносности угля, выдаваемого из выработки, по формуле:

$$\bar{X}_{o.um} = \frac{\sum X_{o.um_i}}{n_{o.um}}, \quad (5.41)$$

где $X_{o.um_i}$ – остаточная газоносность отбитого угля в i -й пробе, м³/т б.м.;

$n_{o.um}$ – число проб угля, набранных для определения остаточной газоносности за весь период наблюдений.

Методика оценки газовыделения из неподвижных обнаженных поверхностей угольного пласта заключается в определении фактического метановыделения с обнаженных поверхностей пласта в подготовительную выработку при ее проведении и расчете природной газоносности пласта по установленной зависимости, используя при этом фактическое метановыделение.

Природная газоносность разрабатываемого пласта по фактическому метановыделению с обнаженных поверхностей его I_ϕ в подготовительные выработки определяется по формуле:

$$X = \frac{263 \cdot 10^3 \cdot \bar{I}_\phi}{m(100 - A^c) \sqrt{V_g l_g}} + X'_{o.z}, \quad (5.42)$$

где \bar{I}_ϕ – фактическое среднее метановыделение с обнаженных поверхностей пласта в подготовительную выработку на участке проведения ее менее одного месяца, м³/мин;

m – полная полезная мощность пласта, м;

V_g – скорость подвигания подготовительной выработки, м/мес;

l_g – длина тупиковой части выработки, для которой определено \bar{I}_ϕ , м;

$X'_{o.z}$ – остаточная газоносность при атмосферном давлении и температуре пород на глубине проведения подготовительной выработки, м³/т б.м.

С помощью этого метода можно определять природную газоносность угольных и антрацитовых пластов, кроме высокометаморфизованных, при проведении подготовительных выработок, в не более 400 м от крупных геологических нарушений, имеющих выход на дневную поверхность, не ближе 100 м от плоскости разрыва мелкоамплитудных скрытых (не имеющих выхода на дневную поверхность) нарушений и не ближе 50 м от очистных выработок и выработанных пространств, а также вне зон влияния подработки и недоработки. Выемка пласта при проведении выработок должна осуществляться на полную мощность.

5.1.3. Метод определения природной газоносности разрабатываемого пласта по газовыделению пласта при бурении скважины

Сущность метода заключается в определении объема газа, выделившегося при бурении скважины, выхода штыба за время бурения каждого метрового отрезка и фоновое газовыделение со стенки скважины. Газоносность разрабатываемых угольных пластов определяют как сумму удельного метановыделения из угля и величины остаточной газоносности штыба. Этим методом можно определять газоносность разрабатываемых и антрацитовых пластов в любых горно-геологических если возможно бурение скважины диаметром 42 мм по угольному пласту.

Объектом для определения газоносности разрабатываемого пласта может служить очистная или подготовительная выработка независимо от способа выемки угля. В очистных выработках этот метод применяют при отсутствии подготовительных выработок, проходимых по пласту в пределах шахтного поля, или при необходимости определения газоносности пласта в отдельных точках очистного забоя. Схема устройства для определения газоносности угля по этому методу приведена на рис. 5.3.

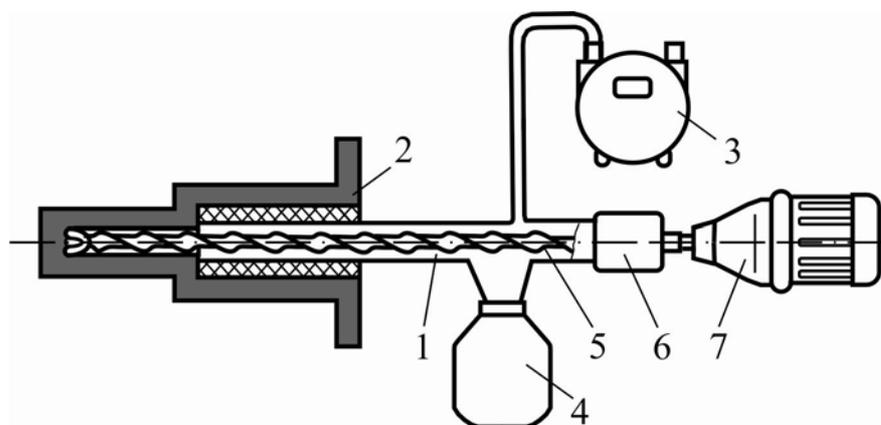


Рис. 5.3. Схема устройства для определения газоносности пласта:
 1 – корпус устройства; 2 – резиновый пакер для герметизации устья скважины;
 3 – газосчетчик; 4 – штыбоуловитель; 5 – буровая штанга;
 6 – приспособление для герметизации штанги; 7 – сверло

Методика шахтного эксперимента состоит в следующем. Из забоя подготовительной (очистной) выработки по пласту бурят скважины. Если угольный пласт сложного строения, то скважину бурят по наиболее мощной пачке. В подготовительной выработке скважину бурят, как правило, из забоя по ходу выработки, а в очистной – в зависимости от системы разработки, учитывая при этом величину условного пояса дренирования угольного массива. Скважину бурят сначала длиной 1,0 – 1,5 м. Затем ее очищают от штыба, вводят в нее корпус устройства 1 и герметизируют пакером 2 (рис. 5.3). К корпусу подсоединяют газосчетчик 3, штыбоуловитель 4 и приспособление для герметизации штанги 6. В дальнейшем бурение скважины осуществляют коронкой диаметром 42 мм.

По окончании подготовительных работ перед бурением скважины проверяют качество герметизации прибора. Для этого сжимают мешок штыбоуловителя, объем которого известен, и отмечают показание газосчетчика. Если показание на газосчетчике равно объему мешка, то герметизация считается достаточной. Кроме того, в течение последующих 2-3 мин после проверки герметизации по газосчетчику определяют газовыделение из скважины I_1 , когда бурение не производится (фоновое газовыделение). Затем бурят метровый отрезок скважины и определяют объем газа, выделившегося при бурении и стабилизации газовыделения в течение 9-10 мин после окончания бурения. За стабилизировавшееся принимают газовыделение, которое за 1 мин изменяется в пределах погрешности прибора, применяемого для замера.

В процессе бурения метрового отрезка фиксируют время бурения, время стабилизации газовыделения, стабилизировавшееся газовыделение и массу штыба. Показания счетчика снимают в процессе бурения и после бурения через каждую минуту. Время фиксируют с точностью до одной секунды.

Измерив газовыделение после бурения метрового отрезка, штыбоуловитель снимают, штыб взвешивают, в колбы отбирают пробы штыба для определения остаточной газоносности. После этого штыбоуловитель подсоединяют к воронке.

Затем бурят следующий метровый отрезок скважины и в дальнейшем порядок измерений повторяют до глубины 10-12 м. Для определения остаточной газоносности штыба из каждого метрового отрезка скважины отбирают не менее двух проб. Время от снятия штыбоуловителя до герметизации колбы не должно превышать 1 мин. Остаточную метаноносность штыба определяют в лаборатории по известной методике [44, 81]. По описанной методике в каждой выработке бурят не менее двух скважин.

Газоносность разрабатываемого пласта на каждом метровом отрезке скважины определяют по формуле:

$$X_m = \bar{X}_{o.c} \frac{1}{A_{ум}} \left(V - \frac{I_1 + I_2}{2} T_1 - I_2 T_2 \right) \frac{100}{100 - A_{ум}^c}, \quad (5.43)$$

где $\bar{X}_{o.c}$ – средняя остаточная газоносность штыба, м³/т б.м.

$$\bar{X}_{o.c} = \frac{\sum X_{o.ci}}{n_{o.c}}, \quad (5.44)$$

$\bar{X}_{o.ci}$ – остаточная газоносность штыба в i -той пробе, м³/т б.м.;

$n_{o.c}$ – число проб штыба, набранных для определения остаточной газоносности;

V – объем газа, выделившегося за время бурения и стабилизации газовыделения, л;

I_1 – газовыделение из скважины перед бурением, л/мин;

I_2 – стабилизировавшееся газовыделение из скважины после бурения, л/мин;

T_1 – время бурения метрового отрезка скважины, мин;

T_2 – время стабилизации газовыделения, мин;

$A_{ум}$ – масса штыба, кг;

$A_{ум}^c$ – зольность угля, %.

При поинтервальных измерениях по каждой скважине получают несколько значений газоносности угля. По мере увеличения расстояния от забоя газоносность угля возрастает, а затем стабилизируется. Стабилизировавшееся значение соответствует природной газоносности пласта или газоносности угля за пределами зоны влияния выработки.

Начало стабилизации газоносности устанавливают проверкой совокупности на присутствие в ней так называемых «выскакивающих» вариантов. Критерий для определения «выскакивающих» значений определяют по отношению

$$D = \frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1}, \quad (5.45)$$

где в числителе – разность между проверяемой наименьшей вариантой и следующей вариантой, а в знаменателе – разность между наибольшей и наименьшей вариантами ряда.

Затем определяется среднее значение, которое можно принимать за природную газоносность пласта (газоносность угля за пределами зоны влияния выработки).

5.1.4. Метод определения природной газоносности пласта по изотерме метаноемкости угля

Данный метод основан на изучении сорбционной газоёмкости угля в условиях наиболее приближенных к природным, т.е. при температуре, влажности и давлении, соответствующих пластовым, и определении количества свободного газа при этом давлении. Природную газоносность разрабатываемого пласта определяют как сумму сорбированного и свободного газа. Количество сорбированного газа при пластовом давлении определяют по экспериментальной изотерме сорбции, а количество свободного газа в угле рассчитывают, исходя из его фильтрующего объема и пластового давления. Пластовое давление газа либо непосредственно измеряют в пласте, либо рассчитывают по известным закономерностям [9, 44, 48, 81].

Этим методом можно определять природную газоносность пласта, если известно начальное (природное) давление газа в пласте, и остаточную газоносность пласта, когда замерено давление газа при действии факторов подработки, надработки или других, способствующих дегазации пласта. Естественно, в местах геологических нарушений пласта метод не приемлем.

Перед набором пробы с поверхности пласта снимают слой угля на глубину 5-10 см, а затем по всей мощности его отбивают куски угля не менее 50×50 мм, помещают в двойной полиэтиленовый мешок, засыпают угольной мелочью и мешок плотно перевязывают шпагатом. Вес угля в пробе должен быть не менее 2 кг.

После доставки пробы в лабораторию уголь вручную дробят до размеров кусков около 20×20 мм, квартуют и делят на две части. Одну часть, используемую для снятия изотермы сорбции, измельчают в виброистирателе 1-2 мин до получения фракции менее 0,5 мм, другую используют для определения природной влажности, действительной и кажущейся плотностей.

Уголь, измельченный в вибромельнице, взвешивают и загружают в две сорбционные колбы (для параллельных опытов) с легким уплотнением – встряхиванием. Поверх угля помещают металлическую сетку, предотвращающую потерю угля при его дегазации. После этого колбы герметизируют. Суммарное время измельчения, загрузки и герметизации угля не должно превышать 20 мин.

При определении сорбционной метаноемкости угля вначале выполняют промывку угля метаном. Для того чтобы удалить воздух, попавший в сорбционную колбу при ее загрузке, производят промывку угля метаном. Последний подают в колбу до давления около $5 \cdot 10^5$ Па и через 20 – 30 минут выпускают; операцию повторяют дважды. Далее в колбу подают метан до давления $20 \cdot 10^5 - 25 \cdot 10^5$ Па и через 15 – 20 часов снова выпускают, после чего уголь насыщают метаном до рабочего давления $50 \cdot 10^5 - 100 \cdot 10^5$ Па. Колбу помещают в термостат для установления сорбционного равновесия при температуре угольного пласта на глубине его залегания.

Снятие изотермы сорбции осуществляют следующим образом на сорбционной установке. Установка состоит из сорбционной колбы с образцовым манометром, ртутного манометра, двух стеклянных емкостей, гребенки с краном, трубки с ангидридом для улавливания влаги и соединительных резиновых трубок [44, 59]. После установления сорбционного равновесия при заданном давлении, через вентиль производят ряд последовательных выпусков метана через $5 \cdot 10^5 - 10 \cdot 10^5$ Па до равновесного давления $1 \cdot 10^5$ Па. Каждый следующий выпуск газа производят через 5-6 часов, т.е. после установления в системе нового равновесного давления. После каждого выпуска регистрируют показания ртутного манометра Z с точностью $\pm 0,7$ гПа, образцового манометра с точностью $\pm 0,1 \cdot 10^5$ Па и температуру с точностью $\pm 0,1$ °С. Установление в колбе сорбционного равновесия при $1 \cdot 10^5$ Па проверяют путем подключения ее к сорбционному прибору, заполненному метаном под давлением. Если после сообщения колбы с прибором давление в последнем изменяется, операцию повторяют. После проверки сорбционного равновесия из угля извлекают остаток газа путем многократных выпусков в вакуумированный сорбционный прибор, т.е. определяют сорбционную метаноемкость.

В конце эксперимента производят замеры пустого пространства колбы ($V_{n.n}$) гелием. Для этого уголь дегазируют в течение 6-7 часов с помощью вакуумного насоса. А замер $V_{n.n}$ производят следующим образом. Перекрывают вентиль и в сорбционный прибор через специальный кран подают гелий из резиновой камеры до установления в нем заданного давления, что регистрируют манометром; камеру заполняют гелием из баллона непосредственно перед экспериментом. Затем кран перекрывают, и через вентиль гелий поступает в сорбционную колбу. В результате давление в приборе уменьшают до величины P_1 , что также регистрируют манометром. Тогда пустое пространство сорбционной колбы $V_{n.n}$ рассчитывают по уравнению газового состояния

$$V_{n.n} = \frac{(V_1 + V_2)P_0 - (V_1 + V_3)P_1}{P_1}, \quad (5.46)$$

где V_1 – постоянный объем сорбционного прибора, см³;
 V_2 – переменный объем сорбционного прибора;
 P_0 – начальное давление гелия в сорбционном приборе;
 V_3 – переменный объем сорбционного прибора при замерном давлении, см³;
 P_1 – давление газа в сорбционном приборе после заполнения им пустого пространства колбы, гПа.

После этого колбу раскрывают, отбирают пробу угля для определения его остаточной влажности, зольности и выхода летучих веществ. По

остаточной влажности угля рассчитывают общее количество потерянной им в процессе эксперимента влаги в см^3 и на эту величину уменьшают объем пустого пространства.

Следующим этапом является обработка экспериментальных данных. Количество десорбированного газа a_i после каждого выпуска рассчитывают и приводят к нормальным условиям при P_0 и T_0 по формуле:

$$a_i = \frac{T_0 P_i \cdot \left[V_1 + \frac{\pi d^2}{4} (b - x_i) \right] \cdot K_3}{A_y P_0 (T_0 + t)} - \frac{V_{n.n} K_3}{A_y} \left(\frac{P_1}{\alpha_1} - \frac{P_2}{\alpha_2} \right) \cdot 10^{-5}, \quad (5.47)$$

где P_i – показание U -образного манометра после выпуска газа, гПа;

d – внутренний диаметр трубки U -образного манометра, см;

x_i – уровень ртути в нижнем колене манометра после выпуска газа, см;

b – уровень ртути в манометре при положении «вакуум», см;

t – температура эксперимента, °С;

P_1, P_2 – давление газа в сорбционной колбе до и после выпуска газа соответственно, Па;

α_1, α_2 – степень сжимаемости метана при температуре t в давлениях P_1, P_2 соответственно;

A_y – масса естественно-влажного угля, г;

K_3 – коэффициент беззольной массы равен $\frac{100}{100 - A^c}$;

A^c – содержание золы в угле, %.

Объем пустого пространства сорбционной колбы, определенный согласно пункту 5.3.3, включает и объем микропор W_n , что необходимо учитывать при расчете сорбции. Для этого количества газа, выделившегося из угля при каждом выпуске, пересчитывают либо по формуле (5.45), в которой экспериментально определенное значение $V_{n.n}$ заменяют величиной $V'_{n.n} = V_{n.n} - WA_y / K_3$, либо к десорбированному газу прибавляют количество метана, соответствующее произведению $W_n P_i / \alpha_i$ (см. табл. 5.1, графы 5, 6).

Объем микропор угля с погрешностью, не превышающей 3 %, рассчитывают по эмпирической формуле:

$$W_0 = 0,0016(a_{50} + 1), \quad (5.48)$$

где a_{50} – экспериментальная величина сорбции естественно-влажного угля при давлении $50 \cdot 10^5$ Па и температуре эксперимента, $\text{см}^3/\text{г б.м.}$

Таблица 5.1. – Экспериментальные данные для построения изотермы метаноемкости

| № выпуска | Равновесное давление $\times 10^{-5}$, Па | Количество десорбированного газа, $\text{см}^3/\text{г б.м.}$ | | Поправка на объем микропор, $\frac{W_0 P_i}{\alpha_i} \cdot 10^{-5}$, $\text{см}^3/\text{г б.м.}$ | Количество десорбированного метана при давлении с учетом поправки, $\text{см}^3/\text{г б.м.}$ |
|-----------|--|---|---------------|--|--|
| | | при данном выпуске | суммарное | | |
| - | 1,0 | 1,8 | | 0,9=0,048=0,04 | 1,8=0,04=1,8 |
| 5 | 9,3 | 6,5 | 1,8+6,5=8,3 | 8,5+0,048=0,4 | 8,3+0,4=8,7 |
| 4 | 17,5 | 3,6 | 8,3+3,6=11,9 | 16,2+0,048=0,8 | 11,9+0,8=12,7 |
| 3 | 26,2 | 2,2 | 11,9+2,2=14,1 | 24,6+0,048=1,2 | 14,1+1,2=15,3 |
| 2 | 40,1 | 2,0 | 14,1+2,0=16,1 | 38,5+0,048=1,8 | 16,1+1,8=17,9 |
| 1 | 53,9 | 1,5 | 16,1+1,5=17,6 | 52,9+0,048=2,5 | 17,6+2,5=20,1 |

Для построения изотермы сорбции количество десорбированного метана в см^3 на 1 г влажной беззольной массы угля после каждого выпуска последовательно суммируют и относят к соответствующему давлению сорбционного равновесия, при этом учитывают величину сорбции при $1 \cdot 10^5$ Па.

В качестве примера в таблице 5.1 приводится пример построения изотермы сорбционной метаноемкости естественно-влажного угля по экспериментальным данным.

Расчет природной газоносности угольного пласта X рассчитывают по уравнению:

$$X = a + V_{св}, \quad (5.49)$$

где a – количество сорбированного метана по изотерме сорбции при температуре и давлении соответствующем пластовым, см^3 ;

$V_{св}$ – количество свободного метана, находящегося в порах угля, $\text{см}^3/\text{г б.м.}$, рассчитанное по уравнению:

$$V_{св} = \frac{P_{пл} (V_{пор} - W_0)}{\alpha \cdot 10^5}, \quad (5.50)$$

где $P_{пл}$ – пластовое давление, Па;

α – степень сжимаемости метана при давлении и температуре пласта (коэффициент Амага), справочные данные;

$V_{пор}$ – общий объем пор угля, $\text{см}^3/\text{г б.м.}$

$$V_{пор} = \frac{d_{\delta} - d_k}{d_{\delta} \cdot d_k}, \quad (5.51)$$

d_o – действительная плотность угля, определяемая экспериментально гелиевым методом или в смачивателе, г/см³ б.м.;

d_k – кажущаяся плотность угля, определяемая экспериментально методом гидростатического взвешивания, г/см³ б.м.

Пластовое давление газа определяют непосредственными замерами в пласте. Замеры газового давления производят в скважинах, пробуренных из подземных выработок по пласту, или через породную пробку на угольный пласт, например, приборами ПГД-2 или ДДК-1. Давление газа может определяться различными методами, например, с использованием указанных выше приборов или приведенными методами в работах [9, 80 -83].

В исключительных случаях для приближенной оценки газоносности пласта давление газа может быть рассчитано по известному уравнению:

$$P_{пл} = 0,1(H - H_0) \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^5, \quad (5.52)$$

5.1.5. Расчетный метод определения природной газоносности разрабатываемого пласта

В основу этого метода положены закономерности изменения газоносности угольных пластов от глубины залегания ниже границы метановой зоны, степени метаморфизма угля и температуры угольного массива. Расчетным методом можно определять природную газоносность угольных и антрацитовых пластов при отсутствии подработки или надработки, мероприятий по искусственной дегазации пластов и геологических нарушений, отсекающих пласты от выходов под насосы.

Расчетный метод рекомендуется к использованию в тех случаях, когда невозможно по каким-либо причинам определить природную газоносность по газовыделению в горные выработки. Природную газоносность угольных и антрацитовых пластов рассчитывают по следующей методике:

- для антрацитовых пластов с удельным электросопротивлением $\lg \rho \geq 4$ и каменных углей по формуле:

$$X = \frac{30,3}{X^{0,63} e^{0,012t_{н0}}} + \frac{(H - H_0)K_t}{[a \cdot (H - H_0) + bk^3 + c] \cdot \left[1 + \frac{1100 \cdot \alpha_{пл}}{\alpha_{пл}(H - H_0) \cdot 5 \cdot 10^4} \right]}, \quad (5.53)$$

- для антрацитовых пластов с удельным электросопротивлением $\lg \rho < 4$ по формуле:

$$X = \frac{127}{(5 - \lg \rho)^{1,2} e^{0,012t_{н0}}} + \frac{(H - H_0)K_t}{[a \cdot (H - H_0) + 0,004 \lg \rho^4 + c_1] \cdot \left[1 + \frac{1100 \alpha_{пл}}{\alpha_{пл}(H - H_0) \cdot 5 \cdot 10^4} \right]}, \quad (5.54)$$

где K – коэффициент, равный показателю степени метаморфизма; для антрацитовых пластов $K = \lg \rho$, а для каменных углей $K = V^2$;

$\lg \rho$ – логарифм удельного электросопротивления;

t_{H_0} – температура угольного пласта на глубине границы метановой зоны, град;

H – глубина залегания пласта, для которой определяется метаносность угольного пласта, м;

H_0 – глубина зоны газового выветривания, м;

V^2 – выход летучих веществ на сухую беззольную массу, %;

e – основание натуральных логарифмов, равное 2,72;

a, b, c – константы, определяемые по формулам:

$$a = \frac{1}{39,2 - 0,495K}, \quad (5.55)$$

$$b = 6,26 \cdot 10^{-4} + 4,2 \cdot 10^{-7} K + 1,15 \cdot 10^{-6} (H - H_0)^{0,8} - 2,47 \cdot 10^{-7} K^2, \quad (5.56)$$

$$c = 3,225 - 0,0716K \text{ при } V^2 > 45 \% \quad c = 0; \quad (5.57)$$

α_{nl} – средневзвешенный угол падения пласта в интервале глубины $H - H_0$, град;

K_t – коэффициент, учитывающий влияние температуры пород на величину x ;

$$K_t = \frac{1,15 + 0,0007H}{1 + 0,02t_H}, \quad (5.58)$$

t_H – температура пород на глубине H , град;

a_1, c_1 – константы, определяемые по формулам:

$$a_1 = 2,3e^{-1,2 \lg \rho} + 0,004, \quad (5.59)$$

$$c_1 = \frac{\lg \rho}{0,3775 \lg \rho - 0,705}, \quad (5.60)$$

В формулах (5.54 – 5.56) при определении газоносности антрацитовых пластов с показателем $\lg \rho > 4$ вместо V^2 следует подставлять $\lg \rho$. Величины V^2 , $\lg \rho$, α_{nl} , H_0 , входящие в расчетные формулы, устанавливаются по материалам, имеющимся на шахтах в геологических отчетах или по планам горных работ.

5.2. Исследование связи газодинамической активности угленородного массива при выполнении гидрорыхления на шахте им. А. А. Скочинского

Анализ газового фактора, оцениваемого по изменениям начальной скорости газовой выделения в шпур и по динамике фоновых концентраций метана в атмосфере выработки, их максимальных значений при газодинамических явлениях, работе комбайна, а также при выемке и зачистке угля в забое. Источником информации послужили измерения начальной скорости газовой выделения в шпур при оценке эффективности гидрорыхления и результаты контроля концентрации метана в атмосфере выработки системой АКМ и фиксацией данных при помощи программно-аппаратного комплекса КАГИ.

5.2.1. Оценка газодинамического состояния угленородного массива при выполнении гидрорыхления по начальной скорости газовой выделения

Измерения начальной скорости газовой выделения g_0 выполнялись в соответствии с п. 6.3.6 «Правил ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям» [48]. Величина измерительной камеры составляла 0,2 м, измерения осуществлялись поинтервально (1-0,5 м) при бурении шпура длиной до 3,5 м. Для относительной оценки газоносности угольного пласта в призабойной части использованы максимальные значения, которые, как правило, фиксировались на последнем интервале бурения 3,5 м.

Для связи газодинамических (при сотрясательном взрывании в нижней нише 2-й западной лавы) явлений с проявлением газового фактора выбросоопасности использованы результаты измерений при оценке гидрорыхления в нише (шпур № 1) и ближайших к нише скважинах (шпур № 2 и № 3), отстоящих от ниши на расстоянии, соответственно, 4 м – 9 м и 13 м – 18 м. В таблице 5.1 приведена сводка данных максимальных значений начальной скорости газовой выделения по шпурам № 1-3 в зависимости от промежутка времени между выбросом угля и газа и выполнением измерений. Исследования показали, что достаточно ограничиться анализом данных при длительности от суток до 8-ми суток времени от измерений до ГДЯ.

Для анализа использованы измерения g_0 перед ГДЯ, произошедшими в период от 22.01.10 до 03.06.10 г. Следует учесть тот факт, что измерения начальной скорости газовой выделения по условиям технологии выполнялись один раз в 2-3 суток, чем объясняется ограниченное число данных измерений.

В районе нижней ниши 2-й западной лавы значения g_0 в пределах 1-3 суток до ГДЯ изменяются от 0,56 л/мин до 2,0 л/мин при средних от 1,35 до 1,63. С учетом разброса значений в выборках и коэффициентах вариации (33-62%) для этих временных интервалов можно принять среднее значение

1,45 л/мин. По мере увеличения промежутка между измерениями и ГДЯ растут значения скорости газовыделения. Максимальные значения g_0 (до 9,55 л/мин) зафиксированы за 4-5 суток до газодинамического явления при среднем – 4,48 л/мин. При увеличении срока до ГДЯ (6-8 суток) вновь уменьшается среднее значение g_0 до 2,4 л/мин.

Таблица 5.2. – Динамика начальной скорости газовыделения перед выбросами угля и газа в нижней нише 2-й западной лавы УПЦП пласта h_6'

| № шпура, статистические характеристики | Значения g_0 на интервале 3,5 м (л/мин) | | | | |
|--|---|-------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | Сутки, предшествующие выбросу угля и газа | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 2; 1,63; 0,72; 2,18 | 1,17; 1,86; 1,01 | 0,56; 2,26; 1,29 | 2,26; 1,79; 4,69; 1,62; 6,96; 9,55 | 5,15; 0,91; 1,84; 0,7; 3,5; 3,71; 1,56; 1,84 |
| \bar{g}_n | 1,63 | 1,35 | 1,37 | 4,48 | 2,4 |
| σ | 0,65 | 0,45 | 0,85 | 3,2 | 1,5 |
| $k_{\text{вар}}, \%$ | 39,9 | 33,5 | 62,2 | 72,2 | 64,8 |
| 2 | 3,78; 3,0; 1,02; 9,4; 4,12; 6,15 | 3,22; 4,6; 4,0; 1,78 | 7,91; 1,02; 8,44; 6,6; 1,86 | 4,22; 3,0; 6,6; 1,99; 10,57; 11,29; 7,57; 5,58 | 6,7; 1,92; 3,0; 1,06; 3,94; 5,67; 3,14; 8,84; 8,31 |
| \bar{g}_n | 4,58 | 3,4 | 5,17 | 6,35 | 4,73 |
| σ | 2,8 | 1,22 | 3,5 | 3,362 | 2,78 |
| $k_{\text{вар}}, \%$ | 63,1 | 35,9 | 67,3 | 52,9 | 58,9 |
| 3 | 5; 7,72; 1,26; 16,52; 8,24; 10,27 | 8,86; 6,1; 3,14 | 7,91; 1,37; 16,52; 7,56; 1,99 | 5,76; 6,1; 2,14; 13,65; 8,86; 1,97; 8,84 | 6,2; 7,21; 3,66; 5,47; 6,7; 4,83; 11,0; 10,17 |
| \bar{g}_n | 8,15 | 6,03 | 7,07 | 8,19 | 6,91 |
| σ | 5,13 | 2,86 | 6,09 | 3,91 | 2,53 |
| $k_{\text{вар}}, \%$ | 63,0 | 47,4 | 86,1 | 47,8 | 36,7 |

Значения измерений в шпуре № 2 в 2-3 раза выше, чем в шпуре №1. При этом по мере увеличения времени между измерениями g_0 и реализацией ГДЯ значения начальной скорости газовыделения не более 50%. Минимальные значения зафиксированы за 2 суток до ГДЯ, а максимальные – за 4-5 суток (как для шпура № 1).

Для шпура № 3 значения скорости газовыделения еще возрастают в 1,5-2 раза по сравнению со шпуром № 2, в большей степени нивелируются значения при изменении времени до ГДЯ, при этом по-прежнему минимальные значения для первого интервала до ГДЯ и максимальные – для 4-5 суток.

Таким образом, за трое суток до газодинамического явления существенно уменьшается газоотдача в шпур, пробуренный в нише (№ 1), оставаясь в среднем более низкой по сравнению с комбайновой частью

лавы. Вблизи ниши (шпур № 2) изменения g_0 с длительностью времени между измерением и ГДЯ изменяется несущественно, а в пределах шпура № 3 – еще менее значительны. Средний уровень газоотдачи в нише перед ГДЯ в 2-4 раза ниже, чем в комбайновой части лавы, за 4 и более суток до ГДЯ (обычные фоновые значения) газоотдача в нише в остальные моменты не отличается от комбайновой части, однако средние значения в 2-3 раза ниже.

Представленные данные позволяют сделать следующие выводы:

- в комбайновой части лавы благодаря благоприятным условиям для развития деформаций, в том числе за счет гидрорыхления, дегазация призабойной части в целом более интенсивная по сравнению с нижней нишей;
- снижение газоотдачи в нише свидетельствует о повышенных напряжениях, защемление здесь краевой части угольного пласта;
- за трое суток и менее до газодинамического явления при ведении сотрясательного взрывания в нише существенно сокращается газоотдача угольного пласта, создаются условия для накопления метана и формирования выбросоопасной ситуации.

5.2.2. Исследование динамики изменения концентрации метана в исходящей струе при выполнении гидрорыхления на шахте им. А. А. Скочинского

Для оценки влияния газового фактора на снижение газодинамической активности угольного пласта при ведении горных работ были проведены исследования динамики изменения концентрации метана по данным АКМ о содержании метана в атмосфере выработок, которые сосредоточены в КАГИ и представлены в виде распечаток различной детальности по времени. В процессе шахтных исследований газовый фактор оценивался по динамике фоновых концентраций метана в атмосфере выработки, максимальных значений при работе комбайна, при выемке и зачистке угля.

Концентрация метана в атмосфере горной выработки фиксировалась по всем трем лавам датчиками АКМ на исходящих из участков струй воздуха. Данные находятся в базе данных системы КАГИ. Используются посуточные распечатки значений за май-июнь 2009 г., июнь-сентябрь 2013 г., а в 2010 г. перед выбросом угля и газа в опережении конвейерного штрека 2-й западной лавы и 5-й западной лавы, посменные распечатки метана перед (за 2-4 суток) выбросами, микровыбросами угля и газа при ведении взрывных работ в нижних нишах 2-й западной, 2-й восточной лав и верхней нише 5-й западной лавы. Исследованиям подвергнуты фоновые концентрации метана, зафиксированные при отсутствии каких-либо работ по углю при устойчивом минимальном их значении (фоновые значения), и при работе комбайна по углю как при его выемке, так и при зачистке забоя (значения при работе комбайна).

Фоновые значения определялись по средней величине, как правило, минимальной концентрации, при работе комбайна к анализу принимались максимальные значения при выемке, зачистке угля и на протяжении их роста. Поскольку концентрация метана фиксировалась на значительном расстоянии от очистного забоя, кратковременные повышения нивелировались за счет турбулентного течения воздуха и рассеивания концентрации в потоке. Для оценки влияния работы комбайна на изменение концентрации метана в атмосфере вычислялся коэффициент G_k , равный отношению максимального значения концентрации метана при работе комбайна к фоновому значению.

На рис. 5.4 в качестве примера приведены графики изменения значений концентрации метана при работе комбайна в зонах отсутствия опасности газодинамического явления. Во 2-й западной лаве в неопасной по прогнозу выбросоопасности зоне (рисунок 5.4а) продолжительные устойчивые фоновые значения концентрации метана 0,53% и локальном повышении значений до 0,65-0,80%.

На рис. 5.4б приведен пример поведения концентрации метана в атмосфере выработки при прогнозе «неопасно» и работе комбайна в зоне влияния интенсивного выброса угля и газа, происшедшего 06.06.10 г. в лаве и приведшего на длительный период к устойчивому и невысокому напряженному состоянию массива, судя по значениям коэффициента выбросоопасности. Здесь фоновые значения концентрации метана также занимают длительный промежуток времени и равны 0,5%, а при работе комбайна они увеличиваются до 0,68%. На выходе из опасной по прогнозу ГДЯ зоны («опасно, зона запаса», рис. 5.4в) фоновые значения также устойчивы на длительных промежутках времени и равны 0,35%, а при работе комбайна концентрация метана в атмосфере увеличивается до 0,4-0,45.

Причиной локального повышения концентрации метана могут служить также гидрорыхление угольного пласта, работа отбойного молотка в верхней нише, взрывные работы в нижней нише. Возможны также технические причины – состояние датчика и его проверки, изменение скорости воздуха, посадка непосредственной и основной кровли. На приведенных рисунках четко видны проявления этих факторов на изменение концентрации метана. Эти причины могут повлиять как на определение фоновой концентрации, так и на максимальные значения при работе комбайна. Длительность спада концентрации метана в атмосфере после завершения работы комбайна зависит от ряда факторов, в том числе от эффективности выполненного гидрорыхления.

Концентрация метана, %

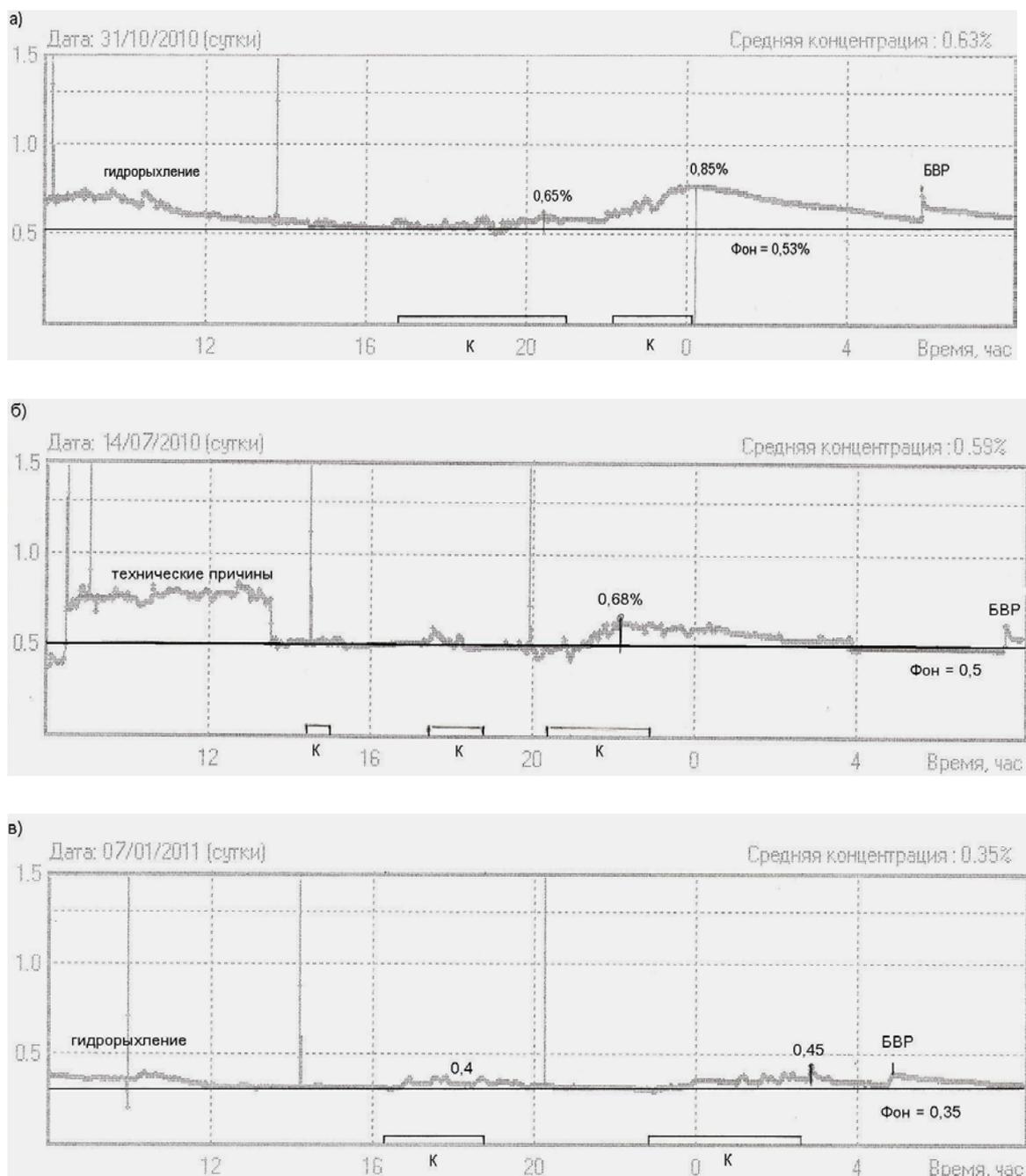


Рис. 5.4. Концентрация метана в исходящей струе воздуха 2-й западной лавы (участок №2) при отсутствии существенных аномалий напряженного состояния массива: а), б) при прогнозе «неопасно»; в) при прогнозе «опасно, зона запаса»; К – работа комбайна

На рис. 5.5 приведены примеры поведения концентрации метана в атмосфере выработки при неопасной по ГДЯ ситуации в забое 5-й западной лавы: а) и б) – в мае 2009 г., в) – в сентябре 2010 г. На рис. 5.5а концентрация метана зафиксирована 21 мая 2009 г., фоновые значения 0,77%, максимальные – 0,96%, а отдельные их всплески достигают 1,4%. Последние, возможно, обусловлены кратковременным выдавливанием метана при обрушении пород кровли. По данным 29.05.09 г. (рис. 5.5б) фоновые значения составили

0,47%, а максимальные значения концентрации метана при работе комбайна – 0,7-0,73%. Аналогичная ситуация характерна для неопасной по ГДЯ ситуации в 2010 г., это иллюстрирует рис. 5.5в: фоновые значения концентрации метана в атмосфере выработки устойчивы и составляют 0,47%, а максимальные при работе комбайна – 0,58-0,76%.

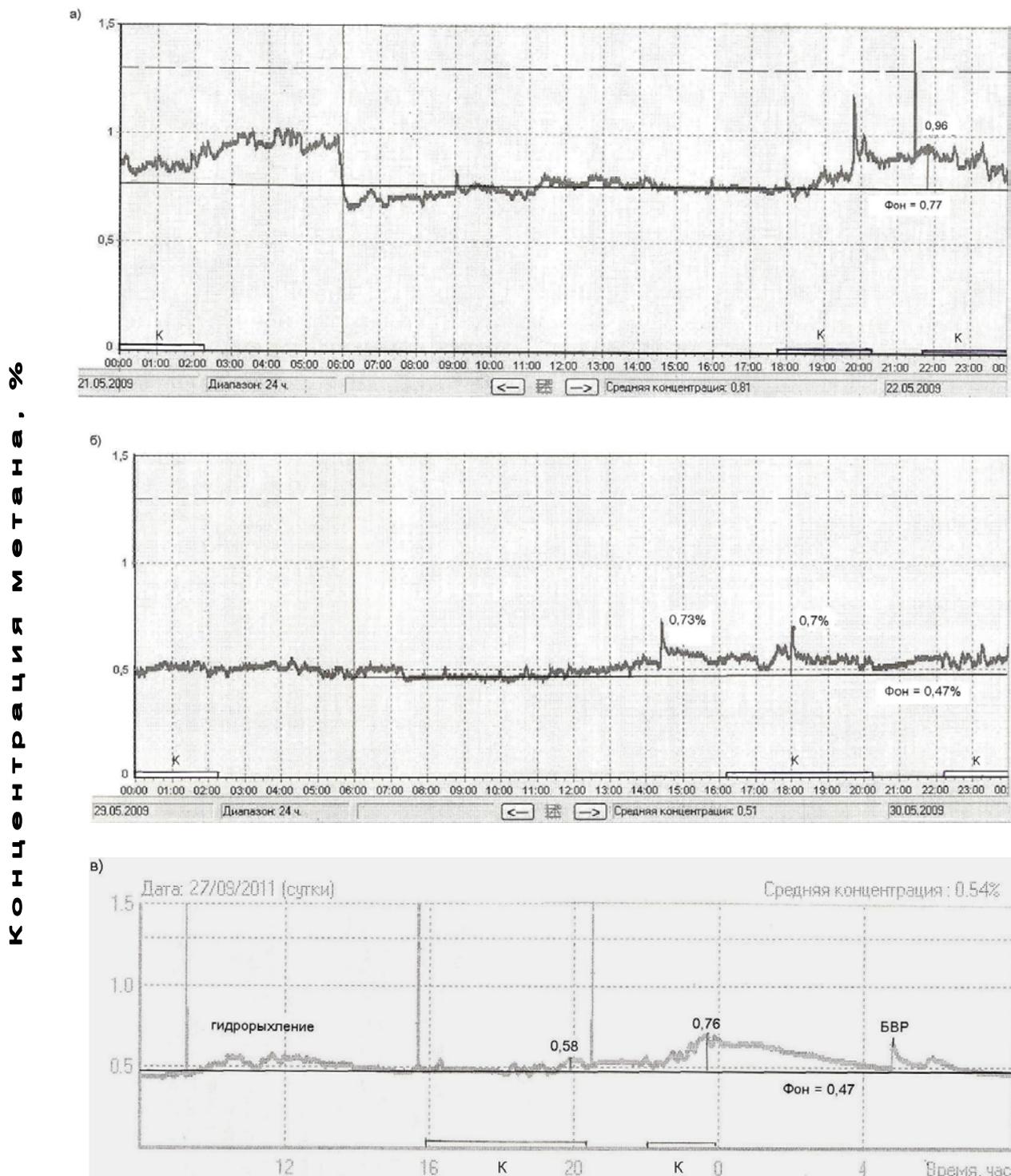


Рис. 5.5. Концентрация метана в исходящей струе воздуха из 5-й западной лавы участка №1 в пределах неопасных зон: а и б – май 2009 г.; в – сентябрь 2010 г.

Таким образом, для неопасных по ГДЯ ситуациям характерно продолжительное фоновое значение концентрации метана, определяемое по преобладанию минимальных значений в отсутствии какого-либо воздействия на угольный пласт, что отражает естественную дегазацию призабойной части угольного пласта.

При анализе концентрации метана установлено, что в зонах, потенциально опасных по газодинамическим явлениям, при сближенной работе комбайна повышения концентрации метана после первого цикла выемки и зачистки угля не опускается до фоновых значений, а еще более увеличиваются во втором цикле, достигая максимума, и к фоновому уровню опускаются через 8-10 часов. На рис. 5.6 приведен пример роста концентрации напряжений при сближенной работе комбайнов во 2-й западной лаве. На рис. 5.6а приведены значения концентрации метана при выходе забоя из зоны запаса (по акустическому прогнозу ГДЯ). Фоновые значения, определенные по ограниченному по времени отрезку перед началом работы комбайна по забою (минимальные устойчивые значения), равны 0,45%. При работе комбайна в первом цикле работы комбайна по забою значения концентрации метана увеличились до 0,73%, а во втором цикле – до 0,97%, при этом снижение до фоновых значений не произошло даже спустя 10 часов. В зоне «ОПАСНО, ЗОНА ЗАПАСА» 12.05.10 г. фоновые значения 0,35%, после первого цикла работы комбайна по забою концентрация метана в атмосфере увеличилась до 0,5%, а при втором цикле – до 0,88% и снижалась до фонового на протяжении 7 часов.

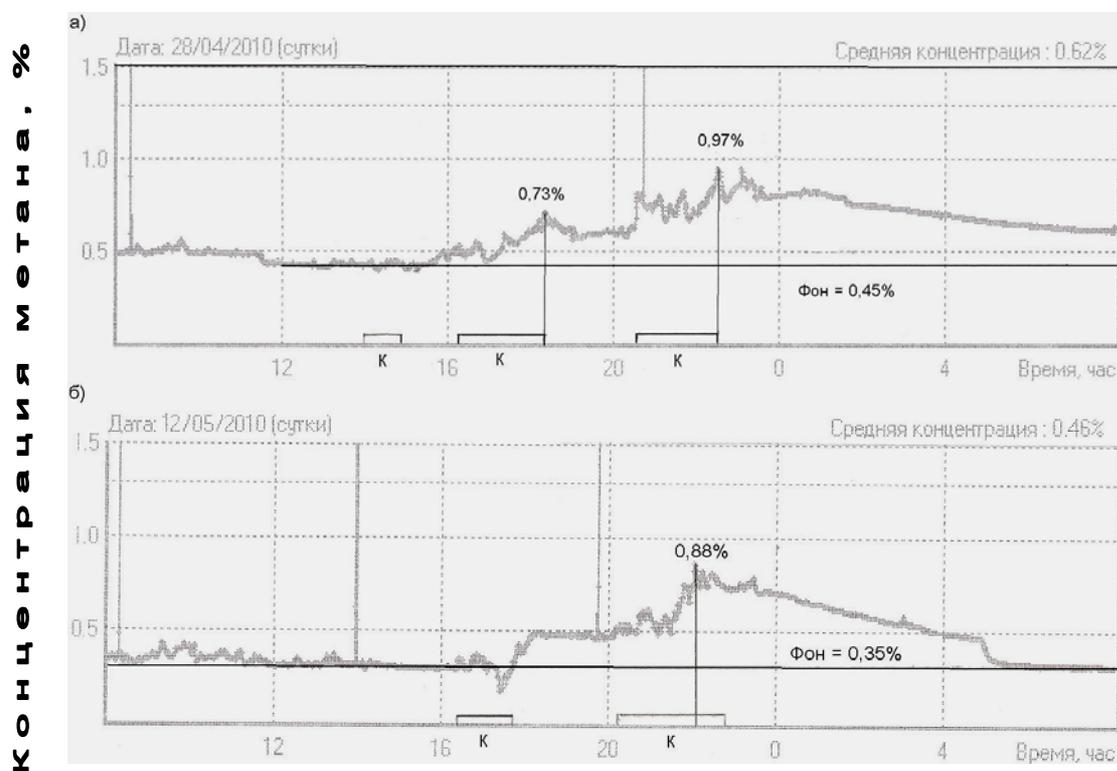


Рис. 5.6. Концентрация метана в исходящей струе воздуха из 2-й западной лавы в условиях сближенной по времени работы комбайна в лаве при:
а) выходе из зоны запаса; б) в зоне запаса

Наибольший интерес представляет анализ изменения концентрации метана перед внезапными выбросами угля и газа, перед выбросами угля и газа и микровыбросами, спровоцированными взрывными работами в режиме сотрясательного взрывания.

На рис. 5.7 приведена динамика концентрации метана в атмосфере 2-й западной лавы перед интенсивным (800 т угля) внезапным выбросом угля и газа, происшедшим в опережении конвейерного штрека 08.06.09 г. На протяжении 6-7 июня в концентрации метана определяются 3 уровня фоновых значений: в начале (3-4 часа) суток 06.06.10 г. – 0,28%, во второй половине суток – 0,18%, а во второй половине 07.06 – 0,04%. При работе комбайна в лаве по выемке и зачистке угля максимальные значения концентрации метана изменяются следующим образом: в начале суток 06.06 – 0,48%, при работе комбайна в двух циклах подряд во второй половине суток 0,3% и 0,5%, в первой половине 07.06.10 г. – 0,5%, во второй половине, после резкого уменьшения фона – 0,17%. Низкие значения фона (0,04%) сохранились вплоть до начала внезапного выброса угля и газа.

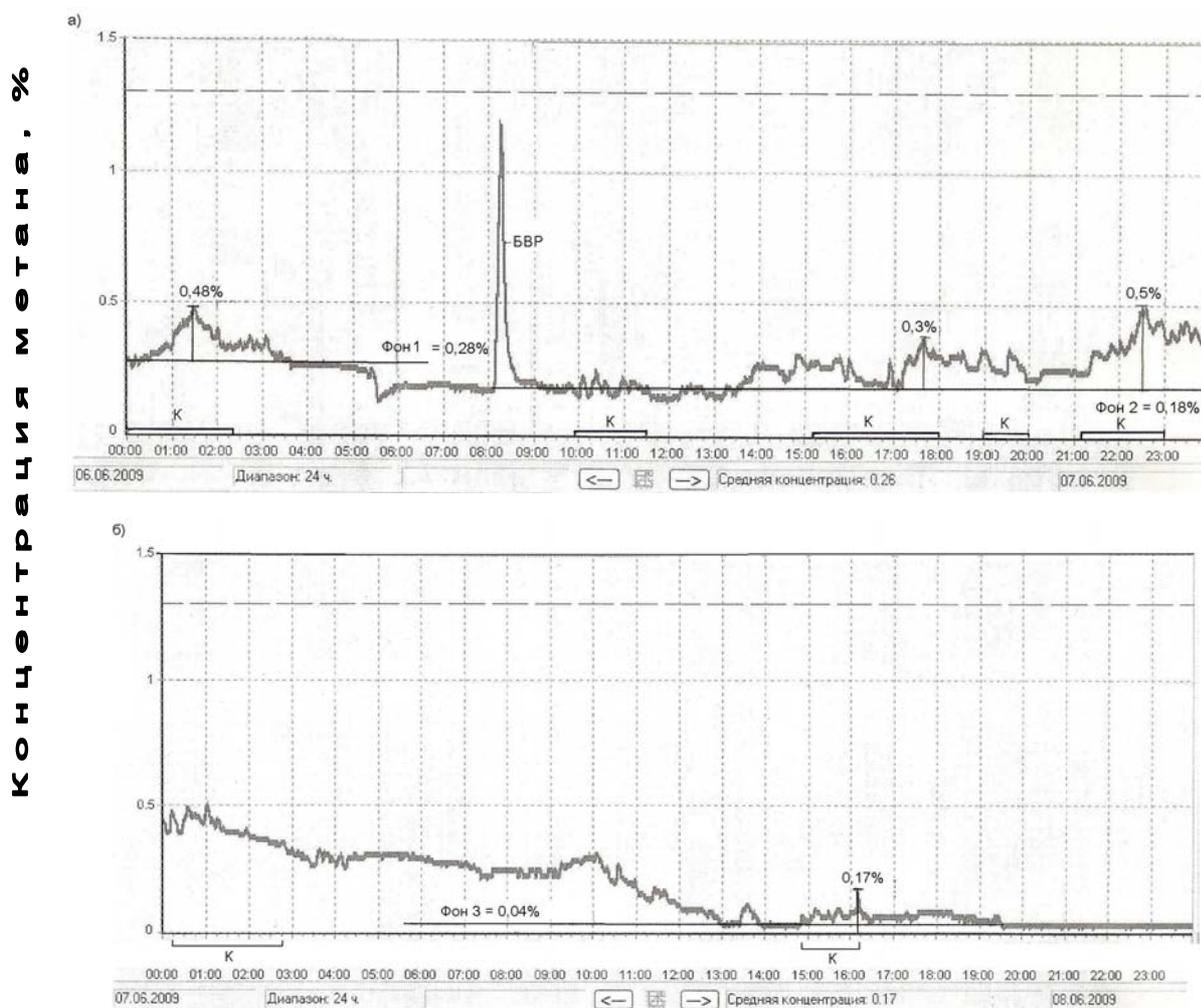


Рис. 5.7. Концентрация метана в исходящей струе воздуха участка №2 перед выбросом угля и газа в опережающем конвейерном штреке 2-й западной лавы 08.06.09 г.

Аналогичная ситуация наблюдалась перед катастрофическим (900 т угля) внезапным выбросом, происшедшим 06.06.10 г. во 2-й западной лаве при работе комбайна по выемке угля: 28.05.10 г. фоновые значения были 0,23-0,3%, 02.06.10 – 0,13% (рис. 5.8).

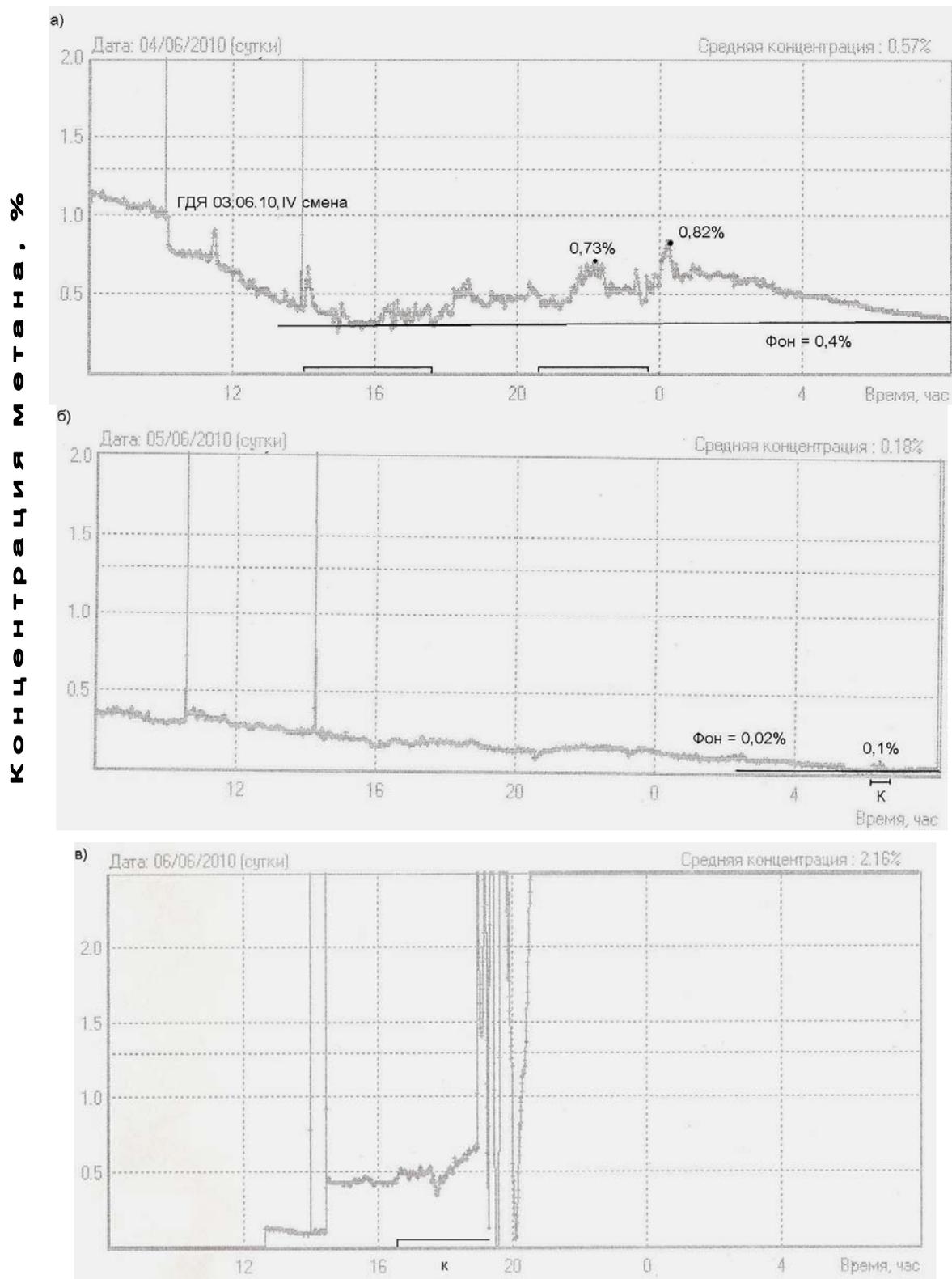


Рис. 5.8. Концентрация метана в исходящей струе воздуха участка №2 перед выбросом угля и газа во 2-й западной лаве при работе комбайна 06.06.10 г.: а) 04.06.10 г.; б) 05.06.10 г.; в) 06.06.10 г.

Выбросы угля и газа, происшедшие при сотрясательном взрывании в нижней нише 2-й западной лавы, в большинстве менее интенсивно проявлены в динамике концентрации метана в атмосфере выработки.

Так, перед выбросом угля и газа фоновые значения изменялись от 0,3 до 0,5%, а перед выбросом уменьшились до 0,15. При работе комбайна концентрация метана в исходящей струе увеличивалась до 0,6% – 0,65%, за сутки до выброса – до 0,35%.

Перед выбросом угля 09.03.10 г. фоновые значения снижались от 0,5% до 0,36%, временами вновь поднимаясь до 0,5, в том числе, непосредственно перед выбросом фон вырос до 0,75. При работе комбайна концентрация метана поднималась до 0,5-0,75.

Перед выбросом 05.04.10 г. фоновые значения концентрации метана изменялись от 0,5% до 0,25% (подавляющее большинство), при работе комбайна значения увеличивались до 0,5-0,6%, в отдельном случае до 0,95% (при фоновом 0,5%).

Исключения составляют выбросы угля и газа, происшедшие при сотрясательном взрывании в нижней нише 2-й западной лавы 30.06.10 г. и 17.07.10 г. На рис. 5.8 приведены концентрации метана перед этими выбросами. Фоновые значения перед выбросами угля и газа 0,43-0,53%, а максимальные значения при работе комбайна, соответственно 0,66 % и 0,87%. Причина такого поведения ранее рассмотрена и связана с интенсивным разгружающим действием выброса угля и газа, происшедшего в лаве 06.06.10 г.

Микровыбросы при сотрясательном взрывании в нишах более многочисленны. В подавляющем большинстве случаев динамика изменения концентрации метана в атмосфере выработки (уменьшение фона) за 2-3 суток перед микровыбросом соизмерима и часто превосходит динамику концентраций перед выбросом, инициируемым сотрясательным взрыванием. В качестве примера на рис. 5.9 и 5.10 приведены концентрации метана в атмосфере 2-й западной лавы перед микровыбросами 03.06.10 г. (перед катастрофическим выбросом в лаве) и 16.09.10 г.

Перед микровыбросом 03.06.10г. фоновые значения уменьшились от 0,5% до 0,23% (28.05.10г.), затем до 0,13% при соответствующих максимальных значениях концентрации метана при воздействии комбайна на забой, соответственно, до 0,9% и 0,6%. Длительность спада до фоновых значений составила 4,5-6,5 часов. Перед микровыбросом 16.09.10 г. фоновые значения ступенчато изменялись от 0,46% до 0,1%, а максимальные значения при работе комбайна от 0,68% до 0,3% по мере приближения к ГДЯ.

Из приведенных рисунков следует, что динамика изменений концентрации метана перед микровыбросами достаточно контрастная и может служить прогностическим параметром для их прогноза.

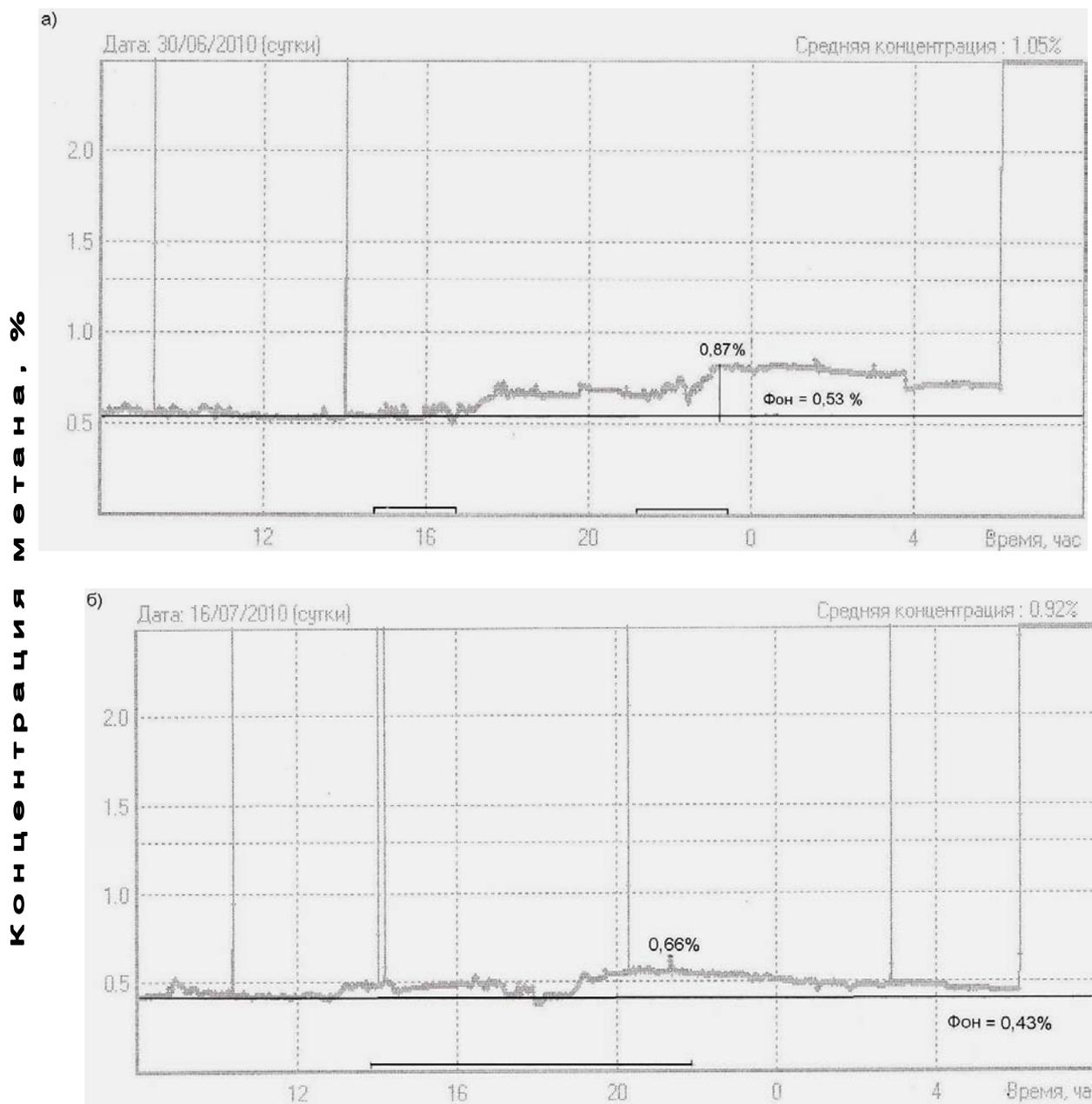
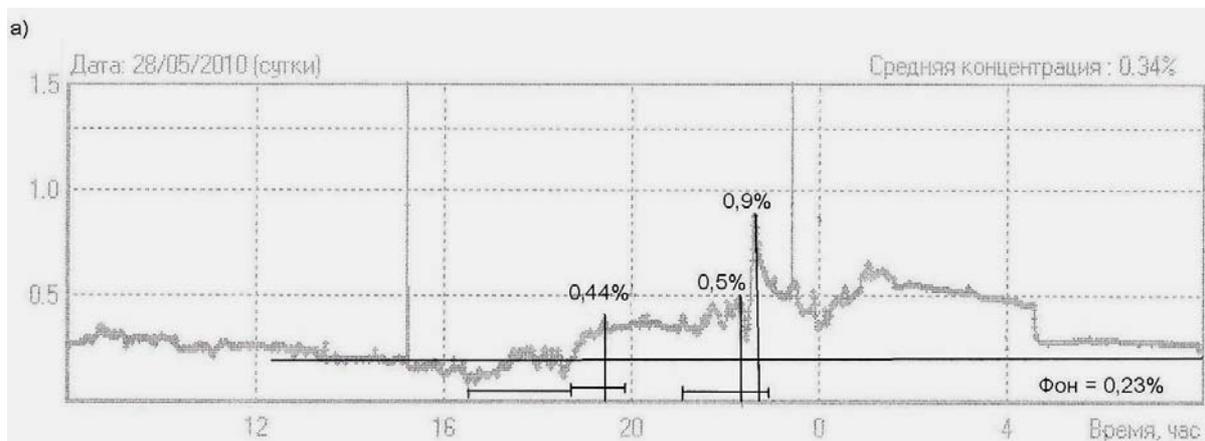


Рис. 5.9. Концентрация метана в исходящей струе воздуха участка №2 при сотрясательном взрывании в нижней нише 2-й западной лавы 30.06.10 и 17.07.10 в зоне влияния выброса угля и газа в лаве 06.06.10 г.



КОНЦЕНТРАЦИЯ МЕТАНА. %

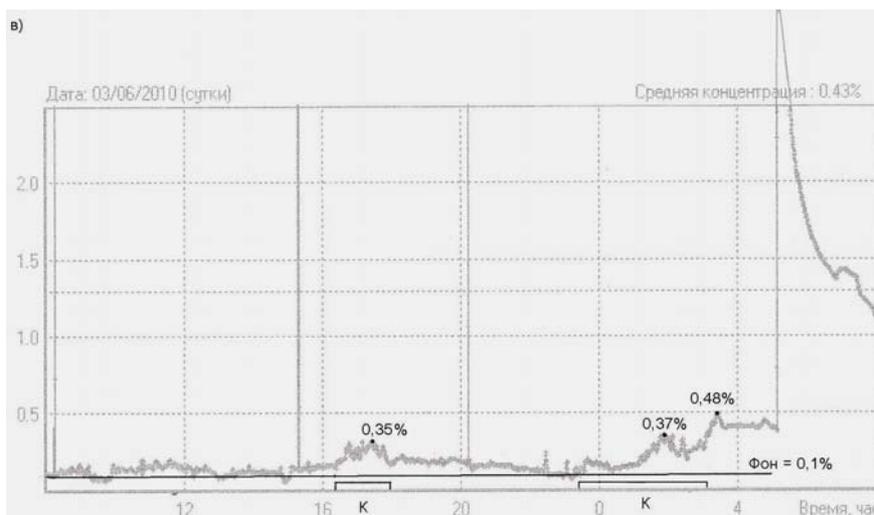
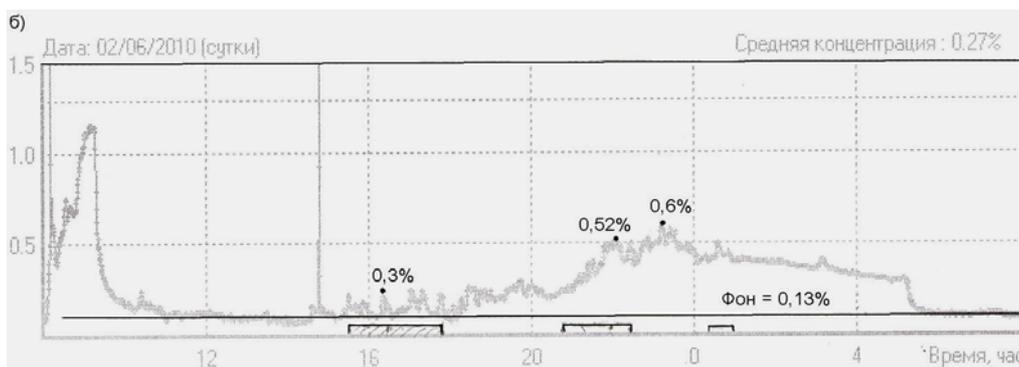


Рис. 5.10. – Концентрация метана в исходящей струе воздуха участка №2 перед микровыбросом при сотрясательном взрывании в нижней нише 2-й западной лавы: а) за 5 суток; б) за сутки; в) перед ГДЯ

КОНЦЕНТРАЦИЯ МЕТАНА. %

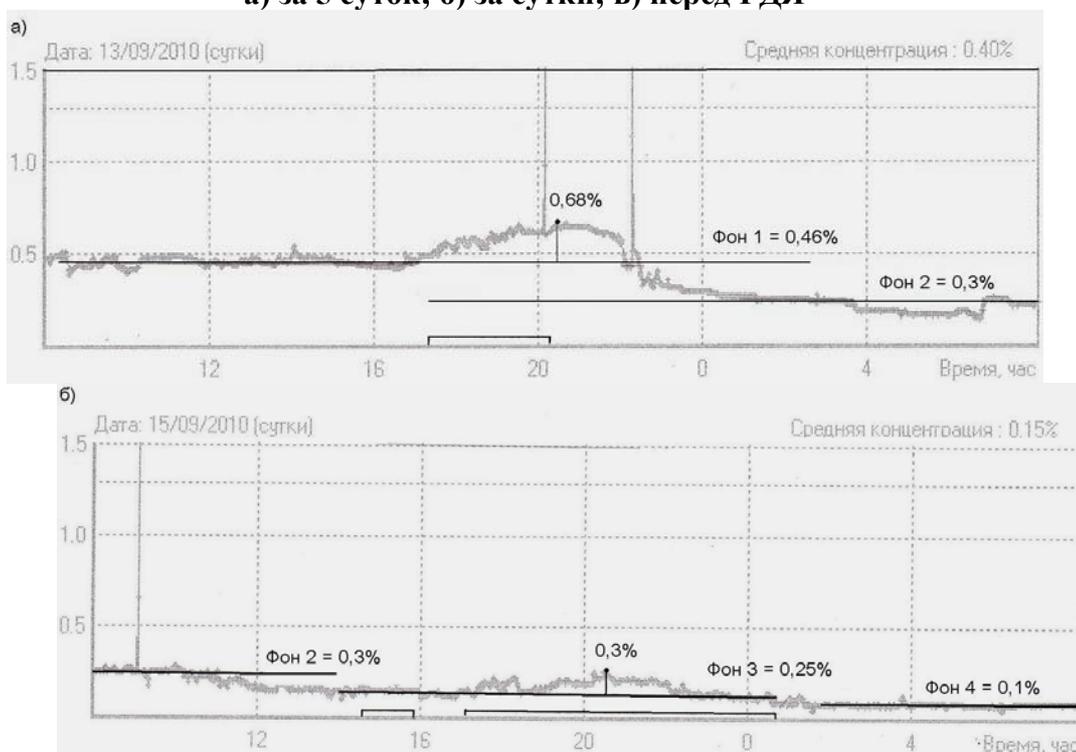


Рис. 5.11. Концентрация метана в исходящей струе воздуха участка №2 перед выбросом в нижней нише 2-й западной лавы: а) за 3 суток; б) за сутки

Приведенные результаты анализа динамики концентрации метана в атмосферах горных выработок перед газодинамическими явлениями различного вида позволяют проследить изменения фоновых значений, максимальных значений концентрации метана в исходящей из участков струй воздуха, коэффициента G_k , вычисленного по отношению этих двух величин. Данные 2010 г. дополнены результатами прогноза выбросоопасности по параметрам акустического сигнала. Для более наглядного представления динамики концентраций метана по данным таблиц построены графики этих параметров, которые представлены на рисунках 5.12- 5.14.

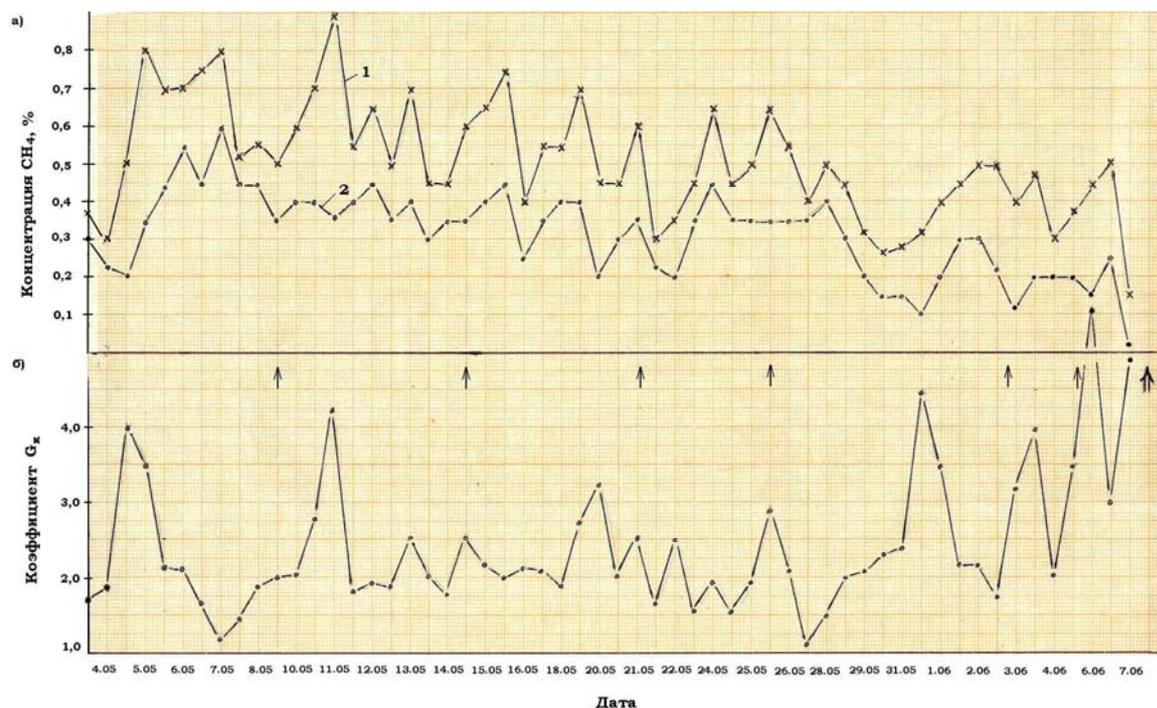


Рис. 5.12. Концентрация метана в исходящей струе воздуха участка №2 второй западной лавы в 2009 г: а) 1 – фоновые значения; 2 – значения при работе комбайна; б) значения отношений между этими концентрациями G_k

По данным за май – июнь 2009 г. анализу подвергнута имеющаяся непрерывная информация вплоть до 08.06.09г., когда произошел внезапный выброс угля и газа в опережении конвейерного штрека. В этот период в опережении 2-го конвейерного штрека при сотрясательном взрывании произошло 6 микровыбросов. При знакопеременном изменении значений концентрации метана в исходящей струе участка глобальная тенденция на протяжении всего месяца вплоть до внезапного выброса в опережении штрека заключается в уменьшении фоновых значений от 0,5% до 0,2%, а максимальных значений при работе комбайна от 0,7% до 0,45% (рис. 5.12). При этом в каждом интервале между микровыбросами имеется снижения фоновых значений в пределах предшествующих 2-4 суток. Достаточно информативен коэффициент G_k для прогноза газодинамических явлений: перед микровыбросами (в тех же интервалах 2-4 суток) значения повышаются до 2,5-3, а перед внезапным выбросом – до 4-6.

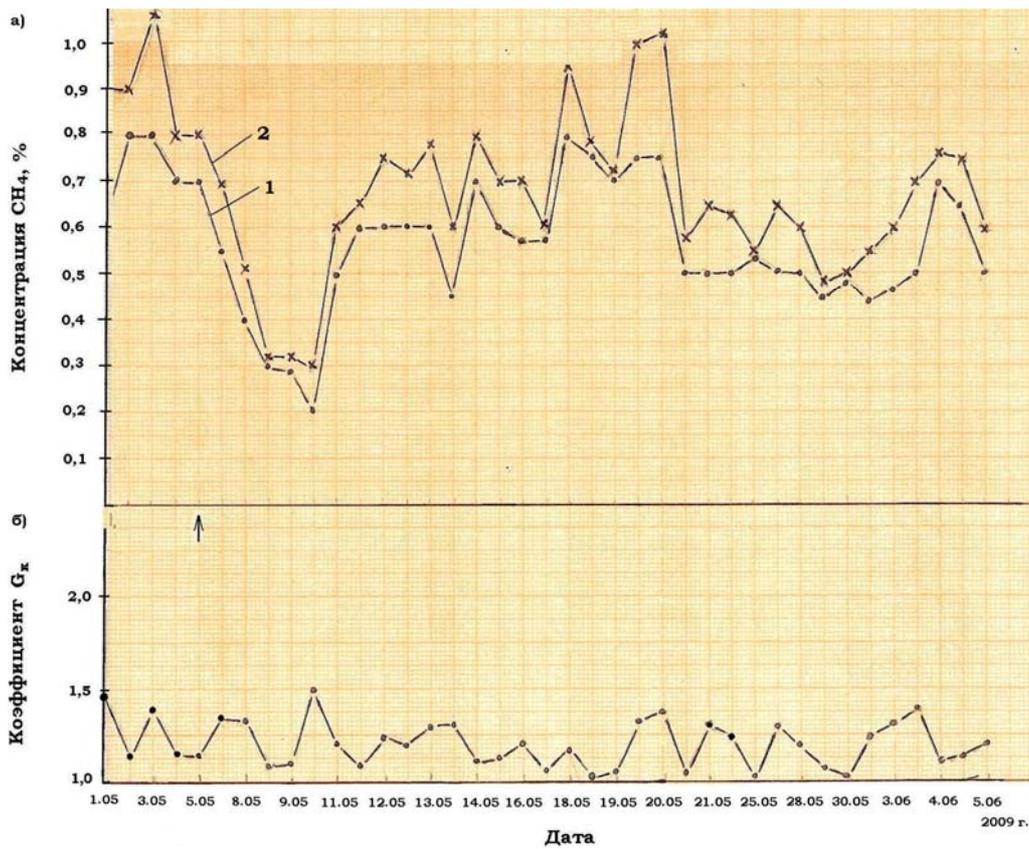


Рис. 5.13. Концентрация метана в исходящей струе воздуха участка №1 5-й западной лавы в 2009 г: а) 1 – фоновые значения; 2 – значения при работе комбайна; б) коэффициент G_k отношения между этими значениями

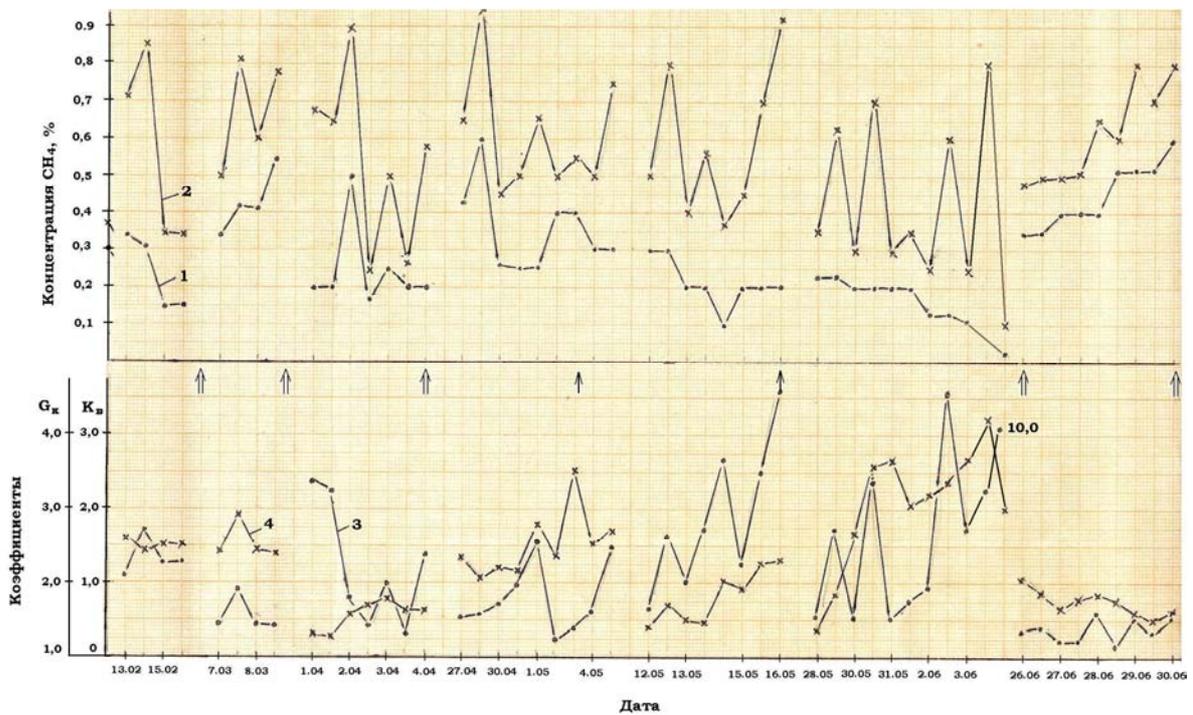


Рис. 5.14. Концентрация метана в исходящей струе воздуха участка №2 2-й западной лавы: 1 – фоновые значения; 2 – значения при работе комбайна; 3 – коэффициент отношения этих значений G_k ; 4 – коэффициент выбороопасности k_b

В 5-й западной лаве за май – начало июня произошел лишь один микровыброс, приурочен к локальному существенному понижению фоновых значений (от 0,8% до 0,2%) при одновременном снижении максимальных концентраций метана от 1,1% до 0,3% (рис. 5.10). По этой причине отсутствуют повышения значений коэффициента G_k . В течение остальной части мая – июня фоновые значения колеблются в пределах 0,5-0,6%, значения коэффициента G_k не превышают 1,3-1,5. Характер динамики концентраций метана в исходящей струе воздуха из 5-й западной лавы свидетельствует об отсутствии в ее пределах потенциально опасных зон за исследуемый промежуток времени.

На рис. 5.14 приведены результаты анализа динамики концентраций метана в атмосфере выработки за несколько суток до микровыбросов, выбросов и внезапного выброса в лаве 06.06.10 г. Отдельные локальные данные газового состояния объясняются большим количеством происшедших ГДЯ на протяжении 2010 г., что делает весьма затруднительным анализ непрерывных данных концентрации метана.

По локальным данным видно, что на протяжении всего мая имелась тенденция уменьшения фоновых значений от 0,3-0,4% до 0,1%. В меньшей степени, знакопеременно изменялись максимальные значения концентрации метана в атмосфере выработки при работе комбайна, в преддверии внезапного выброса они достигали 0,6-0,7%, что отразилось на величине коэффициента G_k , значения которого достигали 3,5-4,7.

Рассматривая поведение концентрации метана в атмосфере перед микровыбросами и выбросами угля и газа инициируемые сотрясательным взрыванием в нижней нише, следует заметить в большинстве случаев локальное понижение фоновых значений и повышение коэффициента G_k до 1,75 и более. Исключение составляют уже неоднократно упомянутые выбросы угля и газа, происшедшие 30.06.10 г. и 17.07.10 г. в зоне влияния полости выброса в лаве и самого мощного динамического явления. Не отмечен установленной закономерностью выброс угля и газа 09.03.10 г., микровыбросы 09.09.10 г. и 03.11.10 г., а также выброс угля и газа 10.09.10 г. Одной из причин такого положения может быть недостаточно длительный отрезок времени, по которому получена информация о концентрации метана перед ГДЯ. К тому же, начиная с сентября, наметилось глобальное повышение концентрации метана в исходящей струе воздуха от 0,2-0,3% до 0,4-0,5% для фоновых значений и до 0,8-0,9% при работе комбайна по забою.

В 5-й западной лаве прослеживается тенденция уменьшения значений концентрации метана в атмосфере выработки в целом наметилась в пределах августа – первой половины октября (до 0,3%). В остальном фоновые концентрации метана находились в пределах 0,5-0,6%. С мая по ноябрь в

лаве зафиксировано 10 микровыбросов и один выброс при ведении сотрясательного взрывания в верхней нише. Подавляющее большинство микровыбросов произошло при понижении фоновых значений концентрации метана, за исключением двух из них коэффициент G_k превышает уровень 1,75. Выброс угля и газа в верхней нише 16.10.10г. произошел при значениях G_k более 1,75, но при этом имел место рост фоновых значений.

В нижней нише в период от апреля 2010 г. по январь 2011 г. произошло 2 выброса и 8 микровыбросов. За исключением микровыбросов в декабре 2010 г. и январе 2011 г. все остальные произошли при снижении фоновых значений и повышенных до 1,75 и более значениях коэффициента G_k . Обращает внимание сравнительно низкие фоновые значения в целом 0,15-0,3% с небольшими отклонениями в отдельные периоды времени.

5.3. Статистическая оценка характеристик газовыделения в забой выработки при ведении горных работ

По полученным данным выполнен статистический анализ:

- установлен закон распределения переменных: фоновых значений концентрации метана, его значений при работе комбайна, коэффициента отношения между ними и параметров акустического сигнала, полученных при прогнозе выбросоопасности;

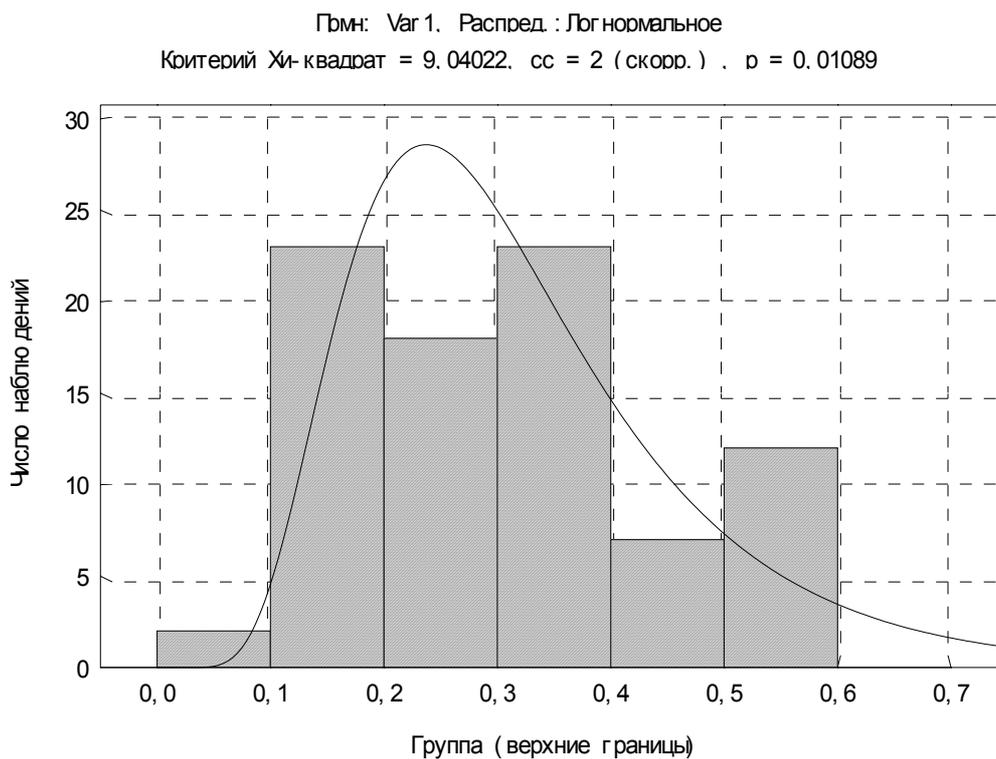
- определены параметры этих распределений;

- посчитаны парные коэффициенты корреляции;

- для отдельных параметров посчитаны уравнения регрессии.

Значения анализировались отдельно по лавам и по генеральной выборке. Испытаны 4 закона распределения – нормальный, логнормальный, экспоненциальный и гамма-распределения. В отдельных по лавам выборках с приемлемыми оценками по критерию χ^2 -квадрат имеют преимущественно логнормальное распределение, отдельные параметры имеют нормальные или другие виды распределения. Объединение выработок в генеральную привело с большей вероятностью к логнормальному распределению, а для значений коэффициента G_k к экспоненциальному. На рис. 5.15 и 5.16 приведены распределения параметров по 2-й западной лаве, объем выборки – 89 элементов. Значения концентрации метана при работе комбайна распределены по нормальному закону, остальные параметры – по логнормальному. Распределения значений параметров по генеральной выборке (объем 181 элемент) приведены на рис. 5.17-5.19.

а)



б)

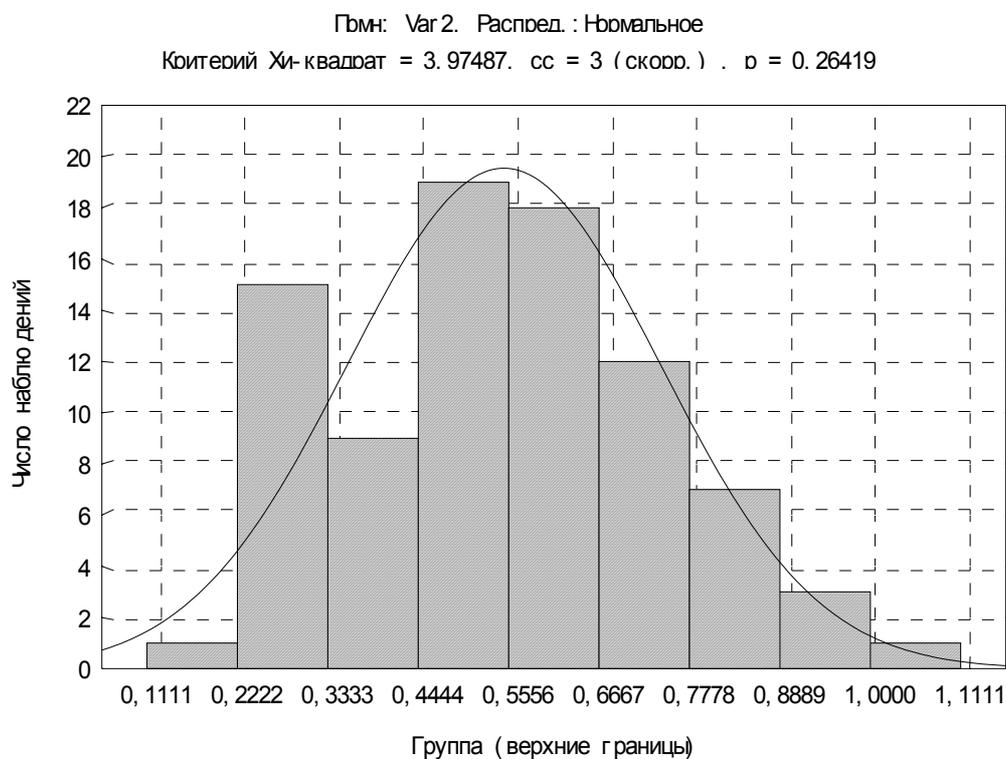
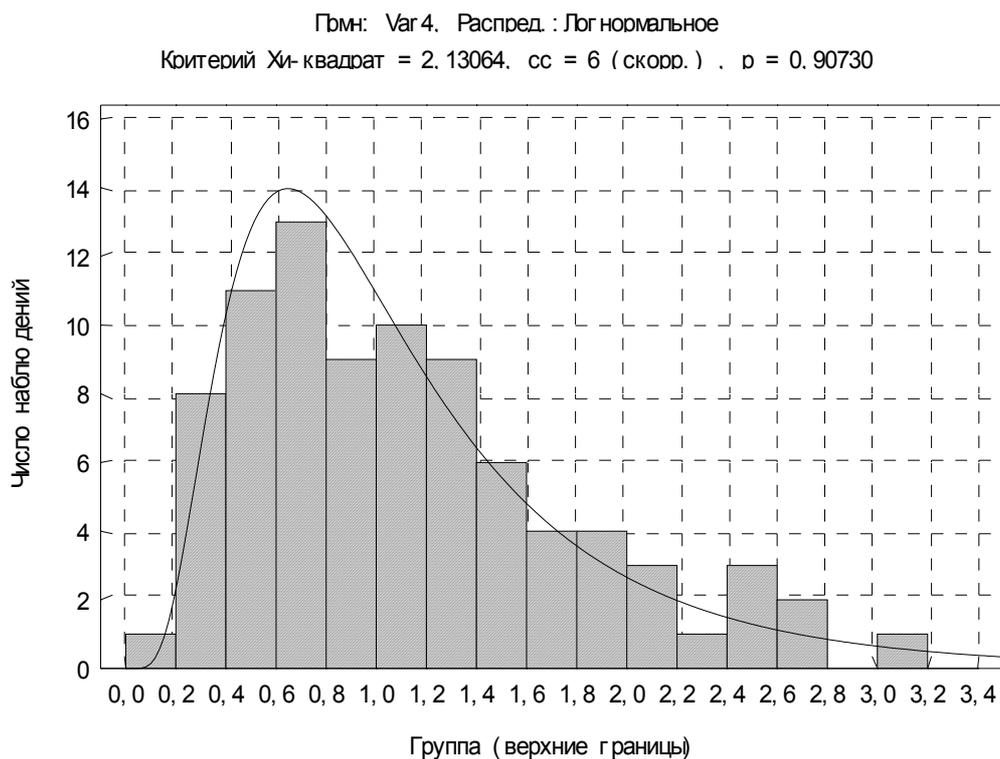


Рис.5.15. Распределение значений концентрации метана: фоновых (а) и при работе комбайна (б) в исходящей струе воздуха участка № 2

а)



б)

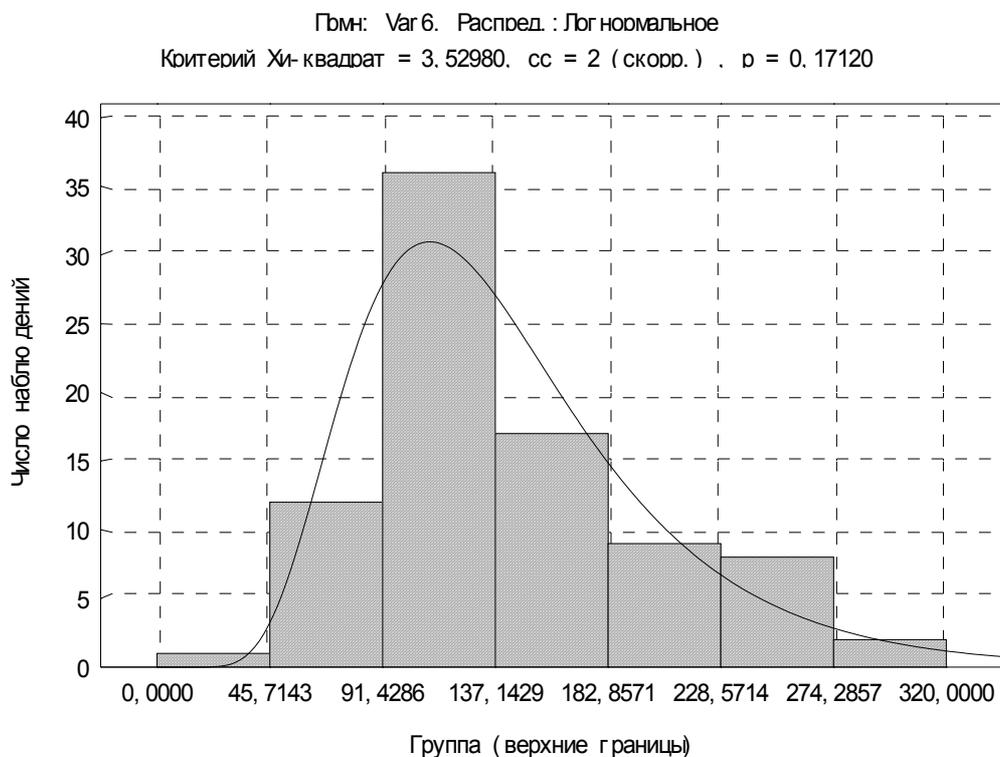
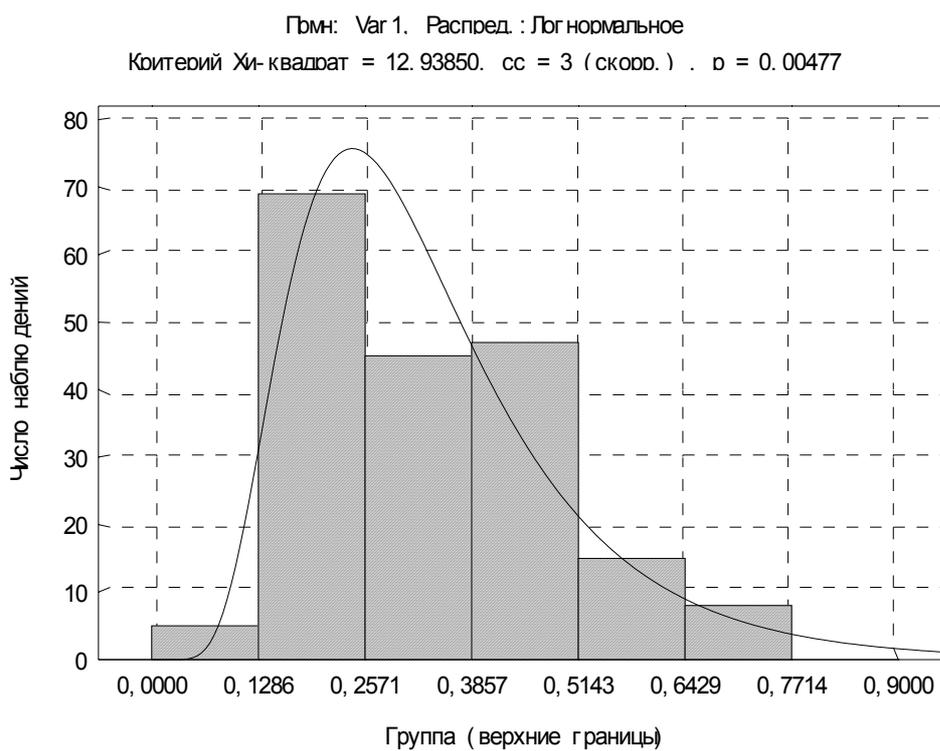


Рис. 5.16. Распределение фоновых значений концентрации метана в исходящей струе воздуха участка № 2 (а) и резонансной частоты по прогнозу во 2-ой западной лаве

а)



б)

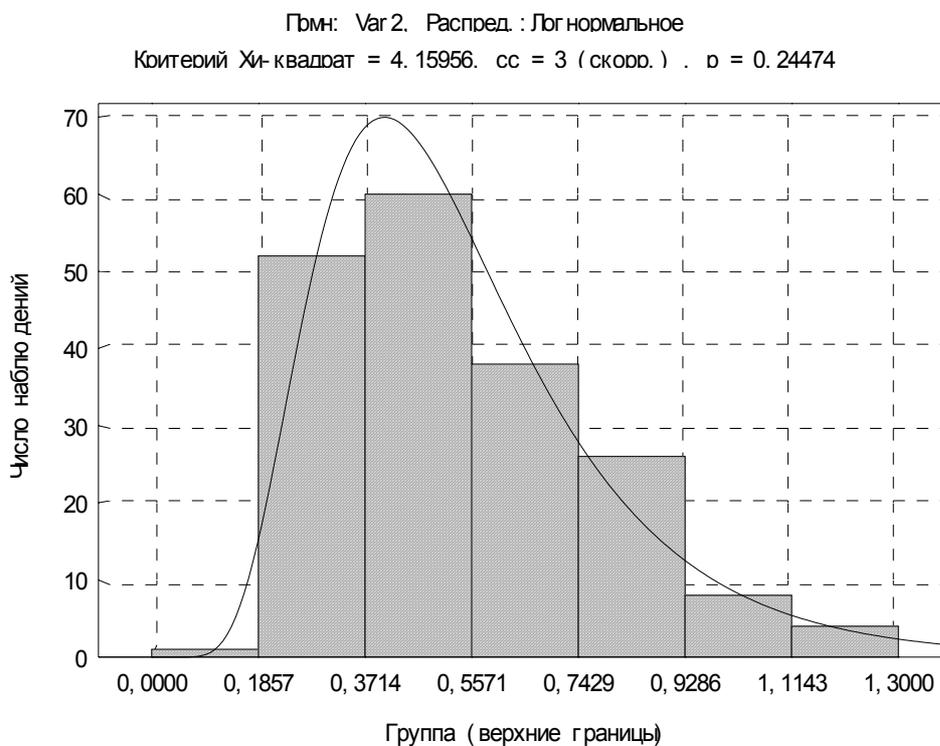
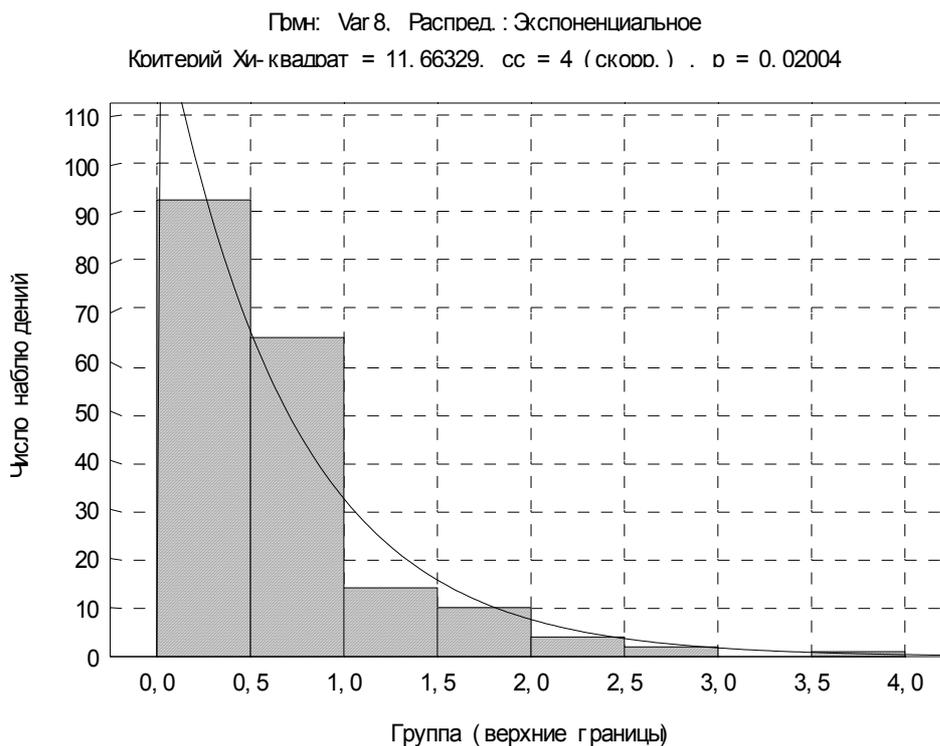


Рис. 5.17. Распределение значений концентрации метана: фоновых (а) и при работе комбайна (б) в исходящей струе воздуха участка № 2 по генеральной выборке (все 3 лавы)

а)



б)

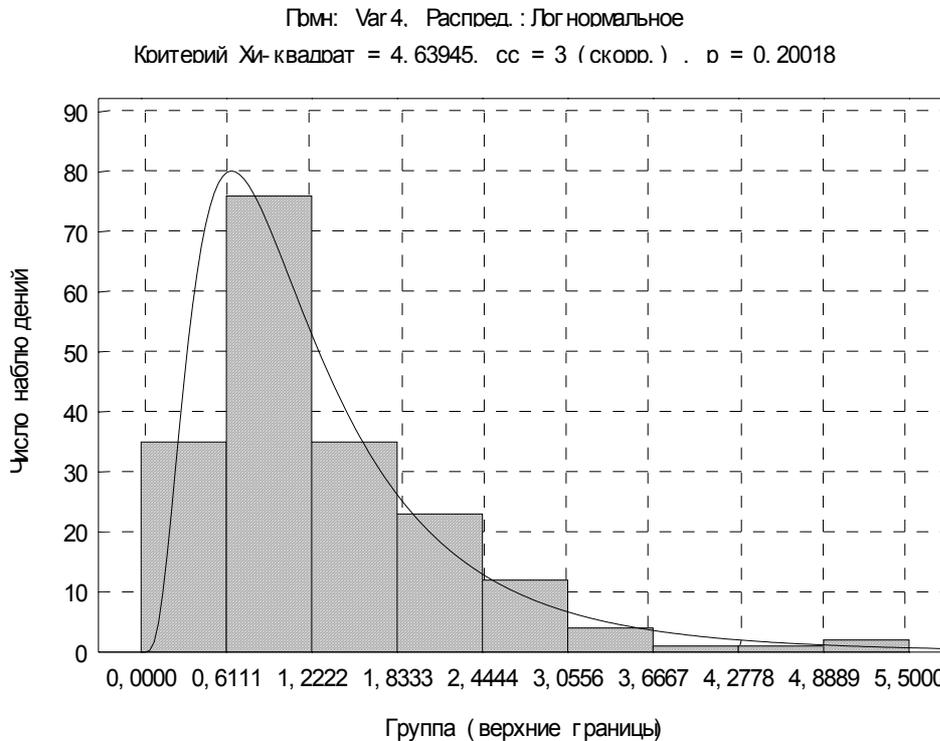
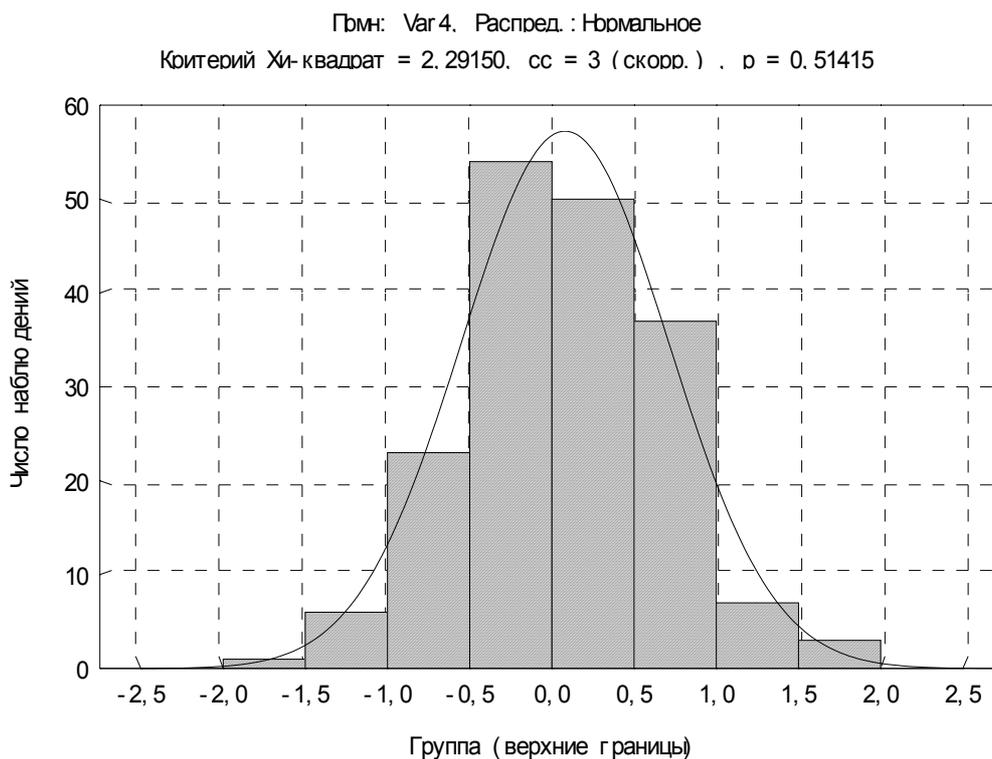


Рис. 5.18. Распределение значений коэффициента G_k (за вычетом 1,0) (а), коэффициента выбросоопасности (б) по генеральной выборке (все 3 лавы)

а)



б)

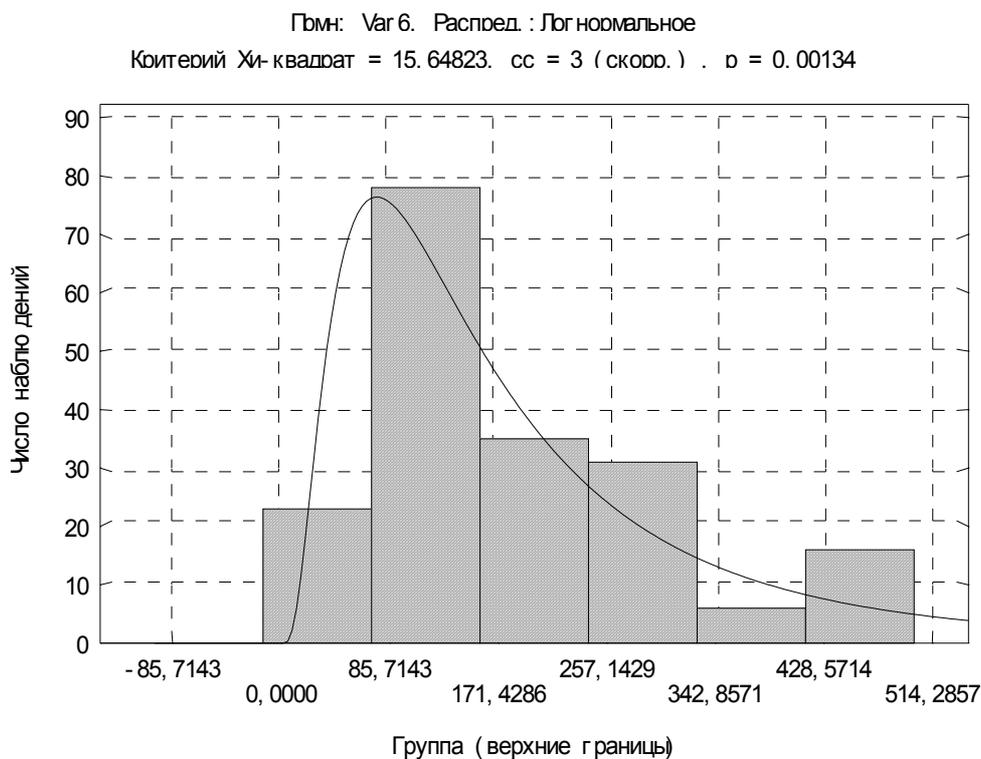


Рис. 5.19. Распределение значений коэффициента K_g (а) и резонансной частоты F_p (б) по генеральной выборке (все 3 лавы)

Для вычислений парных коэффициентов использованы значения параметров при нормальном законе распределения и их логарифмы при логнормальном распределении.

Таким образом, анализ газового фактора, оцениваемого по изменениям начальной скорости газовой выделенности в шпур, по динамике фоновых концентраций метана в атмосфере выработки и максимальные значения при работе комбайна при выемке и зачистке угля позволяют сделать следующие выводы:

- перед газодинамическими явлениями даже небольшой интенсивности, которые отнесены к микровыбросам, вследствие увеличения пригрузки на забой происходит защемление угольного пласта и уменьшение степени его дегазации;

- при выбросах угля и газа большей интенсивности (более 600 т угля) снижение фоновых концентраций метана в атмосфере выработки начинается минимум за несколько дней (недель) до явления;

- прогнозирование газодинамических явлений, в том числе микровыбросов, при сотрясательном взрывании возможно по локальному снижению фоновых значений и увеличению коэффициента G_k до 1,75 и более в течение предшествующих ГДЯ до 4 суток.

5.4. Анализ результатов шахтных экспериментов

Результаты шахтных экспериментов показали, что выполнение локального противовыбросного мероприятия сопровождается значительным увеличением концентрации метана в исходящей из забоя струе воздуха и, соответственно, значительным приростом газовой выделенности. Количественно, для различных противовыбросных мероприятий, этот факт характеризуется следующим образом [9, 42]. **Гидрорыхление.** Средняя за период нагнетания концентрация метана в исходящей струе воздуха превышает фоновую в 1,3 – 1,6 раза для очистных выработок и в 1,9 – 2,4 раза – для забоев подготовительных выработок. **Образование щели по всей длине лавы.** Средняя за период образования щели концентрация метана в исходящей струе воздуха превышает фоновую в 1,8 – 2,4 раза. **Выбуривание пазов.** Средняя за период выбуривания паза концентрация метана в исходящей струе воздуха превышает фоновую в 2,8 раза.

При гидрорыхлении выемка угля производится в несколько циклов, после каждого из которых происходит дополнительная дегазация призабойной зоны угольного пласта. Поэтому, при оценке эффективности гидрорыхления, величина оставшейся газоносности должна приниматься на 40 % ниже средней газоносности угольного пласта после выполнения противовыбросного мероприятия, что свидетельствует об эффективном выполнении мероприятия.

5.5. Сравнительная оценка содержания метана в исходящей струе воздуха при выполнении гидравлического воздействия на пласт и выемке угля в подготовительных выработках

Установлено, что при выполнении гидравлического воздействия на призабойную часть пласта содержание метана в исходящей струе сначала увеличивается от фонового значения до максимального, затем уменьшается до значения, близкого или равного фоновому. Аналогичный характер может иметь динамика концентрации метана при выемке угля.

В связи с этим возникает необходимость в разграничении концентрации метана в исходящей струе воздуха при различных видах выполняемых в забое работ (осуществление противовыбросных мероприятий или выемка угля).

В работе принята следующая методика оценки различия содержания метана в исходящей струе.

Принимаем, как

x_i и y_i – максимальное содержание метана в i -ом опыте при выполнении противовыбросных мероприятий и при выемке угля соответственно;

x и y – соответственно, средние значения максимумов содержания метана;

D_x и D_y – соответственно, дисперсии x и y ;

n_x и n_y – объем выборки по x и y соответственно.

Согласно [51] различие максимумов содержания метана будет существенно при

$$t > t_{кр},$$

где

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{n_x D_x + n_y D_y}} \sqrt{\frac{n_x n_y (n_x + n_y - 2)}{n_x + n_y}} \quad (5.62)$$

при числе степеней свободы, равном $n_x + n_y - 2$, если

$$D_x = D_y,$$

и

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{D_x / n_x + D_y / n_y}}, \quad (5.63)$$

при числе степеней свободы

$$\frac{\left(\frac{D_x}{n_x} + \frac{D_y}{n_y}\right)^2}{\frac{\left(\frac{D_x}{n_x}\right)^2}{n_x + 1} + \frac{\left(\frac{D_y}{n_y}\right)^2}{n_y + 1}} - 2, \quad (5.64)$$

если $D_x \neq D_y$.

Оценка различия дисперсий производится по F -отношению, равному

$$F = \frac{D_x}{D_y} \quad \text{или} \quad F = \frac{D_y}{D_x}$$

(в числителе всегда принимается бóльшая дисперсия).

При $F < F_{кр}$ принимается гипотеза

$$D_x = D_y,$$

в противном случае дисперсии считаются неравными.

Значения $t_{кр}$ и $F_{кр}$ принимаются по таблицам распределения Стьюдента и Фишера [51, 52].

Кроме того, по формулам

$$a = C_m - 3\sigma,$$

$$b = C_g - 3\sigma$$

рассчитывались нижняя и верхняя доверительные границы для этих выборок.

К анализу принимались максимальные значения концентрации метана при выполнении гидрорыхления (C_m) и при выемке угля (C_g) на экспериментальных участках подготовительных выработок, записанных аппаратурой АКМ.

Следует отметить, что для каждого конкретного пласта имеются существенные отличия в максимальных значениях концентрации метана в исходящих струях при выполнении противовыбросных мероприятий и при выемке угля. Нижние и верхние доверительные границы во всех случаях, кроме одного, соответствующего низким значениям концентрации метана при выполнении мероприятий и при выемке угля (шахта «Чайкино», газоносность равна $2,3 - 5,2 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$), не перекрываются, что также свидетельствует о существенности отличия принятых показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии рассмотрена актуальная для угольной промышленности Украины проблема повышения эффективности и безопасности выполнения способа предотвращения внезапных выбросов угля и газа, основанного на гидрорыхлении угольных пластов, при этом основные научные выводы и практические результаты, полученные в работе, состоят в следующем:

1. Физическая сущность влияния гидрорыхления угольных пластов на устранение выбросоопасности заключается в доразрушении угля внутри массива системой трещин, образующихся под совместным воздействием высоконапорного нагнетания воды и сил горного давления, которое может происходить лишь в частично разгруженной призабойной части пласта, где уровень напряжений не превышает величину предельно допустимого давления нагнетания, что предопределяет необходимость дифференцированного определения его параметров.

2. Установленная зависимость местоположения максимума опорного давления впереди забоя выработки от величины зоны разгрузки призабойной части пласта, которая позволяет оптимизировать глубину бурения нагнетательных скважин и эффективную глубину их герметизации.

3. На основании анализа теоретических положений о формировании напряженно-деформированного состояния призабойной части горного массива установлено, что гидрорыхление угольного пласта является ограниченным во времени и пространстве процессом образования и развития трещин впереди забоя выработки под совместным воздействием сил горного давления и нагнетаемой в пласт воды. Указанный процесс происходит лишь при условии, что давление нагнетания не меньше величины горного давления в месте расположения фильтрующей части нагнетательной скважины.

4. На основании аналитических и экспериментальных исследований установлены граничные условия оптимизации параметров гидрорыхления, согласно которым глубина герметизации нагнетательных скважин должна быть больше величины зоны разгрузки призабойной части пласта, но меньше расстояния от забоя выработки до зоны опорного давления, чтобы напряжения на участке расположения фильтрующей части этих скважин были в пределах $(0,75 \dots 1,0) \gamma H$ и не превышали давление нагнетания, предельно допустимое по техническим характеристикам применяемых насосных установок.

5. Величина зоны разгрузки призабойной части пласта является многофакторной функцией, прямо пропорционально зависящей от глубины раз-

работки пласта, его мощности, выхода летучих веществ и обратно пропорционально – от сопротивления угля сдвигу и коэффициента трения по породам почвы и кровли пласта, характеризующейся достаточно высокими показателями тесноты и надежности связи с каждым из этих факторов. Такая зависимость позволяет использовать эту функцию в качестве интегральной характеристики напряженно-деформированного состояния призабойной части пласта для определения оптимальных параметров гидорыхления, соответствующих граничным условиям применения его с учетом указанных влияющих факторов.

6. Оптимальная длина фильтрующей части нагнетательных скважин, в пределах которой напряжения не превышают величину предельно допустимого давления нагнетания, составляет не менее 2 м при глубине герметизации скважин более 3 м и уменьшается до 1 м при глубине герметизации, равной 3 м, а если глубина герметизации менее 3 м, то применение гидорыхления не рекомендуется, поскольку в таких случаях даже при длине фильтрующей части скважины менее 1 м она оказывается в зоне повышенных напряжений и возникает опасность внезапных выбросов угля и газа в процессе нагнетания.

7. На достигнутых и ожидаемых в ближайшем будущем глубинах разработки выбросоопасных угольных пластов напряжения в массиве не превышают давление нагнетания воды, необходимое для осуществления гидорыхления на этих глубинах и соответствующее величинам $(0,75...1,0) \gamma H$, которые обеспечиваются современными насосными установками.

8. Фактически необходимый для завершения процесса гидрорыхления удельный расход воды зависит от водопроницаемости пласта, обусловленной многими недетерминированными факторами, и может определяться лишь опытным нагнетанием как частное от деления количества воды, закачанной в скважину до момента снижения давления нагнетания не менее чем на 30% от максимального в процессе нагнетания, к массе угля в зоне гидрорыхления его вокруг скважины при установленной глубине ее герметизации и длине фильтрующей части.

9. Установлена зависимость продолжительности процесса гидрорыхления от соотношения глубины герметизации нагнетательных скважин и величины зоны разгрузки призабойной части пласта, характеризующего расположение фильтрующей части скважин относительно зоны разгрузки. Согласно этой зависимости, график которой представляет собой кривую в виде вогнутой параболы, гидрорыхление происходит в течение минимального времени, если глубина герметизации нагнетательных скважин равна полу-

торной величине зоны разгрузки, а следовательно, является оптимальной по условиям напряженно-деформированного состояния пласта на участке расположения фильтрующей части скважин.

10. Разработаны рекомендации по уточнению параметров гидрорыхления и технологии его выполнения.

11. Проведена опытно-промышленная проверка разработанных научно-технических решений по определению параметров гидрорыхления, подтвердившая надежность этих параметров для осуществления процесса гидрорыхления в различных условиях его применения. Установленные параметры гидрорыхления позволяют сократить до 50% продолжительность нагнетания воды в угольные пласты и уменьшить ее количество по сравнению с ранее принятыми параметрами без снижения эффективности предотвращения внезапных выбросов угля и газа.

12. Основные результаты и выводы по работе включены в первую редакцию отраслевого стандарта Минэнергоуглепрома Украины СОУ-2013 «Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Скочинский А. А. Современные представления о природе внезапных выбросов угля и газа в шахтах и меры борьбы с ними / А. А. Скочинский // Уголь. – 1954. – № 7. – С. 4–10.
2. Ходот В. В. Внезапные выбросы угля и газа / В. В. Ходот. – М. : Госгортехиздат, 1961. – 364 с.
3. Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. – М. : Недра, 1978. – 164 с.
4. Внезапные разрушения почвы и прорывы метана в выработки угольных шахт / [А. М. Морев, Л. А. Скляр, И. М. Большинский и др.]. – М. : Недра, 1992. – 174 с.
5. Большинский М. И. Природа и механизм газодинамических явлений в угольных шахтах и принципы их предотвращения / М. И. Большинский // Уголь Украины. – 1978. – № 9. – С. 30–33.
6. Петухов И. М. Механика горных ударов и выбросов / И. М. Петухов, А. М. Линьков. – М. : Недра, 1983. – 280 с.
7. Зорин А. Н. К вопросу об энергетических изменениях призабойной части массива при ведении горных работ / А. Н. Зорин, В. Г. Колесников // Механика и технология подземных горных работ. – К. : Наук. думка, 1978. – С. 87–91.
8. Внезапные выдавливания угля / [Коптиков В. П., Южанин И. А., Евдокимова В. П. и др.]. – Донецк : Ноулидж, 2010. – 240 с.
9. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах / [С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко]. – Донецк : Східний видавничий дім, 2010. – 605 с.
10. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа. – М. : ИГД им. А. А. Скочинского, 1989. – 192 с.
11. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа. – Караганда : Министерство энергетики и углепрома республики Казахстан, 1995. – 160 с.
12. Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах (Сб. документов). – М. : ГП НТЦ «Промышленная безопасность» Госгортехнадзора России, 2001. – Серия 05. – Вып. 2. – 320 с.
13. Материалы совещания по внезапным выбросам угля и газа. – М., Л. : Углетехиздат, 1952. – 244 с.
14. Выбросы угля, породы и газа в шахтах Донбасса: Справочник. – Донецк : Кассиопея, 2007. – 908 с.
15. Воловельская С. Н. Нелинейная корреляция и регрессия / С. Н. Воловельская. – К. : Техніка, 1971. – 180 с.
16. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. И. Пустыльник. – М. : Наука, 1968. – 288 с.

17. Тимофеев Э. И. Состояние и перспективы применения способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа / Э. И. Тимофеев, М. В. Чурадзе // Геотехнічна механіка : міжвід. зб. наук. праць ін-ту геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2001. – Вип. 29. – С. 126–130.

18. Ященко И. А. Об отработке угольных пластов Донбасса, склонных к газодинамическим явлениям / И. А. Ященко, А. В. Никифоров, Т. Я. Мхатвари, М. Ф. Рыжков // Уголь Украины. – 2012. – № 9. – С. 15–20.

19. Бобров А. И. Состояние и перспективы решения проблемы газодинамических явлений в шахтах / А. И. Бобров, А. В. Агафонов, И. И. Балинченко, Э. И. Тимофеев, В. И. Николин // Уголь Украины. – 1997. – № 2-3. – С. 9–13.

20. Чернов О. И. Исследование профилактического увлажнения угольных пластов для повышения безопасности труда в шахтах : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.26.01 / О. И. Чернов. – М. : ИГД им. А. А. Скочинского, 1970. – 320 с.

21. Нагнетание воды в угольные пласты для повышения безопасности горных работ : сб. трудов Всесоюзн. науч.-техн. совещания. – М. : Недра, 1965. – 250 с.

22. Куликов А. П. Развитие исследований в области нагнетания воды в угольные пласты / А. П. Куликов // Нагнетание воды в угольные пласты для повышения безопасности горных работ : сб. трудов Всесоюзн. научн.-техн. совещания. – М. : Недра, 1965. – С. 3–7.

23. Кричевский Р. М. Возможности предотвращения внезапных выбросов путем предварительного увлажнения угольного массива / Р. М. Кричевский // Нагнетание воды в угольные пласты для повышения безопасности горных работ : сб. трудов Всесоюзн. научн.-техн. совещания. – М. : Недра, 1965. – С. 135–158.

24. Карагодин Л. Н. Способы борьбы с внезапными выбросами угля и газа / Л. Н. Карагодин, Е. С. Розанцев. – М. : Недра, 1973. – 208 с.

25. Ходот В. В. Внезапные выбросы угля и газа на шахтах СССР и роль горной науки в борьбе с этими явлениями / В. В. Ходот // Внезапные выбросы в угольных шахтах : сб. трудов V Всесоюзн. научн.-техн. совещания по борьбе с внезапными выбросами угля и газа. – М. : Недра, 1970. – С. 3–25.

26. Печук И. М. Разработка способа предупреждения внезапных выбросов в подготовительных выработках при помощи гидроразрыва и гидроразмыва / И. М. Печук, А. Н. Кульбачный // Научно-исследовательские работы МакНИИ за 1959-1960 гг. – М. : Госгортехиздат, 1961. – С. 20–23.

27. Кульбачный А. Н. Результаты применения гидроразмыва для предупреждения выбросов угля и газа / А. Н. Кульбачный // Нагнетание воды в угольные пласты для повышения безопасности горных работ : сб. трудов Всесоюзн. научн.-техн. совещания. – М. : Недра, 1965. – С. 158–162.

28. Шатилов В. А. Применение гидроотжима призабойной зоны угольного пласта для борьбы с внезапными выбросами угля и газа / В. А. Шатилов // Нагнетание воды в угольные пласты для повышения безопасности горных работ : сб. трудов Всесовзн. научн.-техн. совещания. – М. : Недра, 1965. – С. 162–172.

29. Шатилов В. А. Оптимизация параметров гидроотжима на шахтах Донбасса / В. А. Шатилов, К. М. Косенко, Е. Т. Пономаренко // Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах : сб. статей. – Макеевка : МакНИИ, 1975. – Вып. 11. – С. 176–182.

30. Внезапные выбросы угля и газа на шахтах и их предупреждение / [В. Г. Аршава, Б. И. Медведев, И. Ф. Морозов, В. К. Тарасенко]. – К. : Техніка, 1971. – 190 с.

31. Балинченко И. И. К механизму воздействия высоконапорного нагнетания воды на выбросоопасный угольный массив / И. И. Балинченко, Л. Ф. Горягин, Н. А. Мальцев // Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах : сб. статей. – Макеевка : МакНИИ, 1975. – Вып. 11. – С. 134–138.

32. Горягин Л. Ф. К вопросу о механизме гидрорыхления / Л. Ф. Горягин // Вопросы внезапных выбросов угля и газа в угольных шахтах : научн. сообщения. – М. : ИГД им. А. А. Скочинского, 1981. – Вып. 195. – С. 83–87.

33. Минеев С. П. Проведение выработок проходческими комбайнами по выбросоопасным пластам и породам / С. П. Минеев, А. А. Рубинский. – Днепропетровск : Дніпро, 2006. – 384 с.

34. Балинченко И. И. Влияние трещиноватости на характер распространения воды при гидрорыхлении угольного пласта / И. И. Балинченко, А. П. Головинский, Т. Я. Мхатвари // Вопросы внезапных выбросов угля и газа в угольных шахтах : научн. сообщения. – М. : ИГД им. А. А. Скочинского, 1981. – Вып. 195. – С. 87–94.

35. Браилко И. П. Изменение выбросоопасности пласта при нагнетании воды в угольный массив через скважины, пробуренные со стороны очистного забоя / И. П. Браилко, А. И. Резниченко // Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах : сб. статей. – Макеевка : МакНИИ, 1973. – Вып. 9. – С. 153–158.

36. Браилко И. П. Изменение положения зоны максимума опорного давления в результате высоконапорного нагнетания воды в условиях пологопадающих пластов / И. П. Браилко, Л. Ф. Горягин // Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах : сб. статей. – Макеевка : МакНИИ, 1973. – Вып. 9. – С. 150–153.

37. Резниченко А. И. Режим нагнетания воды в выбросоопасный угольный пласт / А. И. Резниченко // Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах : сб. статей. – Макеевка : МакНИИ, 1976. – Вып. 12. – С. 86–88.

38. Горягин Л. Ф. Эффективность гидрорыхления угольного пласта / Л. Ф. Горягин // Техника безопасности охрана труда и горноспасательное дело. – 1979. – № 8. – С. 11–12.

39. Резниченко А. И. Исследование оптимальных параметров высоконапорного нагнетания воды из забоев выработок / А. И. Резниченко // Борьба с газом, пылью, выбросами в угольных шахтах : сб. статей. – Макеевка : МакНИИ, 1975. – Вып. 11. – С. 168–171.

40. Смирнов Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М. : Наука, 1969. – 512 с.

41. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М. : Физматгиз, 1962. – 400 с.

42. Руппенейт К. В. Введение в механику горных пород / К. В. Руппенейт, Ю. М. Либерман. – М. : Госгортехиздат, 1960.

43. Христианович С. А. О напряженном состоянии горного массива при проведении очистных работ / С. А. Христианович, С. В. Кузнецов // Труды МакНИИ. – № 59. – С. 95–111.

44. Минеев С. П. Свойства газонасыщенного угля / С. П. Минеев. – Днепропетровск : НГУ, 2010. – 220 с.

45. Свойства горных пород и методы их определения / Е. И. Ильницкая, Р. И. Тедер, Е. С. Ватолин, М. Ф. Кунтыш / [под ред. М. М. Протодьяконова]. – М. : Недра, 1969. – 392 с.

46. Кузнецов С. В. О взаимодействии горного давления и давления газа в угольном пласте / С. В. Кузнецов // Журнал прикладной механики и технической физики. – 1961. – № 4. – С. 57–66.

47. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения / Г. П. Черепанов. – М. : Наука, 1974. – 640 с.

48. Минеев С. П. Активация десорбции метана в угольном массиве / С. П. Минеев, А. А. Прусова, М. Г. Корнилов. – Днепропетровск : Вебер, 2007. – 252 с.

49. Финкель В. М. Физика разрушения / В. М. Финкель. – М. : Металлургия, 1970. – 376 с.

50. Николин В. И. Борьба с выбросами угля и газа в шахтах / В. И. Николин, И. И. Балинченко, А. А. Симонов. – М. : Недра, 1981. – 300 с.

51. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям: СОУ 10.1.00174088.011 – 2005. Утв. Минуглепромом Украины 30.12.05. – К., 2005. – 225 с.

52. Машины и оборудование для угольных шахт. Справочник / [под ред. В. Н. Хорина]. – М. : Недра, 1987. – 424 с.

53. Методика прогнозирования прочности углей. Утв. техн. управл. Минуглепрома СССР 16.06.80. – М. : ИГД им. А. А. Скочинского, 1981. – 28 с.

54. Управление состоянием горного массива / [А. Н. Зорин, В. Г. Колесников, С. П. Минеев, А. А. Прусова]. – К. : Наук. думка, 1986. – 216 с.
55. Зайдель А. Н. Элементарные оценки ошибок измерений / А. Н. Зайдель. – Л. : Наука, 1986. – 96 с.
56. Зорин А. Н. Управление динамическими проявлениями горного давления / А. Н. Зорин. – М. : Недра, 1978. – 194 с.
57. Потапенко А. А. Результаты исследования распределения пульсаций давления по длине трубы-имитатора скважины / А. А. Потапенко // Геотехнічна механіка : міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 108. – С. 123–126.
58. Закономерности проявления выбросоопасности при гидрорыхлении угольных пластов / А. А. Рубинский, Э. И. Тимофеев, М. В. Чурадзе, Т. Я. Мхатвари, А. И. Ризниченко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сб. научн. трудов. – Макеевка, 2005. – С. 292–298.
59. Методика определения природной газоносности угольных пластов действующих и строящихся шахт Донбасса. – Макеевка-Донбасс : МУП СССР, 1981. – 83 с.
60. Усов О. А. Сравнение энергии воздействия кавитационных колебаний воды на стенки скважины с энергией воздействия отбойного молотка / О. А. Усов, А. А. Потапенко // Геотехнічна механіка : міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 108. – С. 223–229.
61. Брюханов А. М. Гидрорыхление угольных пластов на больших глубинах разработки / А. М. Брюханов, Т. Я. Мхатвари, М. В. Чурадзе // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках : материалы XI Междунар. научн. школы им. акад. С. А. Христиановича. – Симферополь : Таврич. нац. универс. им. В. И. Вернадского, 2001. – С. 27–28.
62. Рубинский А. А. Повышение эффективности гидрообработки угольных пластов для предотвращения газодинамических явлений в условиях глубоких шахт / А. А. Рубинский, М. В. Чурадзе // Пути повышения безопасности горных работ в угольной отрасли : тезисы докл. научн.-практической конф. – Макеевка : МакНИИ, 2004. – С. 221–223.
63. А.С. № 1714161, СССР. Устройство для гидроимпульсного воздействия на горный массив / В. Н. Потураев, С. П. Минеев, И. И. Балинченко, Л. Ф. Горягин ; з-ка 4820808/03 ; заявл. 05.03.90 ; опубл. 23.02.92, Бюл. № 7. – 12 с.
64. Потураев В. Н. Использование вибрационных и волновых эффектов при отработке выбросоопасных пластов / В. Н. Потураев, С. П. Минеев. – К. : Наук. думка, 1992. – 200 с.

65. Тимофеев Э. И. Влияние глубины герметизации скважин на продолжительность процесса гидрорыхления угольных пластов / Э. И. Тимофеев, Т. Я. Мхатвари, М. В. Чурадзе // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сб. научн. трудов МакНИИ. – Макеевка : МакНИИ, 2004. – Ч. 1. – С. 77–82.

66. Бойко Я. Н. Повышение эффективности гидрорыхления выбросоопасных угольных пластов в подготовительных выработках и нишах / Я. Н. Бойко, А. В. Никифоров, А. А. Рубинский // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда. – Макеевка : МакНИИ, 2009. – Вып. 2 (24). – С. 52–57.

67. Методика выбора оптимальных параметров гидрорыхления выбросоопасных угольных пластов / [Тимофеев Э. И., Мхатвари Т. Я., Чурадзе М. В., Рыжков М. Ф.] // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сб. научн. трудов МакНИИ. – Макеевка : МакНИИ, 2003. – С. 81–90.

68. Методика экономической оценки способов борьбы с внезапными выбросами угля, породы и газа на предприятиях угольной промышленности. – Донецк : ИЭП АН УССР, 1981. – 164 с.

69. Методические рекомендации по экономической оценке способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа и их последствий. – Донецк : ИЭП АН УССР, 1975. – 72 с.

70. Руководство по применению на шахтах Донбасса способа автоматизированного контроля выбросоопасности в очистных выработках по параметрам техногенного акустического сигнала. – Макеевка, 2000. – 12 с.

71. Бобров А. И. Обоснования параметров способа текущего прогноза выбросоопасности по показателям десорбции угля / А. И. Бобров, О. Ц. Сирота, Я. Н. Бойко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сб. научн. трудов МакНИИ. – Макеевка : 1996. – С. 47–54.

72. Акустический контроль динамики напряженно-деформированного состояния горного массива / А. М. Брюханов, В. П. Коптиков, Г. И. Колчин, А. В. Никифоров // Горная геология, геомеханика и маркшейдерия : международная научно-техническая конф., посвященная 75-летию института УкрНИМИ НАН Украины 11-15 октября 2004 г. – Донецк, 2004.

73. Некоторые результаты выделения выбросоопасных зон шахтным десорбиметром ДШ / Я. Н. Бойко, О. Ц. Сирота, А. Г. Радченко, И. В. Бабенко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. – Макеевка-Донбасс, 1995. – С. 27–34.

74. Коптиков В. П. Программное обеспечение акустического контроля выбросоопасности / В. П. Коптиков, И. В. Бабенко, Г. И. Колчин // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. – Макеевка-Донбасс, 2004. – С. 117–121.

75. Чернов О. И. Развитие метода комплексной борьбы с угольной пылью, горными ударами, внезапными выбросами угля и газа и эндогенными пожарами / О. И. Чернов // Нагнетание воды в угольные пласты. – М. : Недра, 1965. – С. 7–64.

76. Декларацийний патент на корисну модель 3086. Україна, E21Г5/00. Спосіб визначення параметрів гідророзпушування вугільних пластів / О. О. Рубінський, Е. І. Тимофеев, Т. Я. Мхатварі, М. В. Чурадзе. – № 2004010336 ; заявл. 16.01.2004 ; опубл. 15.10.2004, Бюл. № 10. – 3 с.

77. Мягкий Б. И. Об эффективности нагнетания в угольный пласт воды для борьбы с внезапными выбросами / Б. И. Мягкий, И. Ф. Морозов, Б. Н. Онопчук // Уголь Украины. – 1976. – № 3. – С. 38–39.

78. Шлиомовичус Я. Г. Изменение механических свойств и упругой энергии углей при их увлажнении / Я. Г. Шлиомовичус, Н. И. Ныркова // Нагнетание воды в угольные пласты. – М. : Недра, 1965. – С. 97–102.

79. Морозов И. Ф. Разработка выбросоопасных угольных пластов / И. Ф. Морозов, Ф. Д. Шевляков, В. Г. Аршава. – М. : Недра, 1979. – 205 с.

80. Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах. – М. : Недра, 1977. – 96 с.

81. НПАОП 10.0-7.08-93 Керівництво щодо проектування вентиляції вугільних шахт. – К. : Держнаглядохоронпраці України, 1994. – 311 с.

82. А.С. 264311, СССР. Устройство для герметизации устья скважин и шпуров / В. Г. Рыжков, В. Н. Балашов. – заявл. 12.12.1968 , Бюл. № 9. – 2 с.

83 А.С. 329424, СССР. Гидравлический датчик давления ДДК-1 / Иванов Б. М., Ковалев В. И., Крупеня В. Г. – заявл. 23.02.1971, Бюл. № 7. – 2 с.

84. Потураев В. Н. Пульсационные и волновые эффекты в горном массиве / В. Н. Потураев, С. П. Минеев. – К. : Наук. думка, 1993. – 140 с.

Наукове видання

Мінєєв Сергій Павлович, Потапенко Олександр Олексійович,
Мхатварі Тамаз Ясонович, Никифоров Олексій Вікторович,
Кузяра Сергій Володимирович, Тимофєєв Едуард Іванович

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРАВЛІЧНОГО
РОЗПУШУВАННЯ ВИКИДОНЕБЕЗПЕЧНИХ ВУГОЛЬНИХ ПЛАСТІВ**

Монографія

Відповідальна за випуск
Комп'ютерна верстка
Дизайн обкладинки

Тимофєєва Г. В.
Федоренко С. В.
Венгренюк І. А.

Підп. до друку 01.10.2013. Формат 60x84 1/16. Папір офісний.
Друк цифровий. Гарнітура Times. Ум. друк. арк. 13,6.
Обл. вид. арк. 10. Зам. 04122013. Наклад 100 пр.

Видавниче підприємство «Східний видавничий дім»
(Державне свідоцтво № ДК 697 від 30.11.2001)
83086, м. Донецьк, вул. Артема, 45
тел./факс (062) 338-06-97, 337-04-80
e-mail: svd@3380697gmail.com
Надруковано у ТД «Дружба»
м. Донецьк, бул. Пушкіна, 23
тел./факс (062) 304-44-25